Livret 1 : Ambiance et conception : Aspects théoriques et référentiels Livret 2 : Ambiance et conception : Cahier méthodologique et technique

Laurent Lescop

▶ **To cite this version:**

Laurent Lescop. Livret 1 : Ambiance et conception : Aspects théoriques et référentiels Livret 2 : Ambiance et conception : Cahier méthodologique et technique. Architecture, aménagement de l'espace. L'UNAM, L'université Nantes, Angers, Le Mans, 2016. tel-01499668

HAL Id: tel-01499668
https://hal.science/tel-01499668

Submitted on 5 Apr 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Laurent Lescop

École doctorale : Sciences pour l'Ingénieur, Géosciences et Architecture
Discipline : Aménagement de l'espace, Urbanisme
Unité de recherche : Centre de Recherche Nantais Architectures Urbanités
Novembre 2015

Mémoire HDR

HDR Soutenue le 4 octobre 2016

Laurent Lescop

École doctorale : Sciences pour l'Ingénieur, Géosciences et Architecture
Discipline : Aménagement de l'espace, Urbanisme
Unité de recherche : Centre de Recherche Nantais Architectures Urbanités
Novembre 2015

Mémoire HDR

Livret 1 : **Ambiance et conception : Aspects théoriques et référentiels**

JURY

Franck Cormerais est philosophe, spécialiste de l'industrie numérique et professeur des universités rapporteur

Jean-Paul Thibaud est sociologue, théoricien des ambiances urbaines et de leur perception, directeur de recherche au CNRS rapporteur

Livio de Luca est architecte, docteur des Arts et Métiers ParisTech, HDR en informatique, directeur de recherche au CNRS et directeur de l'UMR (CNRSMCC) MAP rapporteur

Serge Cassen est archéologue et ethnologue, directeur de recherche au CNRS, néolithicien, spécialiste des systèmes de représentation et des structures symboliques

Jacques A. Gilbert est philosophe, professeur des universités, spécialiste des questions d'immersion.

Jean-Michel Geneste est a, professeur honoraire, Conservateur général du patrimoine honoraire et ancien Directeur du centre national de préhistoire et actuelle en tant que directeur du programme de recherche de la grotte Chauvet Pont d'arc

Daniel Siret est architecte, docteur en sciences, spécialiste de l'histoire des sciences et directeur de l'UMR AAU.

ENCADREMENT DE THESES

Toinon Vigier : Suggestion et perception des ambiances climatiques dans les environnements virtuels urbains, SPIGA, ***encadrement 30%, thèse soutenue***

Valentin Grimaud : Réexplorer et valoriser les architectures funéraires monumentales du Néolithique de l'Ouest de la France, SCE, ***encadrement 50%, thèse soutenue***

Emmanuelle Gangloff : La profession de scénographe; émergence et spécificités dans l'espace urbain, DEGEST, ***encadrement 50%, thèse en cours***

Par ailleurs, l'ensemble des mémoires et travaux de recherches, DPLG, MASTER, PFE, SCENO (94) sont encadrés à 100% ou 50%, la tradition en architecture est, quand cela est possible, le double encadrement.

Table des matières

Remerciements 5
Avant-propos : une recherche impliquée 7
Contexte général 7
Implication pédagogique 7
Réseaux et échanges 7
Etudes en cours 8
Les programmes multi échelles 16
Présentation du mémoire 21
Acte 1 : Représentations et récits 21
De la pédagogie à la recherche 21
Les nouveaux enjeux pédagogiques 26
Vers les ambiances 37
Vers le récit d'ambiance 56
Le lien à l'archéologie 60
Conclusion de la première partie. 61
Acte 2 : Dispositifs et dispositions 64
Archéo-Astronomie, les origines 68
Construction d'un exemple emblématique : Crucuno 70
L'hypothèse astronomique 78
La simulation des courses solaires 112
Scènes mégalithiques 126
Acte 3 : Immersions et dispositifs 141
Immersion 141
Au-delà du seuil, la transgression 155
Recherche, médiation et immersion 156
Le Næxus 165
Conclusion de la Troisième partie. 178
Conclusion générale : être-là 180
Reconfigurations 184
Bibliographie 187
Table d'illustrations 214

Remerciements

Si ce texte restitue un investissement personnel, il doit également traduire un travail en équipe que ce soit pour la pédagogie ou à la recherche. Il est aussi le résultat de rencontres, d'opportunités, d'impulsions, d'accompagnements qui en ont déterminé les nuances et les enrichissements. Il est aussi rendu possible par la création d'un nécessaire environnement intellectuel et matériel propice à la concentration et à une forme de retrait qu'impose sa rédaction.

Je voudrais remercier tout d'abord et très chaleureusement, **Serge Cassen**, qui par sa rigueur, son érudition, et sa générosité, a su accompagner le développement de ce travail, l'ouvrir à de nouveaux horizons et lui donner sa véritable assise

Je voudrais également remercier mon collègue et complice depuis tant d'années, **Bruno Suner** avec qui je partage également bon nombre des thématiques évoquées ici.

Je remercie également infiniment **Christian Dautel**, directeur de l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes pour m'avoir accordé un Congé d'Etude et de Recherche et pour avoir soutenu cette initiative, et **Claudia Enrech** et **Mélodie Pascaud** pour avoir facilité les charges qui me restaient à assumer.

Merci à **Pascal Joanne** qui a tenu haut le flambeau de notre UEP avec Bruno et **Philippe Lacroix** pour le travail sur la lumière.

Un grand merci également à **Daniel Siret** directeur de l'UMR AAU (Ambiances Architectures Urbanités) UMR CNRS/MCC/ECN 1563 et **Thomas Leduc** directeur du CRENAU (Centre de Recherche Nantais Architectures Urbanités), **Jean-Paul Thibaud**, pour l'élan donné à la recherche dans nos Ecoles, aux membres de l'UMR avec qui les échanges sont toujours stimulants.

Merci à **Franck Cormerais**, **Jacques Gilbert** vos commentaires et soutiens sont précieux et stimulants.

Je veux remercier également mes collègues allemands avec qui je partage une grande partie de mes activités pédagogiques et de recherches et tout particulièrement **Manfred Sundermann**. Merci à **Johannes Kalvelage**, à **Claus Dießenbacher**, **Michael Walter**, et bien entendu à **Stefan Baumeier** et à toute l'équipe de Dessau, et également à **Bernd Dahlgrün** à Hamboug.

Merci à **Vincent Laganier** qui a pris l'autre partie de ma charge pédagogique et qui reste un partenaire indispensable pour nos projets lumière.

Il y a aussi des personnes qui ont été déterminantes, sans lesquelles l'histoire se serait écrite différemment et pour lesquelles je suis infiniment reconnaissant : **Iffig Poho**, mon directeur d'étude pour

mon diplôme d'architecte, **Jean-Pierre Peneau**, mon directeur d'étude de thèse et **Marcel Freydefont** avec qui nous avons fondé le GERSA, éphémère et enthousiaste équipe de recherche.

Ce travail aurait été très différent sans les apports de **Didier Morel**, sans lui, pas de nuage de points aisément exploitables, pas d'expérimentations concernant les relevés, pas de défis techniques que nous nous lançons l'un à l'autre…

Grand Merci à **Cyrille Chaigneau** pour son aide et ses conseils.

Merci à **Hugues Plisson,** pour les conseils et les développements.

Merci à **Livio de Luca**.

Merci **Jean-Michel Geneste** pour les échanges extrêmement stimulants concernant le lieu, le geste, la trace et le paysage.

Chaleureuses pensées pour **Valentin Grimaud** et **Emmanuelle Gangloff.**

Merci au Laboratoire de recherches archéologiques (UMR 6566), je suis très reconnaissant de l'aide apportée par **Christine Boujot** (Service régional d'archéologie, Rennes), **Yves Belenfant** (Sagemor, Vannes), **Olivier Agogué** (Service départemental d'archéologie, Vannes) et **Emmanuelle Vigier** (Musée de Carnac).

Merci au président du Conseil Général du Morbihan et à ses équipes.

Et bien entendu, surtout et infiniment ma famille : Monika, Ambroise, Constant, mes parents, mon frère.

Nota : Sauf mention contraire, toutes les pièces graphiques, dessins et photos, sont du rédacteur de ce mémoire.

Avant-propos : une recherche impliquée

Contexte général

Fin 2014, le GERSA, Groupe d'Etude et de Recherche Scénologique en Architecture, habilité en juin 2006 et fondé par Marcel Freydefont, Bruno Suner, Philippe Lacroix et moi-même a fusionné avec le *CRENAU*, laboratoire fédérant l'ensemble de la recherche à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes. Au sein du CRENAU, les thématiques de l'ancien GERSA se marient avec celles de la ville et des ambiances avec pour éléments attracteurs la scénographie urbaine et paysagère, embarquant l'étude des problèmes techniques, éthiques, esthétiques et politiques. Il s'agit ici de développer une problématique autour de la représentation et des outils de la représentation du projet architectural et d'interroger la temporalité dans la conception et dans l'aménagement de l'espace. L'objectif est de repérer les démarches de conception fécondée par cette incursion dans le domaine du récit. L'espace du projet est abordé comme espace de fiction. Il met en jeu des procédés narratifs.

Implication pédagogique

Les recherches nourries au CRENAU à coloration scénographiques sont issues de thèmes initiés et relayés par la pédagogie. Les unités d'enseignement du projet d'architecture UE 71-91 « Architecture(s) en représentation » et UE81-101 « Architecture des lieux scéniques » fonctionnent en étroite relation avec la recherche. Des étudiants issus de ces Unités Pédagogiques viennent régulièrement faire des stages en laboratoire ou des *mémoires recherches* afin de développer, préciser ou explorer ce qu'ils ont aperçu lors des cours et développer un appareillage critique et méthodologique.

Les thèmes de recherche que nous proposons aux étudiants sont bien souvent applicatifs et liées aux partenariats que nous avons avec d'autres institutions. Les étudiants peuvent dès lors être rémunérés et valorisés par la reconnaissance de leurs travaux hors du cadre scolaire.

Réseaux et échanges

Lors de la période 2006-2010, le GERSA s'est inscrit dans un réseau dense au niveau national et international et a développé une stratégie de recherche appliquée en lien avec des équipes de recherches ou des entreprises publiques et privées. Il a passé des contrats avec le Ministère de la Culture et de la Communication, le Plan Urbanisme Construction Architecture, la région des Pays de la Loire. Le GERSA a travaillé également avec des institutions et des entreprises privées telles que l'ANO, (Angers Nantes Opéra), l'Ecole Supérieure du Bois, l'Association SONGO (Scopitone), les sociétés, CEDREO Interactive et MG Design, basées dans la région nantaise. Ces héritages sont bien entendu passés au patrimoine du CRENAU ouvrant ce dernier au monde de la création, des arts et du spectacle.

Etudes en cours

Le laboratoire CRENAU en fusionnant les recherches issues de l'ensemble des forces de recherche de l'Ecole National Supérieure d'Architecture de Nantes, il connait désormais une activité extrêmement riche qui ne sera pas développée ici. Ne seront détaillées ici que celle dans lesquelles je suis directement impliqué comme coordinateur.

Le projet Scenographia – aide à la création théâtrale

Un spectacle implique de très nombreux composants artistiques et techniques qui doivent non seulement se déployer dans l'espace et le temps, mais également dans des contextes d'accueil extrêmement variés. Ainsi, un opéra créé et joué dans la petite salle du théâtre Graslin à Nantes, devra-t-il s'adapter à l'identique à Angers dans une salle très récente et beaucoup plus grande ou ailleurs encore. C'est le lot des co-productions. L'élément déterminant est la cage de scène qui est le lieu du jeu et le lieu de la technique. Les dimensions et les équipements de la cage de scène conditionnent le déploiement du spectacle. Comment dès lors anticiper les questions d'adaptations aux différents équipements et comment rendre cette question compatible avec les pratiques artistiques.

Cet investigation a conduit à répondre avec succès fin 2008 à un appel à projets de recherche émis par la Région Pays de la Loire sous l'intitulé DESIGN'IN / PAYS DE LA LOIRE et présenter un projet nommé «SCENOGRAPHIA : Design d'outils interactifs pour la représentation et la manipulation virtuelle de scénographies». Cette recherche appliquée réunit outre le GERSA, ANGERS NANTES OPERA et CEDREO INTERACTIVE, une entreprise de développement informatique pour le temps réel.

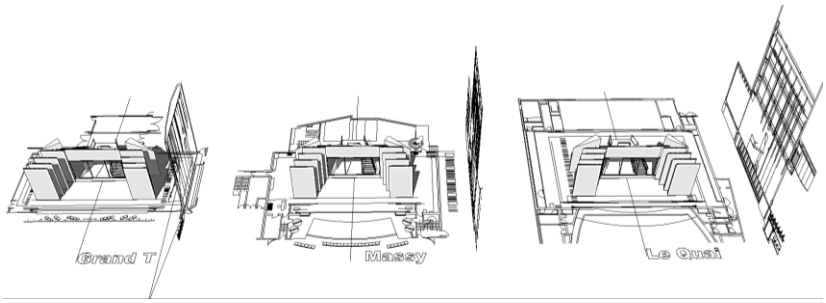


Figure 1 - ScénographIA, adaptation dynamique des décors à différents types de cages de scène.

La question scénographique qui se pose à chaque production ou diffusion est celle du dénominateur commun entre les cages de scène et, plus largement, avec les salles pressenties pour une tournée. Il s'agit alors de concevoir et de mettre au point une cage de scène virtuelle permettant de prévoir et d'anticiper de façon cinétique la plantation des dispositifs, décors, éléments de mobilier, accessoires, costumes, lumières relatifs à la représentation d'une œuvre lyrique.

L'outil développé[1] et les partenariats mis en place dans le cadre de ce projet, visent à créer une dynamique tant industrielle qu'institutionnelle autour de la scénographie comme discipline motrice placée à la convergence du design d'espace, de l'architecture et du théâtre. La recherche bénéficie d'un terrain expérimental d'excellence, puisqu'il s'agit de « Angers Nantes Opéra » qui présente ses opéras en création dans quatre salles : le Théâtre Graslin et la Cité des Congrès à Nantes, le Grand Théâtre et le Théâtre du Quai à Angers. De plus, ANO coopère avec l'Opéra de Rennes et diffuse ses productions dans d'autres salles en France (Le Mans, Dijon, Nancy, Marseille, Lille, Orléans, Montpellier, Douai, Besançon, Valence, Poitiers).

Le cœur du projet ScénographIA est de faciliter la production et la diffusion de spectacles d'opéra dans des théâtres différents en assurant une qualité identique de l'œuvre présentée. Il s'agit concrètement de définir et de proposer une méthodologie générale et des outils informatiques et numériques d'assistance à la conception et à l'étude technique, notamment pour ce qui concerne la spatialisation des projets de spectacle.

Le projet Scénographia se place dans la continuité des habituelles maquettes de cage de scène qui permettent la présentation et le rendu de maquettes de décor. Il s'agit de réaliser des cages de scène virtuelles, permettant d'intégrer l'image numérisée d'une maquette volume de décor, afin de procéder à des manipulations et des vérifications tant pour ce qui concerne le gabarit scénographique tridimensionnel de la cage de scène, que pour ce qui concerne l'équipement scénotechnique, dans une démarche statique et cinétique, sans omettre les problématiques de transport, de stockage en amont et aval de la représentation.

Le procédé à l'étude comprend trois axes principaux:

1. L'acquisition des données géométriques et physiques du lieu[2]
2. La numérisation des éléments de décor
3. L'exploitation de la conduite du spectacle comme élément structurant de l'ensemble.

Le projet ScénographIA a permis de constituer une véritable expertise dans la maitrise des relevés numériques, la recherche a de plus ouvert un important champ d'investigation dans l'enregistrement et le référencement des pratiques des artistes et techniciens du spectacle.

[1] Lescop L., Vasseur R., Suner B., Freydefont F., Scénographia – cage de scène virtuelle *In* Utopies de la scène, scène de l'utopie, Agôn, revue numérique consacrée aux arts de la scène, octobre 2010

[2] Suner B., Lescop L., Scénographia: de la numérisation des cages de scène à la création d'un modèle numérique fonctionnel, Colloque de la SFPT Photogrammétrie au service des archéologues et des architectes, à paraître en 2011 dans la Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection

Ces connaissances sont réinvesties dans les enseignements de l'ENSAN et dans des formations, organisées par le Pôle Atlantique, URCAUE, destinées aux techniciens du spectacle.

Les partenaires impliqués sont l'ENSAN-CRENAU, Angers Nantes Opéra, la Région Pays de la Loire, REDITEC, l'entreprise CEDREO, l'entreprise Leica et Morel Mapping WorkShop

Le projet Næxus

Næxus – Virtual Space Scope est un dispositif d

e visualisation immersif développé à l'origine à la Hochschule Anhalt (FH) de Dessau[3] et inscrit désormais en coproduction scientifique et technique avec l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, les ex-laboratoires CERMA et GERSA, fusionnés au sein du CRENAU.

Figure 2 - Næxus, dispositif immersif nomade

Les dispositifs immersifs sont généralement confinés au cœur des centres de recherches ou les universités et donc inaccessibles au grand public. Le Næxus est une solution visant à aller à la rencontre de son public. C'est donc un dispositif tout à fait adapté à la médiation et à la valorisation de la recherche.

Næxus se présente sous la forme d'une bulle immersive équipée dans son espace intérieur d'un écran panoramique et d'enceintes pour la restitution sonore tridimensionnelle. A l'extérieur, la structure offre des surfaces d'exposition. L'utilisateur est au centre d'un cercle de 5m de diamètre ce qui correspond à une utilisation d'une douzaine de personnes à la fois.

L'impression d'immersion est donnée par la couverture de l'ensemble du champ visuel. La projection se fait sur un écran courbé d'1m 70 de hauteur. L'image environne complètement l'utilisateur,

[3] Lescop L., Narrative Design for Naexus, Bilden und Gestalten, Bauhaus Lectures 2012, Mittwoch und Donnerstag, Mai 2012, actes.

lui procurant une forte sensation immersive. Techniquement, le Næxus est équipé de 4 vidéoprojecteurs classiques de type Home cinéma, placés sur la partie haute de la structure. L'image projetée à l'écran n'est produite que par une seule machine, le système est donc parfaitement transparent pour l'utilisateur. Tous types de supports peuvent donc être projetés. Pensé comme un objet intérieur et extérieur, le Næxus dispose en périphérie des tablettes servant de support à des objets d'exposition. Ouvert aux propositions formelles des artistes de la scène numérique, le Næxus a été présenté au Festival Scopitone à Nantes, à la Semaine du Golfe à Vannes et entre dans plusieurs partenariats universitaires et institutionnels.

Le Næxus est régulièrement mobilisé pour la médiation scientifique. Dispositif mobile, il s'installe sur les sites offrant une dialectique stimulante entre le réel et le virtuel. Il permet surtout une expérience collective, ce que peu d'autres dispositifs plus complexes ne peuvent offrir. Cette expérience collective induit que l'interaction se fait autant avec le contenu qu'avec le public présent. Les émotions ou la connaissance se créent collectivement dans un élan partagé.

Les partenaires impliqués sont l'ENSAN-CRENAU, la Hochschule Anhalt de Dessau, la Région Pays de la Loire, le Conseil Régional du Morbihan, l'Ecole Supérieure du Bois, l'Association Songo (Scopitone) et l'entreprise Vioso.

Gavrinis et les mégalithes bretons

Le site de Gavrinis est l'un des sites archéologiques les plus remarquables de Bretagne et d'Europe. La qualité des gravures des orthostates, le volume du cairn et son emplacement en font un lieu de visite et de découverte exceptionnels.

Le programme engagé depuis 2011 à Gavrinis, sous la direction de Serge Cassen, archéologue et directeur de recherche au CNRS, réunit des archéologues, des géologues et géomorphologues, des architectes et des géomètres, des conservateurs et des médiateurs, en vue d'acquérir, traiter, interpréter et restituer des informations sur une tombe du Néolithique (3900-3500 av. notre ère) appartenant au patrimoine monumental européen[4]. Il s'agit en premier lieu de constituer un nouveau corpus des représentations symboliques comprises dans le contexte architectural d'un des plus fameux monuments morbihannais. Un nouvel enregistrement des données topographiques et archéologiques du tumulus a été réalisé afin d'obtenir une meilleure représentation de l'architecture, d'une part, des signes gravés et peints, d'autre part. Un des enjeux de cette étude

[4] Cassen S., Lescop L., Suner B., Grimaud V., Querré G., Morel D., CRT Morlaix, Gavrinis (Larmor-Baden, Morbihan) A la recherche des représentations d'une tombe à couloir du IVe millénaire, Rapport d'opération de relevés pariétaux et architecturaux, Ministère de la Culture et de la Communication – Conseil général du Morbihan, CNRS, ENSA Nantes, Université de Nantes

concerne la dialectique représentation / interprétation. Dix-huit missions de terrain ont été menées entre janvier et octobre 2013.

Figure 3 - Gavrinis, le nuage de points du relevé laser

Un enregistrement complémentaire par photogrammétrie des surfaces jusqu'ici inaccessibles au scanner (tranches des dalles L8, L10, R9), ou mal enregistrées par ce type de capteur en 2011, notamment sur les dalles du sol, très tangentes au rayon lumineux a donné lieu à des explorations techniques avancées. En complément de ces acquisitions, des prises de vues compilées sous éclairages tournants ont permis de détecter de nouvelles gravures et de documenter les états de surfaces (polis d'usure, travail de mise en forme). Des approches expérimentales ont également été tentées comme l'enregistrement par capteur XTion, habituellement utilisé dans le cadre des jeux vidéo ; le résultat est très encourageant dans une perspective d'acquisition tridimensionnelle à moindre coût. L'ensemble des tableaux de mesures permet par ailleurs de calculer les volumes et donc les masses des monolithes, ou encore le volume du cairn (7000 m3). En partenariat avec le LARA, UMR CNRS 6566, une approche scénologique de l'exploitation des relevés avec pour objectif la valorisation du patrimoine de la protohistoire est engagée. Les archéologues et les gestionnaires de sites archéologiques font face à la double contrainte de l'étude et de la préservation d'un site tout en maintenant l'ouverture à un public toujours plus curieux. Les techniques de relevé issues des connaissances acquises pour le projet Scenographia, permettent d'exploiter un savoir-faire méthodologique quant à la récolte de données et de pouvoir répondre aux opérateurs qui souhaitent disposer d'une «virtualisation» du lieu pour des applications touristiques.

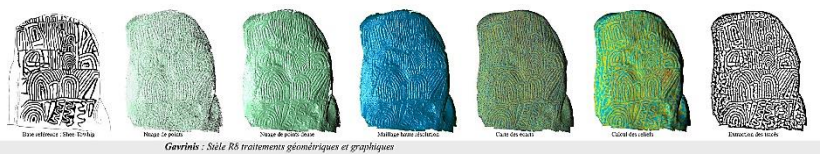


Figure 4 - Gravrinis, stèle R8, révélation des gravures

Un très important travail sur les concepts de valorisation a été entrepris, tant du point de vue académique qu'applicatif. La thèse de doctorat de Valentin Grimaud, co-encadrée par Serge Cassen et moi-même, financée par le Ministère de la Culture et de la Communication en développe certains aspects. La restitution au public doit donc pouvoir rendre compte moins d'objets plus ou moins remarquables que d'organisations spatiales. Ces dernières ont en effet composé la perception des lieux à travers les âges en opérant un double mouvement : sites sacrés et reconnus en tant que tels, ils se comportent comme attracteurs organisant autour d'eux les cheminements, l'habitat et le commerce. En même temps, en tant que lieux sacrés, ils forment des territoires interdits, inconstructibles, desquels on s'écarte par crainte et respect.

La valorisation de cairn de Gavrinis, se construit à partir de plusieurs principes issus d'observations et d'expériences passées. Le discours concernant le néolithique assez complexe à produire : période historique peu connue du grand public, elle est souvent confondue avec la période celte qui va la suivre, ce que l'imagerie populaire a contribué à entretenir avec Obélix et son menhir par exemple. Les traces les plus spectaculaires que nous conservons sont des monuments funéraires. Les habitats sont peu évoqués et il est difficile pour le grand public de distinguer les objets du quotidien des objets cérémoniaux. Les histoires à raconter sont donc moins nombreuses, moins spectaculaires si l'on reste dans la rigueur scientifique. Toutefois, la masse des monuments, leur place dans le paysage, le dialogue qu'ils entretiennent avec la géographie des lieux, sont autant de facteurs de fascination et d'intérêt pour le public. Mais le temps de la recherche n'est pas celui de la diffusion. Les visiteurs doivent accepter ce décalage. Les guides de Gavrinis sont pour cela tout à fait remarquables et exemplaires. Ils savent, par leur présentation, maintenir un questionnement permanent et désamorcer les tentatives d'interventions ésotériques. Ils maitrisent l'art de produire de l'émotion esthétique tout en rationalisant le discours au service de la recherche et de la connaissance.

Le cairn de Gavrinis est aussi un milieu fragile que la valorisation doit savoir protéger au mieux. Le nombre limité de visiteur, en raison de la situation insulaire du site, n'écarte pas de sérieuses préoccupations quant à l'altération des gravures au sein du couloir et de la dégradation progressive du monument (même si la fréquentation baisse légèrement comme beaucoup de sites historiques). Des solutions d'accompagnement doivent être trouvées à la fois pour enrichir la visite d'informations inédites et aussi pour ouvrir des solutions alternatives pour la découverte de la tombe. En passant de l'idée d'objet à l'idée du lieu, l'approche de protection englobe les constituants que sont le site, les pratiques (des visiteurs et des personnes responsables de la gestion et de l'entretient), la mise en relation avec des sites historiquement liés, la vision à long terme.

Le dispositif Næxus est mis à contribution pour présenter, auprès des institutionnels et du grand public, les avancées et résultats de la recherche. Des contenus spécifiques sont alors développés pour être projetés sur grand écran. La présentation se fait soit au sein de l'école où le Næxus est hébergé, soit à l'extérieur, comme cela a été le cas pour la Semaine du Golfe à Vannes.

Les partenaires impliqués sont l'ENSA Nantes et le CRENAU, l'Université de Nantes – LARA, l'UMR 6566, le Conseil Général du Morbihan, le Ministère de la Culture, l'entreprises Morel Workshop, Mgdesign, Leica, le Service de la Recherche Archéologique, la SAGEMOR (société de gestion du site de Gavrinis).

Le projet AVEL

En 2012, le Ministère de la Culture et de la Communication lance un appel d'offre pour la création de "Services Numériques Culturels Innovants" pour lequel le laboratoire GERSA, gagne le concours.

Le patrimoine maritime a ceci de particulier, c'est qu'il ne peut être classé monument historique que s'il navigue. Les conservateurs sont donc soumis au risque de perdre les navires au cours d'un de leur périple, à la problématique de la conservation des bateaux, à leur restauration (jusqu'au restaurer sans dénaturer?) et à la difficulté de présenter ces trésors au public, du fait du déplacement permanent de la « collection ». La proposition ici est de pouvoir concilier plusieurs demandes jusqu'alors considérées comme divergentes en un projet cohérent, économique, innovant et tourné vers le public. Il s'agit d'enregistrer numériquement les navires, de concevoir une base de donnée géométrique renseignant l'état et la spécificité de chaque unité, d'ouvrir cette base au public qu'il pourra interroger, virtuellement, à la volée, au moyen des techniques de réalité virtuelle.

La Bretagne est la première région française pour le nombre des bateaux protégés au titre des monuments historiques : 27 bateaux classés y sont en effet rattachés, soit près du quart du total national. Parmi les derniers classements, signalons « Patron François Morin », ancien canot de sauvetage d'Ouessant, « Danycan », sloop bermudien de plan Cornu, « La Janine », ancien caseyeur camaretois, « Minahouet II », ancien pilote de Gironde qui sont venus rejoindre en 2010 les autres unités, bateaux de travail et de plaisance déjà protégés. Les propriétaires sont tant privés que publics, et souvent gérés au quotidien par des associations.

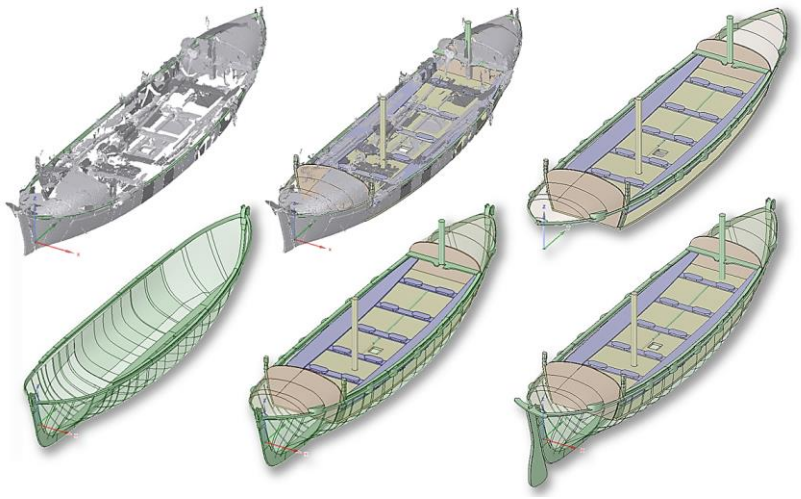


Figure 5 - AVEL, Etapes de la modélisation du bateau

La restauration de ces monuments historiques est placée sous le contrôle scientifique de l'État, au travers des missions données par la DRAC aux experts nationaux, et par l'action de la conservation régionale des monuments historiques. Un conservateur du patrimoine et un architecte des bâtiments de France sont en effet, entre autres missions, en charge de cet aspect particulier de notre patrimoine. Des subventions sont régulièrement accordées aux propriétaires qui doivent faire restaurer leur patrimoine : en 2010, ce sont 359 610 euros qui ont ainsi été accordés par l'Etat. Les collectivités (Région Bretagne, départements...) sont également très présentes dans ce domaine.

L'autre versant de l'aide de l'État se concentre sur l'aspect scientifique et technique avec la mise en place de dossiers de restauration après chaque intervention afin de constituer un véritable « dossier d'œuvre » pour chaque bateau, comportant plans, relevés des restaurations effectuées, description des travaux, photos, etc., qui servira à documenter le bateau pour les interventions futures.

Cependant, cet aspect se heurte à plusieurs difficultés : le coût de ces opérations et l'établissement d'une méthodologie qui permettrait d'acquérir les données lors par exemple d'un grand carénage, et de pouvoir d'une part les partager (avec le maître d'œuvre, les experts mandatés par le Ministère de la Culture, le propriétaire, le public) et d'autre part de les conserver afin qu'un véritable suivi sanitaire puisse être établi au fil des années.

Le projet[5] ne cherche donc moins à faire un archivage de formes qu'un inventaire de techniques et modes de constructions. Le

[5] Lescop L. & al., AVEL – Archives Virtuelle En Ligne, Enjeux et techniques pour le relevé des bateaux classés Monuments Historiques. Revue d'histoire

patrimoine s'exprime ici dans la reconnaissance et la transmission des métiers de la mer et plus particulièrement de la construction des bateaux.

Les partenaires impliqués sont l'ENSA Nantes, la DRAC Bretagne, l'Architecte des Bâtiments de France à Vannes, le Ministère de la Culture et de la Communication, Jean-Louis Dauga, Morel Mapping Workshop, et MG Design.

Les programmes multi échelles

Les programmes multi échelles définissent des thématiques de recherches partagées avec des équipes pluridisciplinaires, et organisés sur une temporalité plus longue. Ces programmes instaurent dans un premier temps des volontés de partenariat entre écoles ou universités, équipes de recherches et institutions, puis dans un deuxième temps des actions de recherches et de diffusion. Le CRENAU tient à systématiquement relier ces programmes aux différents enseignements dans lesquels les chercheurs sont impliqués.

Le projet faustt

Héritier du travail d'échange pédagogique que j'ai initié avec Manfred Sunnderman à Dessau en 2004, le projet FAUSTT est un programme d'échanges internationaux de l'Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes, avec la Hochschule Anhalt (HS - FB3/Fachbereich Architektur, Facility Management und Geoinformation, Fachbereich Design) (Faculté d'architecture, d'urbanisme et de design de l'Etat d'Anhalt), Stiftung Bauhaus Dessau (SBHD) Fondation du Bauhaus et la FAI AR Formation avancée itinérante aux arts de la rue de Marseille.

F.A.U.S.T.T. est l'acronyme pour « Fusion Architecture Urbanisme Scénographie Technologie Territoire ». La problématique est celle du Devenir de la ville. L'objectif est de développer sous cet intitulé générique et sous cette problématique générale un ensemble d'actions thématisées et diversifiées articulant enseignement et recherche, impliquant aux côtés des quatre partenaires signataires un ensemble d'autres partenaires territoriaux et institutionnels. L'enjeu est de favoriser à l'échelle internationale une synergie. Les programmes d'actions sont définis chaque année en fonction de leur appartenance aux axes thématiques, de leurs modalités pratiques (pédagogie, pédagogie appliquée, recherche, séminaires-recherche, recherche-action, production, opération), et de leurs finalités avec le souci de partir du centre de chaque école pour aller vers l'extérieur (opérateurs et public) et revenir vers les écoles.

---

maritime, 18, Travail et travailleurs maritimes, XVIIIe-XXe siècle : du métier aux représentations, 2014, pp 349-384

Figure 6 - L'Aéroflorale II à Dessau, coopération ENSA Nantes, la Machine, Stifftung Bauhaus, Hochschule Anhalt

Les axes programmatiques d'enseignement et de recherche sont les suivants :

- Studios d'architecture (ArchiRep/Laurent Lescop et Bruno Suner-Ensan/ Manfred Sundermann, Claus Dießenbacher DIB-FB3-HS Anhalt). L'organisation de studios d'architecture communs peut s'ouvrir à l'avenir à d'autres enseignants ou à d'autres thèmes.
- StadtBühne : Dans la dynamique ouverte par le spectacle Expédition végétale Aéroflorale II création de la Machine programmée lors de la FarbFest 2010, il s'agit de s'associer à une nouvelle création d'une autre compagnie de théâtre de rue française pour l'été 2011 dans le cadre d'une manifestation dénommée StadtBühne[6]
- Séminaire itinérant « Das Werden der Stadt/ Le Devenir de la ville » à Dessau, Nantes-Saint-Nazaire, Niort, Royan, Tours et Marseille. La première séquence de ce séminaire itinérant aura lieu à Dessau en 2011. La deuxième séquence aura lieu à Saint-Nazaire en 2012. La dernière séquence de ce séminaire itinérant aura lieu à Marseille en 2013 dans le cadre de Marseille capitale européenne de la culture[7].
- Projet NAEXUS (conception d'un outil de simulation spatiale à 360°/Postdoctorant Stefan Baumeier, en résidence scientifique à Nantes en 2010-2011, en lien avec l'axe Total Theater/Théâtre Immersif

[6] Lescop L., «Kultur und Stadtentwicklung an der Loire» (Culture et développement urbain sur la Loire) conférence à la Fondation du Bauhaus Dessau, 16 juin 2010

[7] Lescop L., Sundermann M. (Hoschschule Anhalt/HSA) communication à Dessau (Allemagne) lors du colloque «Die Stadt und Ihre Kinder » (La ville et ses enfants) en mai 2011, sur l'impact des machines de ville à partir des réalisations de la compagnie de théâtre de rue La Machine et de la présentation à Dessau de « L'Expédition végétale ». Mai 2011/Colloque «Die Stadt und Ihre Kinder » à Dessau (Allemagne)

- Etude pédagogique et prospective d'un nouveau « Total Theater/Théâtre Immersif » en lien avec le projet NAEXUS. Réflexion et projet de scénographie et d'architecture sur le thème d'un théâtre environnemental, théâtre multimédia à 360°.

Le projet FAUSTT croise et fédère des recherches en cours, comme le Næxus et permet le développement de nouveaux projets. L'exemple de « l'expédition végétale » montre comment une action pédagogique se développe en programme de recherche lui-même incitant une compagnie à venir jouer. La mise en place du spectacle et son impact sur le site, devient sujet d'observation reversé dans les thématiques du laboratoire, tandis que les implications en termes d'aménagement et de reformulation de l'espace sont réinvestis dans la pédagogie des écoles françaises et allemandes.

Le Projet VALEUR

Le projet VALEUR : « Valeurs et Utilités de la Culture : une perspective territoriale » Acronyme : « VALEUR » est un ensemble de recherches menée de façon contractuelle avec la région Pays de la Loire dans le cadre du volet « émergence collective »

Le projet est coordonné par D. Sagot-Duvauroux, professeur à l'université d'Angers et directeur du GRANEM. Un responsable est désigné sur chacune des axes. Les responsables sont répartis entre les différents laboratoires impliqués dans le projet.

Ces laboratoires sont (la liste n'est pas exhaustive) :

- GRANEM, Groupe de recherches angevin en économie et management, UMR-MA n°49, Angers
- CARTA, UMR ESO n° 6590, Université d'Angers
- LEMNA, laboratoire d'Economie et Management Nantes Atlantique, EA n°4272, U. de Nantes
- CENS, Centre nantais de sociologie, EA n° 3260, Université de Nantes
- ESO-Nantes, Espace et Sociétés, UMR 6590, Université de Nantes
- IHT, Institut de l'Homme et de la Technologie, Politech, Nantes
- AUDENCIA, Nantes
- CRENAU (GERSA), Ecole Nationale Supérieure d'Architecture, Nantes
- Ecole Régionale des Beaux-Arts de Nantes (ERBAN)

Le projet VALEUR, installé sur 3 ans, a pour objet la réalisation d'un programme de recherches associant des chercheurs en économie, gestion, géographie, sociologie, arts plastiques, architecture, scénographie et urbanisme répartis sur Nantes et Angers autour de la question de la définition, la construction et l'évaluation de la valeur des activités culturelles. Il est conduit avec la perspective de la mise

en place d'une Fédération de recherche « Culture et territoire », projet déposé en octobre 2010 par l'Université de Nantes, l'Université d'Angers, l'Ensa Nantes, et l'Ecole supérieure d'art de Nantes Métropole.

Le projet a reçu une première aide pour affiner les objectifs et favoriser la cohésion entre les différents partenaires en 2010-2011.

Il s'articule autour de cinq problématiques complémentaires :

- Quelles sont les valeurs (économique, sociale, écologique, esthétique, historique, technique identitaire…) ou les utilités sociales de la culture pour un territoire ? Comment les mesurer et les évaluer ? Quels sont les enjeux et les conditions du développement d'un cluster culturel ?
- Comment les populations perçoivent les valeurs de la culture ? Comment s'approprient-elles et perçoivent-elles les propositions culturelles et comment celles-ci participent à la recomposition des espaces vécus et à la construction de nouveaux territoires de projets ?
- En amont, comment se construisent les hiérarchies de valeur dans le champ artistique entre culture savante et culture populaire, entre stars et artistes anonymes, entre les lieux labellisés et les autres ? Quelle est l'emprise spatiale de ces catégorisations ?
- Quels nouveaux modèles de valorisation de la culture émergent et comment affectent-ils les organisations culturelles, les modes de rémunération et l'emploi ?[8]
- Enfin comment construire une épistémologie de l'évaluation en matière culturelle, c'est à dire pourquoi, pour qui et comment sont produits et utilisés les objectifs et les indicateurs des politiques culturelles ?

Dans un premier temps, la décision a été prise de choisir le Quartier de la Création à Nantes comme objet d'étude caractéristique des questions que pose un développement territorial centré sur la culture. Il ne s'agit évidemment pas de ne travailler que sur Quartier de la Création mais de partir des questions posées par le Quartier de la Création pour développer les analyses, notamment comparatives avec des projets qui se développent ailleurs, notamment sur Angers et dans une dynamique régionale qui irait de Saint-Nazaire au Mans. Il est convenu que chaque porteur d'axe (et les chercheurs impliqués) réfléchit à la façon dont les problématiques portées par leur axe se posent sur le Quartier de la Création et quel type d'études envisagées, notamment comparatives et prospectives peuvent être envisagées pour avancer dans la réflexion.

[8] Lescop L., la ville et le numérique, Séminaire L'équipement du territoire, Ecole d'architecture de Nantes, Vendredi 11 mai 2012

Figure 7 - conférence lors du colloque Poétique du numérique 3, MSH Ange Guépin de Nantes mardi 12 et mercredi 13 juin 2012, www.projet-valeurs.org

Le choix d'un terrain d'étude commun doit permettre un partage des questionnements afin de favoriser l'interconnaissance et la cohésion des différentes composantes de l'équipe de recherche dans la perspective de la redéfinition ultérieure du projet global.

Présentation du mémoire

Le présent mémoire chemine à travers les différents thèmes qui ont animé mes recherches depuis mon inscription en thèse en 1995. C'est un mémoire paysage qui suit un sentier principal, celui de la représentation graphique mais qui s'attarde ici ou là, interpelle des passants et prend le temps d'observer, de contempler ou d'admirer. C'est un récit de curiosités mais surtout de transmission auprès de mes étudiants.

Acte 1 : Représentations et récits

De la pédagogie à la recherche…

La recherche en architecture

Peut-il exister une recherche en architecture dont l'objet soit réellement l'architecture et peut-il exister une recherche en architecture qui puisse diffuser, hors de son champ propre, pour peu qu'il soit possible de le définir, des connaissances qui puissent nourrir d'autres disciplines ? Ces questions simplement exprimées et semblant appeler une réponse rapide et évidente ne sont peut-être pas si évidentes. Panos Mantziaras, Chef du Bureau de la recherche architecturale, urbaine et paysagère[9] montre dans une conférence donnée le 16 janvier 2015 au Collège de France[10], une étude de Martin Rosvall, Carl T. Bergstrom[11] faisant apparaitre, si l'on se place à l'échelle des autres disciplines, que l'architecture n'apparait ni comme thématique de référence, ni comme thématique autoréférencée. Un zoom permet toutefois de voir apparaitre le terme architecture lié à l'art et à l'histoire.

La première partie de cette question, peut-il exister une recherche en architecture, provoque de nombreux débats tant identitaires qu'épistémologiques. L'EPFL s'est posé la question en 2014 lors d'un colloque intitulé « *Qu'est-ce que la recherche en architecture?* » en mettant en avant l'un des obstacles premier que rencontre tout chercheur architecte : « … *comment peut-on délimiter l'objet de notre recherche sans exclure des aspects essentiels et sans se faire dépasser par un nombre ingérable de dimensions? D'autres disciplines adoptent une façon particulière de regarder le monde. Pouvons-nous affirmer le même postulat et ainsi invoquer un même paradigme*

[9] BRAUP, http://www.culturecommunication.gouv.fr/Politiques-ministerielles/Architecture/Formations-Recherche-Metiers/La-recherche-architecturale-urbaine-et-paysagere

[10] Mantziaras P., Vers une épistémologie de l'architecture, Colloque, l'architecture en pratique et connaissance scientifique organisé par Jean-Louis Cohen, Collège de France, 16 janvier 2015

[11] Rosvall M., Bergstrom C. T., Maps of random walks on complex networks reveal community structure, PNAS 105, 2008, pp. 1118-1123

commun? Quelle vision du monde adoptons-nous et dans quelle mesure le véhiculons-nous?[12] »

La recherche en architecture est avant née d'une décision institutionnelle au tournant de mai 68 en créant un espace prospectif à la commission au Plan. Cette création est concomitante à la scission de l'architecture de la formation des Beaux-Arts et la création des écoles, au sein desquelles se développeront des initiatives de recherches. L'architecture, objet d'intérêt et de considération dans la haute fonction publique et au sein de l'état, est une pratique dont l'objet est de construire des bâtiments et des villes dont l'organisation et l'esthétique répondront à des impératifs sociaux et politiques, soit organiser l'espace et le temps sur un territoire donné. Mais cela, surtout en cette période des 30 glorieuses où les besoins en construction sont considérables, doit s'accompagner de démarches prospectives organisées. André Lichnerowicz, mathématicien et passionné d'architecture, rédige un rapport en 1970 donnant des objectifs à la recherche, ce qui aboutira en 1972 à la création du CORDA par une directive du ministre des affaires culturelles, Jacques Duhamel Les objectifs de la recherche sont les suivants :

- *« création d'une communauté de chercheurs ;*
- *acquisition et diffusion de méthodes et de connaissances, les unes fondamentales, les autres concernant les processus de programmation, de conception et de réalisation ;*
- *création d'un comité de la recherche architecturale assisté d'un appareil exécutif léger*
- *insertion d'équipes permanentes de recherche dans les écoles d'architecture alors nommées Unités pédagogiques d'architecture*
- *création d'ateliers universitaires d'architecture pour permettre une liaison constante entre pratique et recherche au service de la collectivité.* [13]*.»*

Malgré tout, la difficulté à saisir l'architecture comme objet de recherche se traduit en France, selon le Ministère de tutelle des Ecoles d'Architecture, le Ministère de la Culture et de la Communication, par une réponse structurelle plutôt que le dessin d'un contour de problématiques. La recherche en architecture répond aux besoins de la société et s'organise dans des laboratoires de recherche :

> « *La recherche architecturale, urbaine et paysagère s'exerce en France principalement au sein des laboratoires établis dans les Ecoles nationales supérieures d'architecture. Les champs de la recherche architecturale sont vastes. Ils couvrent tout le spectre de la recherche fondamentale à la*

[12] http://contour.epfl.ch/fr/what-is-research-in-architecture-2/
[13] http://www.archi.fr/RECHERCHE/historique.htm

> *recherche appliquée : analyse formelle, histoire, sociologie, anthropologie, économie, modélisation, construction, ambiances, mobilité, infrastructures, transports, analyse du projet, histoire urbaine, sociologie urbaine, etc*.[14] »

Les doctorats et les HDR étant délivrés par l'Université, on perçoit très bien comment les thématiques évoquées par le Ministère et l'organisation de la validation des diplômes, produit une réelle difficulté, non pas à développer des problématiques propres, mais à les faire valider par des disciplines amies. Cela s'accompagne d'un fort éparpillement de la production et donc de l'identification d'une racine commune. Le corolaire est que le chercheur-architecte a souvent l'impression d'abandonner une partie de sa réflexion ou de sa compétence pour entrer dans le cadre disciplinaire qui lui est proposé. C'est, de fait, l'héritage d'une querelle entre une recherche architecturale fondamentale, plutôt teinté de sciences humaines contre une recherche architecturale applicative, plutôt colorée sciences dures ou physiques, cherchant à se dégager d'une perception de recherche non scientifique menée par les praticiens.

La définition d'un objet propre s'est affirmé au tournant des années 90 avec la conviction forte qu'il faut promouvoir, au sein des écoles, des doctorats d'architectes, avec des postures d'architectes, sur ce qu'est l'architecture. Philippe Boudon, le traduit formellement en proposant le terme *architecturologie* qui fait la distinction entre «l'architecture *objet* et l'architecture comme *objet de connaissance* [15]». Il introduit, dans son cours *d'architecturologie*[16], le problème du savoir cumulatif et la question épistémologique de la permanente distinction entre ce qui relève des théories de l'architecture, agencées chronologiquement et des fondements théoriques dont on va pouvoir observer une permanence temporelle. Ce point est crucial pour ce qui concerne la recherche et l'enseignement en architecture, puisqu'une critique récurrente est que le projet architectural ne produit pas de savoirs. L'innovation technique ou l'émergence d'un nouveau style, par exemple, ne produit pas forcément de changements de paradigmes. Comme tous les arts, l'architecture est marquée d'œuvres de rupture dont l'anticipation est impossible, mais ces ruptures stylistiques et constructives n'engagent pas forcément de démarcations dans la fonction d'habiter, dans le rapport au site ou de l'organisation sociale.

A Nantes, sous l'impulsion de Jean-Pierre Péneau, alors enseignant à l'Ecole D'Architecture de Nantes, s'est développée une réelle

[14] http://www.culturecommunication.gouv.fr/Politiques-ministerielles/Architecture/Formations-Recherche-Metiers/La-recherche-architecturale-urbaine-et-paysagere

[15] Boudon P., Sur l'espace architectural, Parenthèses Editions, 2003

[16] Boudon P., Deshayes P., Pousin F., Schatz F., Enseigner la conception architecturale, Cours d'architecturologie, Ed. De la Villette, 1994

singularité de la recherche en architecture à partir du cours *« théories et références du projet* » dispensé en 4ème année dans l'ancien régime des études. Le substantif *projet* impliquait bien l'attachement à l'acte de construire et donc à l'essence de l'architecture, tandis que les *théories* et les *références* amarraient cet acte à des considérations techniques, philosophiques et esthétiques. Le cours s'est ensuite synthétisé sous la dénomination « *Ambiance* » qui est devenu l'étendard du laboratoire CERMA (*Centre d'Etudes et de Recherches Méthodologiques en Architecture*) dont Jean-Pierre Péneau avait la direction. En 1992, le CERMA devient laboratoire d'accueil du D.E.A. « Ambiances Architecturales et Urbaines » habilité la même année en partenariat avec le laboratoire CRESSON de l'Ecole d'Architecture de Grenoble et dirigé par Jean-François Augoyard. En 1998, les deux laboratoires constituent l'UMR 1563 du CNRS intitulée : *Ambiances Architecturales et Urbaines*[17]. Les premiers docteurs architectes sortent cette année-là à Nantes et à Grenoble. Leur reconnaissance académique ne pose pas de problème mais le nom de leur doctorat reste incertain : docteur en architecture, docteur en sciences, ou en sciences pour l'architecte ou l'architecture. En 2014, le CERMA associe le LAUA, l'autre laboratoire de l'Ecole d'Architecture, devenue Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, et l'équipe de recherche du GERSA, en une entité globale, le CRENAU, toujours au sein de l'UMR 1563[18]. Le laboratoire unique de l'Ecole de Nantes, doit affirmer l'existence d'une recherche en architecture.

La recherche dans les écoles est structurellement, intellectuellement, physiquement liée à l'enseignement, il n'existe en effet que de très rares chercheurs en architecture qui ne sont pas enseignants mais il n'existe pas de statut d'enseignants-chercheurs alors que le service de base est de 320 heures contre 192 à l'Université. Les enseignants se répartissent donc suivant 2 grandes catégories, les enseignants qui font de la recherche et qui s'astreignent à une production scientifique régulière et les enseignants ayant une activité de conception et de réalisation opérationnelle. Pour ces derniers, leur activité, dans laquelle réflexion et invention est quotidienne, est largement une activité de recherche qu'ils souhaitent pouvoir faire reconnaitre. Cela nourrit des débats, parfois des antagonismes entre « académiques » et professionnels de terrain sur que doit être la recherche propre à l'architecture et par extension, son enseignement. Mies van der Rohe, ancien directeur du Bauhaus, affirmait déjà fortement sa position en déclarant que :

> « *Au terme d'"architecture" nous préférons celui de "bâtir" ; et les meilleurs résultats appartiennent au domaine de l'"art de bâtir". Beaucoup d'écoles se perdent dans la sociologie et*

[17] http://cerma.archi.fr/?q=fr/node/27

[18] Avec 3 tutelles : le CNRS, le Ministère de la culture et de la communication, et l'Ecole Centrale de Nantes.

> *le design, avec pour résultat qu'elles oublient de bâtir. L'art de bâtir commence avec la réunion soigneuse de deux briques*.[19]»

Il faut rappeler que le nom Bauhaus, la prestigieuse école fondée à Weimar en 1919, épanouie à Dessau à partir de 1925 et fermée à Berlin en 1933 par la pression des Nazis, a été choisi pour rappeler la dimension constructive, artisanale, de l'architecture. L'architecture est moins un art de construire (*Baukunst*) qu'un travail de construction (*Bauwerk*), une construction antiacadémique accessible au peuple[20].

Boudon a interrogé les objectifs de la recherche en architecture en se demandant s'ils visent à interpréter ou à mieux concevoir. Pour Claire et Michel Duplay dans leur critique de l'architecturologie[21], le péril d'une pensée scientifique centrée sur l'architecture, est de ne pouvoir s'appliquer qu'à une «*architecture objet*». Ce serait comme la critique d'art ou la musicologie, dans leurs domaines respectifs, comprendre l'intime de l'espace sans pour autant pouvoir utiliser toutes ces théories pour concevoir. Personnellement, je pense que ce qui doit caractériser et singulariser la recherche en architecture, c'est la capacité à faire projet, à pouvoir élaborer et transformer des concepts, savoir les mettre en œuvre en passant de la théorie à la réalisation, à pouvoir confronter l'hypothèse au réel, donc à concevoir. On retrouve là la distinction aristotélicienne entre la *praxis* et la *poïésis*.

Cet aspect expérimental qui peut se développer sous la forme de micro-projets s'épanouis naturellement dans les écoles, une des clés de la recherche en architecture est donc l'enseignement. Mais en même temps, la recherche en architecture ne peut être et ne doit pas être une *méthode* pour concevoir. Le chemin de crête est très étroit, car il s'agit bien d'aller à la recherche de concepts et non de percepts. Boudon l'exprime très bien : « *A l'idée – doctrinale – de rechercher de « justes mesures » j'ai depuis substitué l'idée – théorique – de chercher à comprendre la complexité de la mesure*.[22] » et de développer, par exemple, le concept de la dualité Échelle / Échelles avec la notion *d'embrayage*[23]. Nous sommes bien donc dans l'exploration de la complexité (ou des complexités) qui deviendront

[19] Norberg-Schulz C., «Conversation avec Mies van der Rohe», paru en français dans l'Architecture d'aujourd'hui, n°79, septembre 1958 pp.40-41 et repris dans l'ouvrage de Neumeyer F., Mies van der Rohe, réflexions sur l'art de bâtir, Ed du Moniteur, 1996, p.338

[20] Droste M., Bauhaus, Taschen, 2005

[21] Duplay Claire & Michel, Méthode illustrée de création architecturale, , Editions du Moniteur, 1985, p.37

[22] Boudon P., Sur l'espace architectural, p.9

[23] Boudon P., Introduction à l'architecturologie, Bordas, 1993

des moteurs et thématiques pédagogiques[24] sous la forme de processus articulant **techniques**, **références** et **projets**. Ces complexités peuvent toutefois être fragmentées et pensées dans une succession chronologique, c'est ce que propose Alain Berthoz avec l'idée de la *simplexité*[25], et qui fait penser à ce commentaire du monteur de cinéma Walter Murch : *«Si vous choisissez par où commencer, alors les options sont immédiatement et considérablement réduites.*[26]*»*

Les nouveaux enjeux pédagogiques

L'Unité Pédagogique « Architecture en Représentation », a été proposée en 2001 au moment où les étudiants ont commencé à aller de la bibliothèque à Google. Les études d'architecture se caractérisent par une forte utilisation d'images. Ce sont des images issues de revues, de sites internet ou de documentaires et des images produites comme les photographies, plans, croquis, réalisations 3D, tout cela en très grand nombre. Les étudiants aussi sont de forts consommateurs d'images de fiction qu'ils vont voir au cinéma, sur leur ordinateur et de plus en plus rarement à la télévision. Ils ressemblent à leurs ainés en études, mais dans une densité et une coprésence de médias inédite. Un rapport du ministère des Affaires sociales, de la Santé et des Droits des femmes indiquait que les jeunes passent 1200 heures par an face à un écran[27] ce qui représente un peu plus de trois heures par jour. La source écran n'étant pas unique, il faudrait ajouter dans le compte, tous les autres supports iconographiques. Les conclusions de l'Académie des Sciences ont été relayés dans un article du Point (« *Faut-il interdire les écrans aux enfants ?* »,[28]), Bernard Stiegler en a fait un commentaire en rappelant, comme étant structurant, le contexte d'une société marchande mondialisée[29]. Comme dans tous ces débats organisés autour d'un monde en rapide mutation, les arguments stigmatisant les images parviennent difficilement à isoler ce qui relève du support de ce qui appartient à la pratique ou des contenus. Ce sont ces formes de nuances que propose le psychiatre et psychanalyste Serge

[24] Couwenbergh, J.P. ; Godyns, J., Concevoir l'architecture : entre complexité et simplexité : L'exercice de la pensée, des chemins d'espace (dans une faculté d'architecture) In : Complexité-Simplexité [en ligne]. Paris : Collège de France, 2014, Disponible sur Internet : http://books.openedition.org/cdf/3379

[25] Berthoz A., La simplexité, Odile Jacob, 2009

[26] McGrath D., Montage et post-production, Compagnie du Livre, 2003, p.43

[27] http://www.social-sante.gouv.fr/IMG/pdf/LEAFLET-PREVENTION_PAP.pdf

[28] http://www.lepoint.fr/sante/faut-il-interdire-les-ecrans-aux-enfants-26-01-2013-1620495_40.php

[29] http://www.ekouter.net/les-ecrans-et-la-jeunesse-avec-bernard-stiegler-a-angouleme-1877

Tisseron dans de nombreux ouvrages, dont l'un justement restitue un échange contradictoire avec Bernard Stiegler[30].

Ce contexte socio-technologique dans lequel baignent nos étudiants impacte nos enseignements, tout comme les nouveaux média ont changé le rapport à la source documentaire et par conséquence, par exemple, au plagiat. Concernant les images, nous avons paradoxalement constaté une relative absence de culture visuelle que ce soit dans la construction d'un corpus de références que dans les principes plus techniques de composition des images comme la règle des tiers, la question des formats, l'équilibre des masses, l'harmonie des couleurs ou le travail sur les complémentaires. Il manque aux étudiants, une première approche de la sémiologie ou de formes élémentaires de la sémiotique qui ne sont que peu abordés au collège et au lycée. Nous avons constaté aussi que la culture du son est quasiment absente et la pratique musicale peu active malgré, nous disent-ils, une présence musicale constante.

Il n'est donc pas sans conséquence qu'une grande partie de la culture architecturale des étudiants passe par le filtre de l'écran. Les enseignants des écoles d'architecture conservent eux, comme idéal romantique, le voyage initiatique à « *l'architecture écrite et commentée* » telle que l'a pratiqué Le Corbusier. Nous souhaitons à nos étudiants d'aller explorer le monde « avec les pieds », carnet de croquis à la main, de s'imprégner des mondes ailleurs. Le Corbusier revendiquera ses propres voyages comme ayant constitué sa formation théorique d'architecte, la formalisant graphiquement dans ses *carnets de voyage*, dessinant, site après site, détails après détails, élaborant ainsi une culture visuelle, anthropologique, technique, phénoménologique, artistique. Les Carnets du « *Voyage d'Orient* »[31] rendent parfaitement compte du passage de l'illustration à l'analyse, le conduisant même à une posture critique concernant le progrès : « *Pourquoi le progrès est-il si laid ?* [32]» dira-t-il. Sans doute n'y voyait-il pas assez de nature, alors que lui-même s'attachait à calculer des ratios construit / espaces verts, ce qui amènera Michel Houellebecq[33] à le qualifier d' *« écologiste avant la lettre* », mais, dans une forme « *totalitaire*[34] » !

L'impact du numérique

De nos jours, presqu'un siècle après les premiers voyages de Le Corbusier, les jeunes futurs architectes ont la chance de pouvoir se rendre partout dans le monde, mais ce sont moins des carnets de

[30] Tisseron S. Stiegler B., Faut-il interdire les écrans aux enfants ?, Editions Mordicus, 2009
[31] Le Corbusier, Voyage d'Orient : 1910-1911, Editions de La Villette, 2012
[32] Monnier G., Le Corbusier, La Manufacture,1986
[33] Houellebecq M., La carte et le territoire, Flammarion, 2010
[34] La question de la relation entre Le Corbusier et les totalitarismes sera largement commenté, voir : Chaslin F., Un Corbusier, Seuil, 2015

dessins qu'ils rapportent comme témoignages, que des mégaoctets de photographies prises sans limites de supports ni de stockage. Le rapport à l'image n'est plus le même, l'abondance crée une forme de boulimie numérique qui se retrouve autant dans la production que dans la consommation. Nous devons donc travailler sur les modes de production, sur les esthétiques et sur les formes de discours accompagnant toute production graphique. Ces 20 dernières années ont vu l'environnement de travail des architectes changer radicalement du fait des outils informatiques. Il y a encore peu, la hiérarchie de l'agence s'établissait avec le concepteur, celui qui invente et réfléchi, au-dessus, et en dessous, le dessinateur, qui fabrique et exécute. Cet ordonnancement, au sein des lieux de fabrication du projet, se retrouvait ensuite sur les chantiers avec d'un côté, le Maitre d'œuvre et de l'autre, les ouvriers chargés de construire l'édifice. Du point de vue instrumental, les premiers possédaient les *outils cursifs* de l'esquisse, de l'écriture et de la correction, les autres, les *outils mécaniques* de la fabrication normée et impersonnelle. Si les rôles se répartissaient ainsi, les compétences n'étaient pas cloisonnées puisque l'architecte tirait sa légitimité dans le fait de savoir tout faire.

Quand les premiers ordinateurs sont arrivés dans les agences, dans les années 90, un déplacement de compétence s'est alors opéré. Le technicien, doté de ce nouvel outil mécanique, a porté une qualification que le concepteur n'avait pas. Un ensemble de contraintes nouvelles a émergé. En passant de la planche à l'écran, le projet en cours n'était plus visible en permanence, il demandait pour être examiné et corrigé qu'il soit imprimé ou que le dessinateur soit à son poste à piloter la machine. A l'écran, les échelles ne sont plus respectées, alors qu'elles donnent, au dossier en train de se monter une indication sur la phase en cours : une esquisse se fait au 100ème avec peu d'indications de détails, tandis qu'un plan destiné à la consultation des entreprises se dessine au 50ème avec de nombreux détails plus précis encore.

La diffusion de l'informatique a également impacté la communication des projets et par incidence, le modèle économique relatif aux concours. Au-delà des normes attachées à la figuration des plans, des coupes et des élévations, la communication du projet architectural et urbain empruntait beaucoup, tant dans le style que dans les intentions, à ce que l'on retrouve dans la peinture ou la bande dessinée[35] même si les intentions des uns diffèrent notablement des objectifs des autres[36]. La **perspective d'ambiance** est l'image qui accompagne le dossier de plans et dont le rôle, généralement en

[35] Jungmann J.P., L'Image en architecture de la représentation et son empreinte utopique, Savoir-faire de l'architecture, 1996

[36] Dethier J., Guiheux A. (*Sous la direction de*), La ville art et architecture en Europe 1870 1993, Editions du Centre Pompidou, 1993

phase concours, puis dans le dossier de permis de construire, est d'évoquer l'état final du bâtiment après sa réalisation et en donne la nature et l'esprit. Illustration noble s'il en est, elle était généralement l'œuvre du maître, la signature de l'architecte. Chacun a en mémoire ou aperçu les sublimes planches de Franck Lloyd Wright, de Mies Van der Rohe ou encore d'Aldo Rossi. Ces illustrations sont d'autant plus remarquables, qu'elles forment avec le projet un ensemble puissant et cohérent. Parfois, les projets s'arrêtent au dessin. Vladimir Evgrafovich Tatlin, Hugh Ferriss, Erich Mendelsohn sont réputés pour leurs architectures de papiers et inspirent encore les créateurs contemporains, comme c'est le cas, par exemple, de Sant'Elia, personnalité marquante du mouvement futuriste, dont les grandioses usines, ont inspiré Leslie Tomkins pour les décors de la chocolaterie du film de Tim Burton[37].

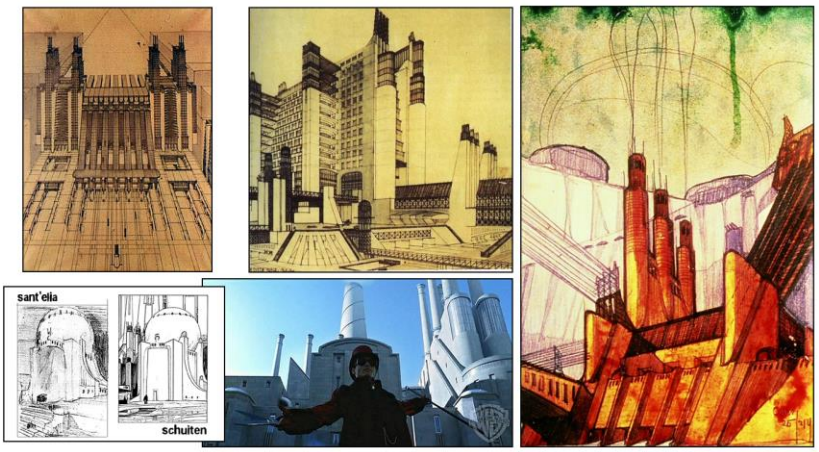


Figure 8 - les perspective de Sant'elia et les traductions formelles en bandes dessinées et au cinéma

L'image numérique est venue perturber l'univers de l'image d'architecture, tant dans la forme que dans l'écriture. A l'aube des années 2000, les productions informatiques montrant de l'architecture en animation, sont caractérisées par de longs travellings tels que l'on pouvait déjà les voir dans la remarquable et séminale reconstitution de l'Abbaye de Cluny en 1992[38]. L'adhésion des architectes à ces nouvelles technologies est faible, principalement parce que la personnalisation de son esthétique est difficile, plus encore que l'appropriation technique. Les premières images numériques appelées *images de synthèse* - terminologie qui permet de stigmatiser une origine artificielle et donc non *naturelle* de l'image (comme les molécules de synthèse) - viennent enflammer le débat sur la question de la place de ces images dans le

[37] Burton T, Charlie et la Chocolaterie (Charlie and the Chocolate Factory), EU/RU, 2005

[38] http://strabic.fr/Cluny-III-en-3D

développement du projet. Elles sont, pour la plupart des commentateurs, trompeuses.

En 1997, la revue professionnelle *d'Architecture*, dans son numéro 75[39], compare les mérites de l'image de synthèse contre les images au crayon ou peintes. Du fait de la jeunesse de la technologie numérique, les arguments s'échafaudent largement en faveur des outils analogiques. L'image produite par l'ordinateur est accusée de ne permettre la distinction du réel de l'artificiel. La question de la **ressemblance** est posée de façon étrange puisque l'imitation parfaite de la nature ne permettrait de distinguer ce qui est à venir de ce qui est déjà réalisé. La figuration du projet, d'un imaginaire donc, comme élément aidant à la représentation mentale, changerait de statut pour devenir la figuration d'un objet dont l'évolution ne se discuterait plus. C'était bien entendu confondre les notions de réel et de réalisme, l'image et le discours qui peut éventuellement l'accompagner, ce que l'on peut formuler aussi comme la confusion entre le signifiant et le signifié, certes, mais seize ans après le dossier *d'Architecture,* quelques soubresauts polémiques animent encore la profession[40].

La deuxième critique porte sur ce que nous pouvons qualifier de **vraisemblance**. Ainsi, l'image de synthèse, s'affranchirait des lois de la physique, de la statique, de la nature, proposerait des figurations possédant une fausse vraisemblance. Confondant là le résultat figuré et le modèle géométrique ayant permis de l'obtenir, les images pourraient rendre crédible des constructions dont les règles statiques s'affranchissent de ce que les matériaux et les assemblages permettent de faire réellement. Le cas du verre est également souvent évoqué. Pour tout à chacun, le verre est transparent et réfléchissant, c'est ainsi qu'il est généralement figuré. Or, il suffit de regarder autour de soi, les vitrages vus de l'extérieur n'apparaissent jamais transparents et sont passablement réfléchissants, ils sont plutôt noir et opaques. Dans les cas des projets valorisant les matériaux verrier, il peut y avoir une différence importante entre l'image réaliste et le réel construit, ce qui pose, *in fine*, la question de l'image contractuelle.

Enfin, la troisième critique avancée à l'aube du basculement technologique opéré en ce début de XXIème siècle, pourrait être organisée autour de la notion de **correspondance**. Cette notion possède de nombreuses ramifications qui ne seront pas détaillées ici, mais l'on peut évoquer dans un premier temps la question de l'engendrement de la forme et de correspondances entre le réel et le virtuel. A l'architecture de papier d'autrefois, pour lesquelles

[39] Architectures (D'), le projet en représentation, Du Croquis A L'image De Synthèse No 75, 01/06/1997

[40] Hagmann A., Arrêt sur image : la 3D, ma quête, le Courrier de l'architecte, http://www.lecourrierdelarchitecte.com/article_4233 , 06-03-2013

viennent naturellement les noms de Piranèse ou de Boullée, succède l'architecture numérique[41]-[42] dont la virtualité première pose les enjeux du rapport au réel. Mais il serait plus juste de conjuguer cette question au passé. En effet, les progrès réalisés dernièrement dans l'impression 3D et la découpe numérique, matérialisent les projets les plus audacieux[43]-[44]. Issues des ordinateurs, les conceptions que l'on appelait encore à l'aube des années 2000 les « *architectures non standard*[45] » sont maintenant assemblées sous le drapeau de l'architecture paramétrique ou *parametric design* en anglais[46]. Des logiciels libres comme Grasshopper[47] créent d'importantes communautés d'utilisateurs communiquant au sein d'innombrables forums et publiant dans principalement deux revues : *AD architectural design magazine*[48], qui est la plus prestigieuse et *EVolo*[49], qui est la plus graphique. L'observation de la façon dont sont présentés les projets montre que les notions de plans / coupes / façades perdent en lisibilité tant les espaces présentés sont complexes, rendant toute sa force à la perspective d'ambiance.

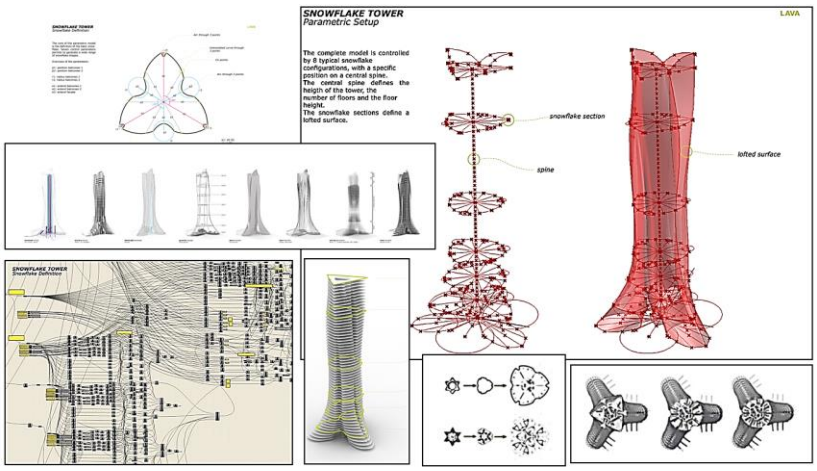


Figure 9 - Projet de Gilles Retsin : « Snowflake Tower »

L'image numérique est maintenant utilisée pour pratiquement tous les rendus de projet et il n'est que rarement possible de reconnaitre la « patte de l'architecte » dans une planche de concours, souvent réalisée par un *perspectiviste* dont c'est l'activité principale. Dans le

[41] Spiller N., Cybrid (s) Architectures virtuelles, Parenthèses Editions, 2008
[42] Spiller N., Visionary Architecture: Blueprints of the Modern Imagination, Thames & Hudson Ltd, Reprint 2007
[43] Picon A., Culture numérique et architecture - Une Introduction, Birkhauser, 2010
[44] Kottas D., Architecture numérique : Nouvelles applications, 2 volumes Links Books, novembre 2013
[45] Migayrou F., Architectures non standard, Ed. du Centre Pompidou, 2003
[46] Jabi W., Parametric Design for Architecture, L. King Publishing, 2013
[47] http://www.grasshopper3d.com/ et AAD Algorithms-Aided Design, Parametric strategies using Grasshopper
[48] http://www.architectural-design-magazine.com/view/0/index.html
[49] http://www.evolo.us/

cadre de la promotion immobilière, l'image d'architecture s'uniformise autour de codes graphiques très précis. Le bâtiment est figuré dans un cadre bienveillant où quelques groupes de passants doivent transmettre un bonheur jeune et ensoleillé[50]. A l'opposé, des stars-architectes telles que Jean Nouvel, déplacent les codes de représentations personnels vers des codes de communication graphique hérités de la publicité. Le message transmet le sujet en masquant l'identité de l'émetteur, ou dit autrement, alors que l'illustration portait en elle l'identification immédiate de l'architecte, parfois plus fortement que le projet lui-même, cette nouvelle forme de figuration relate pleinement le projet, tout en donnant l'illusion de rendre anonyme le concepteur. Il n'en est rien bien entendu, l'architecte maître de sa communication installe un processus dans lequel l'image est au service d'un métadiscours dont le texte d'accompagnement va être plus important que l'évocation du projet par la perspective d'ambiance. Cette évolution accompagne très exactement celle que connait l'art contemporain, telle qu'Yves Michaud la décrit dans son ouvrage *l'art à l'état gazeux*[51]. Il existe toutefois un autre courant, hérité directement de la culture numérique, porté par une nouvelle génération, pour laquelle, le projet est dans le processus. C'est l'idée du *Work In Progress*, le *WIP*, où chaque étape de l'élaboration est révélée, décrite et soumise à critique. Cette culture développe aussi l'art de la citation et de la référence, l'image numérique n'est plus tributaires des capacités du logiciel, mais bien élaborée dans une intentionnalité artistique[52].

Selon l'implacable Loi de Moore[53], les ordinateurs gagnent exponentiellement en puissance, ce qui a permis non plus seulement de produire des images fixes, mais très vite des images animées qui vont emprunter de plus en plus aux codes cinématographiques du cinéma[54], et désormais des images interactives calculées à la volée, souvent marquées par la culture du jeu vidéo.

Ecrire avec l'image

Dans le prolongement de l'exposition de la Cinémathèque consacrée à Jacques Tati, le CentQuatre proposait en 2009, la visite de la villa Arpel, célèbre maison manifeste du film *Mon Oncle* réalisé par Jacques Tati. La maison décrite dans quelques scènes célèbres, régule avec ses dispositifs novateurs, l'ensemble des parcours et des usages, rythme le temps et prend les initiatives maladroites d'une domotique

[50] Moreno P., Simonnot N., Siret D., Ambiances à vendre : la représentation des personnages dans les supports de promotion des projets immobiliers, *in* Cahiers thématiques > 12, Février 2013, p. 119-128.
[51] Michaud Y., L'art à l'état gazeux, Fayard/Pluriel, 2011
[52] http://culturevisuelle.org/plancoupeimage/archives/193
[53] Moore G., Cramming More Components Onto Integrated Circuits, Electronics, vol. 38, 19 avril 1965
[54] Une agence comme Squint/Opera en est le meilleur exemple : http://www.squintopera.com/

imparfaite. Pourtant, comme le dit Madame Arpel : « *C'est si pratique. Tout communique !* [55]» Quand on pense décor au cinéma, on pense architecture et il n'est pas étonnant que des architectes ait été dès l'origine impliqués : soit, tel Robert Mallet-Stevens, comme architecte praticien devenant décorateur ou comme Fritz Lang, Michelangelo Antonioni, Sergeï Eisenstein, Peter Greenaway[56], cinéastes ayant eu une formation à l'architecture.

Décorateurs et architectes travaillent avec pratiquement le même vocabulaire, puisé aux sources des volumes, des ombres et de la lumière, des matériaux et des couleurs, cherchant à engager des styles et des marqueurs sémiologiques. Mais le décorateur travaille sur des espaces discontinus que le spectateur doit reconstituer[57] alors que l'architecte prolonge le hors cadre en un espace cohérent. Alors qu'en est-il lorsqu'il faut filmer de l'architecture ? Stan Neumann[58], qui est un des rares réalisateurs au monde à s'être confronté sur une aussi longue période au défi de filmer l'architecture pour ARTE, pose, au long de son œuvre, des bases méthodologiques. Invité pour une « master class » dans notre groupe de projet, il nous a rappelé que filmer l'architecture ne se résume pas à bouger dans un objet statique. Tout mouvement de caméra doit être signifiant et chaque plan, dans sa durée doit apporter de l'information, image après image.

En moins de dix ans, entre 2000 et 2010, notre pédagogie a dû être totalement repensée du fait des évolutions rapides des outils numériques et du vocabulaire formel des productions. Nous montrions à l'origine aux étudiants comment fabriquer des images dénotant les qualités architecturales du projet grâce aux simulations physiques des phénomènes. Nous avons évolué vers la réalisation de séquences enchainées passant de la description à la réalisation de petites fictions. Les enjeux se sont dès lors déplacés en intégrant la question des durées, puis de façon globale, la notion de chronotopie[59] permettant d'exprimer la temporalité de l'architecture : pensons par exemple à la lumière au cours d'une journée, à la vie d'une rue sur 24 heures ou au temps long de l'histoire. Cette approche a donné aux étudiants des arguments puissants pour la défense de leur projet. Ils

[55] Tati J., Mon oncle, tourné en 1956 et 1957 et sorti en 1958
[56] Qui a réalisé un film sur Eisenstrein, Eisenstein in Guanajuato, 2015
[57] Rhomer E., L'organisation de l'espace dans le Faust de Murnau, Ramsay, 1999
[58] Stan Neumann est co-réalisateur avec Richard Copans de la série « Architectures » diffusée sur Arte, http://www.arte.tv/fr/la-collection-architectures/2798026,CmC=2798770.html
[59] Notion empruntée à Mikhaïl Bakhtine pour évoquer le lieu et le temps de l'action.

ont pu partager des choix rationnels et éviter les jugements purement de subjectivité esthétique[60].

La construction de l'argumentaire rationnel a cependant montré ses limites en évacuant la poétique du lieu, la dynamique de création et la notion de référence. Le mode de production du projet a dès lors été inversé. Il s'est agi de partir du résultat souhaité pour déterminer la cohérence du projet. Lors d'une démarche classique, suite à un diagnostic ou une étude de faisabilité, un programme architectural est rédigé afin d'établir les objectifs de la future réalisation, que ce soit un ensemble paysager ou urbain, un bâtiment, une maison ou un aéroport. Le programme décrit les interactions entre les différents espaces et donne des objectifs de surfaces et de coûts. L'architecte s'empare de ce document pour transformer les indications formelles du programme en lieux à vivre, les contraintes sont multiples, formelles, organisationnelles, structurelles, humaines, ce qui fait que l'un des métiers les plus complexes qui soit. Inverser le processus, signifie partir non pas d'un faisceau de questions, mais d'un faisceau de réponses. Nous avons demandé aux étudiants d'imaginer une visite mentale et sensorielle de leur projet, sans s'occuper dans un premier temps, de la cohérence d'ensemble. Cela donnerait, pour une maison : « au réveil, la chambre des parents est baignée par le soleil du matin ». Cette approche phénoménologique, passant par la perception, par le qualitatif, se traduira, ensuite, formellement par une pièce de 12m² possédant une grande baie vitrée orientée à l'Est. La conception qualitative se trouve donc facilité grâce à des mécanismes cognitifs qui seront détaillés ensuite.

Pour Broadbent[61], il existe quatre modes de conception, pragmatique, typologique, analogique, et géométrique. L'approche de Broadbent repose sur les théories de Chomsky[62]. Nous pouvons tenter une méta-catégorie qui serait la « *conception narrative* » (ou narrative design[63]) bien que dans le monde anglo-saxon cette notion recouvre également l'interprétation en plus de la création[64]). Le récit nourrit l'imagination formelle, doit faire image, ou plus précisément, hypotypose[65]. La conception narrative utilise pleinement les techniques du scénario : il faut créer un contexte, placer des

[60] Lescop L., Suner B., L'imaginaire filmique de jeunes architectes, 10 années de courts métrages sur la ville, In Poétique(s) du numérique 3, Editions l'Entretemps, 2015

[61] Broadbent G., The deep structures of architecture in Signs, symbol and architecture, ed. by Broadbent, R.Bunt, Ch.Jenks, Chichester, Wiley, 1980, p.119-168

[62] *Op.Cit*.

[63] Smartt Bell M., Narrative Design: Working with Imagination, Craft, and Form by Bell, W. W. Norton & Company, 2000

[64] Coates N., Narrative Architecture: Architectural Design Primers series, AD, Wiley, 2012

[65] Le Bozec Y., L'hypotypose : un essai de définition formelle. *In*: L'Information Grammaticale, N. 92, 2002. pp. 3-7.

protagonistes, déterminer une situation de départ, un élément perturbateur et une résolution. Le tout est baigné d'un ensemble de valeurs que l'histoire rend explicite. Les figures de styles sont utilisées, la métaphore bien entendu, mais aussi l'ellipse, l'énumération, la comparaison, etc… Le projet découle donc du récit, il en est un des éléments et non pas juste le décor-réceptacle. Il nous apparait que 90 % du travail de conception du projet est accompli dès lors que le récit et le « décor-actant » ou décor-protagoniste » est en place.

La conception narrative va abondamment utiliser la métaphore comme point de départ du processus de création. Tout d'abord dans la description à l'exemple de ce magnifique passage de Gracq :

> « *La lumière poudreuse, ocrée et presque rousse n'égayait pas la petite place ; il lui semblait plutôt qu'elle émergeait devant lui, étrangère, plus déserte qu'un banc de sable que la marée recouvre.*[66]»

La caractérisation des espaces par une référence métaphorique, produit une image mentale et donne des indications d'organisation, de proportions, de matériaux, de couleurs, de situation, d'accès et d'ouvertures. Une chambre considérée comme un nid, par exemple, impliquera d'être de petite taille, douillette et d'accès malaisé, peut-être un peu secret. Le nid peut être aussi une maison :

> *« Le nid comme toute image de repos, de tranquillité, s'associe immédiatement à l'image de la maison simple. De l'image du nid à l'image de la maison ou vice versa, les passages ne peuvent se faire que sous le signe de la simplicité.* [67]*»*

Le changement d'échelle, ne change pas le principe de la conception narrative. Julien Gracq montrait dans *La Forme d'une ville*[68], qu'il n'y a pas de ville sans une image mentale de cette ville. Sa Nantes de passages et de frontières a structuré son errance dans un espace de subjectivité. Mais là encore, l'évolution de l'arsenal numérique vient interroger nos concepts : l'étudiant de la génération Y[69], équipé d'un téléphone faisant appareil photo et GPS saura-t-il comme Julien Gracq explorer sa mémoire mentale alors qu'il aura tout enregistré avec une précision redoutable, lieux, moment, météo, parcours ? Aura-t-il besoin de sa béquille numérique ou cette dernière lui aura-t-elle aussi à mieux voir ?

---

[66] Gracq J., La Presqu'ile, José Corti, 1970, p.140

[67] Bachelard G., la Poétique de l'espace, Quadrige, PUF, 1957, p.98

[68] Gracq J., La Forme d'une ville, José Corti, 1989

[69] La génération Y décrit la génération née entre 1980 et 200 voir : Dagnaud M., Génération Y : Les jeunes et les réseaux sociaux, de la dérision à la subversion, Les Presses de Sciences Po, 2013

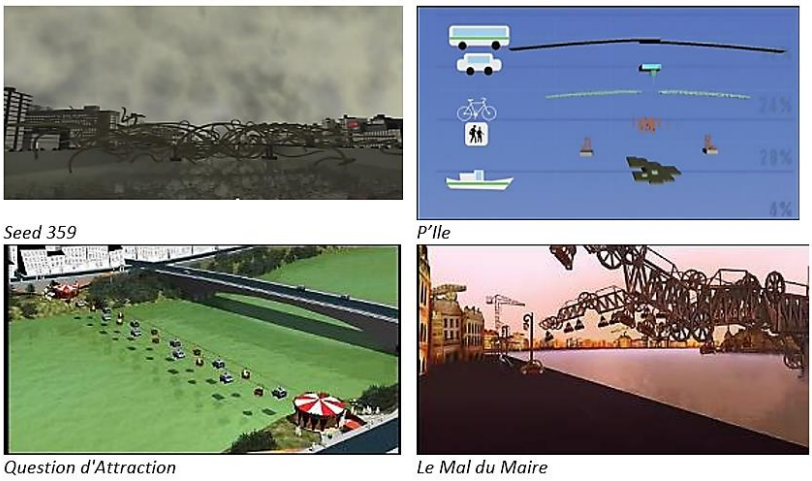


Figure 10 - vignettes des films des étudiants de l'UET Architecture en Représentation

Les films conçus par les étudiants durant la période 2000 – 2013[70] reflètent ces questions soit directement, soit de façon incidente par les conséquences produites. La ville est analysée selon des critères spatiaux et/ou des critères d'échanges sociaux. L'Agora est ainsi soit la place en ville soit le lieu où se nourrit le débat. Ces dernières années, des interrogations se développent autour de ce que l'Internet produit comme agora : est-ce un déplacement, une duplication ou une augmentation ? Derrière se cache l'idée de l'espace total[71] découvert et intrusif. Les textes vieillissent vite et les propositions connaissent une obsolescence rapide due à l'arrivée de nouvelles technologies et à l'évolution des pratiques, des recompositions s'opèrent assez rapidement. L'Agora spatiale virtuelle se détache de son modèle réel en intégrant de très nombreuses dimensions, dont, bien entendu cette dimension qu'est l'information en temps réel, c'est ce que l'on comprend comme *la ville augmentée* ou *La ville 2.0, complexe...et familière*[72] . L'Agora sociale subit également une forte mutation du fait de la disparition, dans l'espace virtuel, des gardiens du savoir[73].

La production des étudiants intègre ou suit cette tectonique des idées, avec pour figure leitmotive, la notion de *transgression*. Cette notion sera identifiée dans la deuxième partie car elle semble intimement liée aux nouveaux médias. Ce qui a intéressé les étudiants, c'est de pouvoir transgresser les lois urbaines. Ainsi la ville de transgression s'oppose à la ville de régulation, plus l'espace 1.0 est régulé, plus l'espace 2.0 sera transgressé. Dans les situations qui ont été inventées, cet aspect s'impose, que ce soit la traversée hors les ponts au parasitage des villes, la ville utopique ou la ville dystopique,

[70] Visibles sur la chaine Youtube/ensanantes : https://www.youtube.com/user/ENSANantes

[71] Lussault M., L'Homme spatial : La construction sociale de l'espace humain, Seuil, 2007

[72] Eychenne F., La ville 2.0, complexe...et familière, fyp, 2008

[73] Bronner G., Croyances et imaginaires contemporains, Manucius, 2013

la ville historique ou la ville narrative. C'est probablement pour cela que les films autour du thème de CheckPoint Charlie ont été les plus intéressants, car ils superposaient à la régulation d'une mémoire de transgression (franchir le mur), des projets transgressant le récit du réel.

Vers les ambiances

Les objectifs pédagogiques décrits plus haut ont présenté quelques notions qui vont maintenant être conceptualisées dans les objets des recherches menées depuis une vingtaine d'années. Il aura été question de parcours, de chronotopie, de point de vue, de figuration et de représentation, d'images mentales, mais également, d'espaces, de perception et de projets. Ces notions peuvent converger vers le concept **d'ambiance**, à la fois pour les contenir mais aussi pour contribuer à définir ce qu'est, justement, une ambiance. Ce substantif devient alors un outil, un mot-outil, bénéficiant des fonctions et des notions qui le constitue, et permettant de construire une meilleure compréhension des objets de recherche.

Etymologie de l'ambiance

Le mot ambiance est relativement récent, il est dérivé d'ambiant du verbe latin ***amb-ire*** signifiant marcher, aller tout autour. Ambiance a comme synonyme : atmosphère, climat, entourage, milieu. On situe son apparition aux alentours de 1885 (parfois 1889 mais est certifié dès 1835) et est attribué à Villiers de l'Isle-Adam, qui utilisait déjà dans les *Contes Cruels*, l'expression «milieu ambiant » :

> *« La mémoire distingue le milieu ambiant de la chose, et la chose elle-même se noie dans cette sensation générale, jusqu'à demeurer opiniâtrement indiscernable. »*[74]

Dans les Nouveaux contes cruels[75], Villiers de l'Isle-Adam applique à *ambiant* le suffixe *ance*, opération très en vogue au XIX^{ème} siècle, créant ainsi *ambiance*. On retrouvera ainsi *regrettance, reluctance, vibrance, tremblance*.

> *« Un homme qui avait le don d'étiqueter toujours, d'une manière sérielle, un fait quelconque, sans l'isoler de son ambiance. »*[76]

Ambiant est plus ancien (1538) et a été utilisé également sous la forme *ambiens* qui, dans le vocabulaire médical, désignait un corps qui pouvait passer à travers les flux. C'est Boiste qui lui donne sa forme générale en 1800. Existe aussi le verbe *ambier*, que l'on peut

[74] Villiers de L'Isle-Adam A. De**,** Le convive a nina de villard ; Contes cruels, page 131 in Œuvres complètes / Villiers de l'Isle-Adam, Mercure de France, 1922

[75] Villiers de L'Isle-Adam A. De, Nouveaux contes cruels (et) Propos d'au-delà, nouvelle éd. suivie de fragments inédits, G.Cres, 1919.

[76] Villiers de L'Isle-Adam A. De, Op.Cit. p.181

voir décrit dans le *Dictionnaire national ou Dictionnaire universel de la langue française*, et qui signifie tourner autour ou, au figuré, ambitionner[77]. Le verbe est peu usité et fera même l'objet d'une remarque dans *les excentricités du langage*[78] en 1865. Le terme ambiance renvoie à une expérience phénoménologique associant les sens, les souvenirs, la perception et les impressions. Pour exemple, lisons encore Julien Gracq qui adresse l'ensemble de nos sens :

> *« Quand il faisait signe de la main à Hervouët, et que tous deux un moment suspendaient leur souffle, le grand large des bois qui les cernait arrivait jusqu'à leur oreille porté sur une espèce de musique basse et remuée, un long froissement grave de ressac qui venait des peuplements de sapins du côté des Fraitures, et sur lequel les craquements de branches au long d'une brisée de bête nocturne, le tintement d'une source, ou parfois un aboi haut qu'existait la lune pleine montaient par instant de la cuve fumante des bois.*[79]*»*

Si la littérature va s'emparer peu à peu de ce mot, c'est surtout au début du XXème siècle, le cinéma qui fournira deux expressions qui se diffuseront ensuite dans le langage commun : la *lumière d'ambiance* et la *musique d'ambiance*. L'un et l'autre vont soutenir ou déterminer la nature des sentiments traversés par le déroulé du film. Intangibles, la lumière et la musique ont en commun de devoir, par la maitrise technique de composition et de jeux d'effets, d'agir sur l'affect du spectateur et d'activer des sentiments en concordance avec le contexte proposé.

Cette association, perception sensible / dispositifs techniques a structuré l'axe scientifique majeur de l'UMR 1563 associant le CERMA à Nantes, désormais CRENAU et le CRESSON à Grenoble. Le philosophe Jean-François Augoyard présentait ainsi une première synthèse de définition : (*les ambiances mettent en jeu*) « *les propriétés physiques de l'espace, la perception de l'occupant, le renvoyant à son univers de «jugement de valeur, de préférences culturelles, de conduites et de représentations collectives »*[80]. Puis il définissait quatre caractères :

1. Les signaux physiques de la situation sont repérables et décomposables ;
2. Ces signaux interagissent avec la perception et l'action des sujets et les représentations sociales et culturelles ;

[77] Bescherelle L.N..**,** Dictionnaire national ou Dictionnaire universel de la langue française, p.152, Garnier frères, 1856, VII-1319-XI p.
[78] Larchey L., Les excentricités du langage, E. Dentu, Librairie – Editeur, 1865 ,p.10
[79] Gracq J., Un balcon en forêt, José Corti, 1958, p.100
[80] Rapport de projet d'UMR, CERMA / CRESSON juin 1997

3. Ces phénomènes composent une organisation spatiale construite ;
4. Le complexe : signaux / percepts / représentations est exprimable.

L'ambiance est engendrée par un dispositif technique et par une impression ou organisation perceptive[81]. Plus récemment, Jean-Paul Thibaud préfère évoquer *« l'espace-temps éprouvé du point de vue sensible*[82] ». On peut donc aussi l'exprimer sous la forme d'un triangle possédant pour sommets : l'espace construit, les phénomènes climatiques et sonores, les êtres « *percevants* ». Bien entendu, cette rapide schématisation ne rend pas compte de la richesse des débats, des propositions et des recherches qui animent les membres de l'UMR 1563[83] et du Réseau Ambiance[84].

Figuration

Issus de la pratique architecturale, j'avais trouvé important, lors de la conception de ma thèse[85], de mettre cette définition à l'épreuve du projet et de la réalité de terrain. L'hypothèse développée a été la suivante : s'il est possible de représenter les ambiances, alors il sera possible de les concevoir comme objets propres et par conséquent les mettre en œuvre. Dans le monde de la création, au théâtre et au cinéma, tout autant que le jeu vidéo qui applique les mêmes recettes, des éléments de réponses précis existent, correspondant à la première partie de la question, c'est-à-dire la suggestion. Dans le cadre d'un projet architectural ou urbain, il s'agit moins de simplement suggérer des ambiances, que de parvenir à faire des allers/retours entre le quantitatif et le qualitatif, autrement dit, entre le **mesurable** et le **perçu**. C'est un exercice complexe et l'observation de la production des architectes de renom n'offre pas de solutions génériques comme le montre Céline Drozd dans sa thèse[86] et son article concernant la représentation des ambiances[87].

Dans un premier temps, il faut définir ce que vont être nos premières données d'entrée. Elles se constituent en deux groupes : l'environnement bâti ou non : une pièce dans une maison, une rue ou

[81] Augoyard J.-F., ambiances, du lexique...à l'épistémè, cours de DEA Ambiances architecturales et urbaines, Nantes / Grenoble, 1997

[82] Thibaud J.-P., L'ambiance, chemin faisant. Vers une perspective internationale. In : Culture et Recherche 112 (2007), p. 31–32

[83] http://www.crenau.archi.fr/

[84] http://www.ambiances.net/

[85] Lescop L. : La représentation des ambiances architecturales et urbaines : Introduction à une pédagogie des ambiances, Thèse de doctorat, Université de Nantes, 1999

[86] Drozd C., Représentations langagières et iconographiques des ambiances architecturales : de l'intention d'ambiance à la perception sensible des usagers, Thèse de doctorat, École Centrale de Nantes, 2011

[87] Drozd C. & *al.,* La représentation des ambiances dans le projet d'architecture, in Sociétés & Représentations, n° 30, 2012, pp. 97-110

un champ par exemple, et un ensemble de phénomènes climatiques, lumineux et acoustiques : la lumière, le vent, la température, les odeurs, les sons, pour n'évoquer que les plus évidents. Dans la première catégorie, nous avons des éléments tangibles, dans la deuxième des éléments intangibles qui se manifestent principalement par leurs effets. Avant de parler de perception de ces effets, il sera nécessaire dans un premier temps d'observer la façon qu'ils ont de se manifester à nous.

Cela suppose donc de résoudre la question de la dénotation et trouver ou créer des figures qui puissent arriver à décrire les ambiances en architecture, soit par les phénomènes tangibles, soit par les phénomènes intangibles. Ce serait, d'une certaine façon, rechercher ou établir une forme vocabulaire d'ambiance, permettant d'aller vers un langage. Or, ainsi que l'écrit Nelson Goodman, dans deux chapitres importants, l'un dans les *Langages de l'art*[88] et l'autre dans les *Reconceptions en philosophie*[89], un langage de l'architecture n'existe pas réellement. Les arguments sont les suivants : «*les œuvres architecturales ne dénotent pas*[90]*»* et, mis à part quelques cas isolés comme les baraques de marchands de hot-dogs en forme de hot-dog, il n'existe pas réellement de relation évidente, non conventionnelle, entre la forme et la fonction. Devant l'obstacle posé par Goodman, l'hypothèse des ambiances comme dénotation d'un espace construit demande de définir des étapes intermédiaires.

La première est d'identifier les figurations des phénomènes lumineux, climatiques et sonores. Il faut reconnaitre les types de figurations, c'est-à-dire les valeurs conventionnelles que l'on peut trouver pour les phénomènes intangibles, puis de vérifier que l'on peut figurer plusieurs phénomènes simultanément pour rendre compte d'un début de complexité en ce qu'elle met en jeu des considérations cognitives liées à la culture et à l'environnement.

C'est ainsi qu'ont pu être reconnu ce qui a été appelé des « **invariants**[91] » pour le son, la température, le vent, le soleil. Ces invariants correspondent à un vocabulaire graphique que l'on va retrouver dans la peinture, la bande dessinée, la publicité, la cartographie, dont la compréhension générale est immédiate. Les phénomènes y sont décrits par leur nature ou par leurs effets. Par exemple, le vent sera figuré par des lignes parallèles ou par des objets qui s'envolent. La nature des phénomènes peut être figurée également selon plusieurs codes graphiques : des lignes et des flèches, des surfaces et enfin des volumes. On se doit d'ajouter à ces collections, celle des icônes que l'on va retrouver bien entendu en

[88] Goodman N., Langages de l'art, Ed.J.Chambon, 1990
[89] Goodman N., Elgin C.Z. Reconceptions en philosophie, PUF, 1994
[90] Op.Cit. p.32
[91] Lescop L. *op.cit* p.205

cartographie, mais également dans les planches des projets architecturaux.

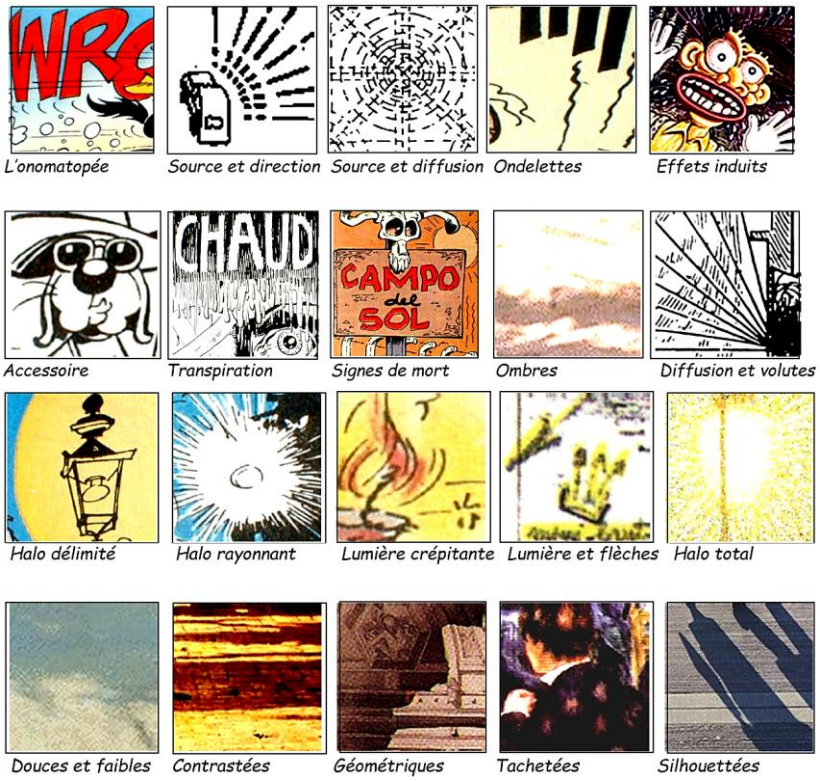


Figure 11 - Exemples d'invariants dans la figuration du son, de la chaleur, de la lumière et des ombres

Cette question de la figuration des phénomènes climatiques et sonores n'est pas anodine d'autant que ceux-là sont tous inscrits dans une dimension temporelle. La forme résultante est donc soit un instant figé, soit la composante d'un ensemble d'états. En architecture, donner une forme à de l'intangible permet de concevoir en prenant en compte ces phénomènes. Ce peut être un travail sur le dimensionnement de masques solaires[92] par exemple ou la prise en compte du couple thermo-aéraulique[93]. Certains concepteurs vont choisir un code graphique pour rendre compte de l'ensemble des phénomènes, c'est le cas par exemple de Clino Trini Castelli avec le *diagramme doux de Gretel*[94] ou Tom porter présentant un *diagramme schématique*[95].

[92] Siret D., Une Approche Déclarative pour la Réalisation de Propriétés d'Ensoleillement dans le Projet Architectural et Urbain . In : Journées 3IA' 96 Infographie Interactive et Intelligence Artificielle, Limoges, 3-4 avril 1996.Limoges : Laboratoire Méthodes et Structures Informatiques, 1996. pp. 55-69.

[93] Vinet J., Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain, Thèse de doctorat, Université de Nantes, 2000

[94] Branzi A., Le design italien : «la casa calda», Ed.l'Equerre, 1985

[95] Porter T., How architects visualize, studio Vista, 1979

On peut établir à partir de ce corpus deux attributions : le contrôle et la suggestion. La première, le contrôle renvoie d'avantage à des modes descriptifs précis des phénomènes, parfois à caractère scientifique, la seconde évoque le contexte du phénomène dans une approche plus sensible.

Résumé synoptique :

	Contrôler	**Suggérer**
Le vent	flèches traits ondes dégradé chromatique	arbres courbés silhouettes penchées feuilles envolées etc.
La lumière	flèches traits ondes dégradé chromatique	différence tonale disparition - pochage reflets, brillances visages crispés, yeux plissés, etc.
Le son	flèches traits ondes dégradé chromatique	plaisir ou déplaisir évident sur les êtres.
La température	flèches traits ondes dégradé chromatique	Déformations atmosphériques Etres gelés ou transpirants Petits glaçons Buée et condensation, etc.
	Vocabulaire	***Figuration***

Tableau 1- Figuration des phénomènes

Ces sont donc des modèles iconiques, qui en sémiologie, engagent une relation entre la figuration, l'image, et les structures linguistiques qui les portent. Les modèles sémiotiques ont une influence forte dans la recherche en architecture, et l'on peut penser de nouveau à Boudon évoquant Peirce[96], dans un article cherchant à synthétiser la définition de l'*architecturologie*[97]. Madeleine Arnold[98] rappelle que la sémiotique en architecture s'est intéressée à la «*conception architecturale, à l'appropriation de l'environnement construit, aux plans et aux dessins d'architectes, aux textes techniques, aux discours critiques, aux traités, à la communication entre les différents acteurs impliqués*».

[96] Peirce C.S., Écrits sur le signe, Seuil, 1978

[97] Boudon P., Complexité de la conception architecturale : Conception et représentation, Synergies Monde, n°6, 2009, pp.105-110

[98] Arnold M. Les théories sémiotiques suffisent-elles à décrire les phénomènes de signification en architecture ? *in* Espace : construction et signification, les Editions de la Villette 1984.

La première étape peut être résumée telle qui suit :

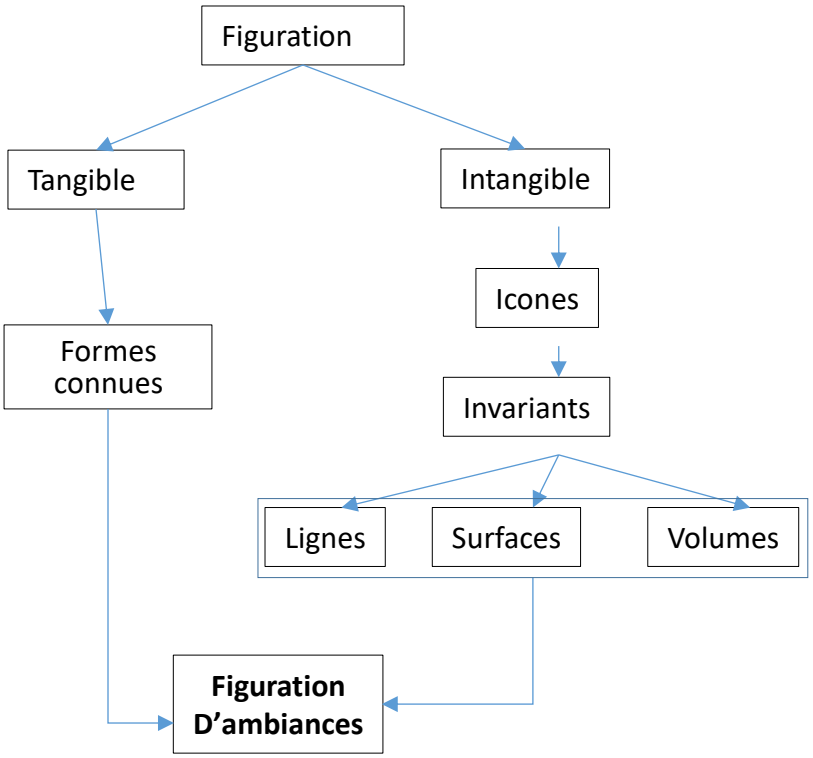


Figure 12- Figuration d'ambiance

Typicalité

Il apparait toutefois que la figuration, même en incorporant de nombreux phénomènes, peine à relater du qualitatif. Le vocabulaire de flèches, de surfaces ou de volumes, abondamment mobilisé pour rendre compte du quantitatif, sera facilement utilisé pour décrire des intensités, des puissances ou des vitesses. Mais les phénomènes climatiques et sonores sont ambivalents, il faut, selon les situations, s'en protéger ou les rechercher. Pensons au soleil si apprécié en hiver et tellement redoutable en été. Il peut donc y avoir des erreurs d'interprétation de l'image, si la figuration n'embarque pas d'éléments de contexte ou si elle ne parvient pas à traduire graphiquement une forme de caractérisation. Se pose donc de nouveau la question de la dénotation, nous plus seulement du phénomène, mais de son contexte. Pour cela, il faut effectuer un franchissement pour aller de la figuration à la représentation. Cela peut se faire en embarquant la question de la perception et par conséquence la mobilisation d'un champ lexical affecté à la description, une perception non verbalisée pourra difficilement, dans le cadre de nos approches, être façonnée en un outil d'analyse puis de conception.

Figure 13 - Deux vues du paysage de Nantes en hiver à quelques heures d'intervalle.

A cette étape encore, la sémiotique est un échafaudage qui facilite la construction de nos hypothèses. Nous avons commencé à l'évoquer, la sémiotique a irrigué un courant important de la recherche en architecture cherchant à définir comment la forme fait émotion. Il y aurait des configurations produisant des sensations que nous partagerions. L'œuvre architecturale serait un système d'indicateurs, et donc un système expressif selon Juan Paolo Bonta[99], organisé autour de signaux, de pseudo-signaux, d'indices intentionnels. Il précise que d'autres indices dont l'intentionnalité (ou non), dépend de l'émetteur, et/ou est présumée par le récepteur. On retrouve ici le modèle du schéma de Jakobson[100]. Pour le Groupe 107[101], le plan d'architecture est un langage répondant aux propriétés définies par Hjelmslev[102]. Le sémioticien de l'architecture Preziosi[103], s'inspirant

[99] Bonta J.P., Architecture and its interpretation. A study of expressive systems in architecture. London, Lund Humphries, 1979

[100] Jakobson R., Essai de linguistique générale, Ed. De Minuit, 1970.

[101] Groupe 107, Sémiotique des plans en architecture, 1973

[102] Hjelmslev L., Prolégomènes à une théorie du langage, Editions de Minuit, 1968

[103] Preziosi D., The semiotics of built environment. An introduction to architectonic analysis. Bloomington, Indiana University Press, 1979

de l'ouvrage de Peirce[104], voit dans le code architectonique, une unité de langue porteuse de signification, et une unité de langue distincte, non porteuse de signification, mais servant à distinguer des unités proprement significatives.

Figure 14 - photographie archétypique, couché de soleil sur l'Elbe

Pour notre propos, ce qui fait signe, n'est pas seulement le bâti, mais également les phénomènes intangibles pour peu qu'il soit possible de les figurer. Le premier point d'appuis que nous pouvons trouver relève de **l'archétype**. En montrant un coucher de soleil sur la plage un soir de juillet, il est certain que chacun reconnaitra la scène et la qualifiera de façon relativement homogène. En utilisant le vocabulaire plutôt qu'un visuel pour décrire la même scène, chacun constituera une image mentale de la même scène composée pratiquement des mêmes éléments. Rosch[105] avait montré qu'il existe ainsi des catégories et qu'à l'intérieur de ces catégories, certains membres sont plus représentatifs que d'autres. Par exemple, si l'on demande à tout un chacun de penser à un fruit, la pomme sera généralement celui à qui l'on pensera le plus facilement. La pomme devient alors la plus représentative de sa catégorie. Des représentations archétypiques d'ambiances sont donc disponibles et largement utilisées au cinéma et dans la publicité, pour peindre en quelques secondes, le décor et l'atmosphère d'un lieu, que ce soit une rue à New-York, qu'une table matinale dans le sud de la France. L'image dans son ensemble doit pouvoir être comprise immédiatement et provoquer une rapide adhésion à la manière ce que l'on appelle en littérature une hypotypose. Une hypotypose est une description qui générera une puissante image mentale chez le lecteur.

La question est dès lors de résoudre la question phénoménologique des archétypes d'ambiance. Si une ambiance se présente comme un tout perçu, renvoyant à un univers mental disponible chez le

[104] Peirce C.S., Op.cit,

[105] Rosch E., classification d'objets du monde réel : origine des représentations dans la cognition. In Ehrlich S. et Tulving E. editors, La mémoire sémantique, Bulletin de Psychologie, pp. 242-250, Academic Press

percepteur, est-il possible malgré tout de décomposer ce que contient une ambiance et éventuellement savoir en créer de nouvelles à partir de pièces identifiées. Le cinéma donne quelques pistes intéressantes. Nous avions montré dans un article consacré aux *Backlots* des studios Babelsberg en Allemagne[106], comment une rue décor présentant des façades européennes du début du XXème siècle, peut représenter la ville de Varsovie, de New-York ou encore Paris en ajoutant quelques touches d'éléments signifiants. Ainsi, les plaques de rue, des affiches, des enseignes fonctionnant comme autant de signes, que les spectateurs reconnaitront. Un signe identifiable pourra être suffisant pour la dénotation de l'ensemble.

Figure 15 - Babelsberg, Back-lots, rue studio

On peut dès lors évoquer parler de **synecdoque d'ambiance**. Au théâtre, cela est largement utilisée : un fauteuil et une lampe vont donner à imaginer une maison au complet[107], un simple arbre pour exprimer la vacuité d'un espace suspendu à l'attente, comme dans la pièce de Samuel Beckett[108].

Les liens construits entre la figuration et le contexte permettent d'avancer dans la construction de représentations d'ambiance. Ainsi, dans un premier temps, des signes précis, qui contiennent un univers cognitif, dénoteront et qualifieront ce que l'on cherche à décrire. Ceci peut encore être illustré par le célèbre exemple de Roland Barthes

[106] Lescop L., Sundermann M., " Back Lots " : la rue décor des studios Babelsberg - La constitution d'ambiances à partir de la même matrice formelle, introduction de la dimension narrative dans la définition des ambiances, Thibaud, Jean-Paul and Siret, Daniel. Ambiances in action / Ambiances en acte(s) - International Congress on Ambiances, Montreal 2012, Sep 2012, Montreal, Canada. International Ambiances Network, pp.653-658, 2012

[107] Par exemple dans Pompée et Sophonisbe de Pierre Corneille, mise en scène par Brigitte Jaques-Wajeman, scénographie et lumière d'Yves Collet, joué au Théâtre de la Ville en 2013

[108] Beckett S., En attendant Godot, Editions de Minuit, 1952

concernant l'Abbé Pierre : "*Le mythe de l'abbé Pierre dispose d'un atout précieux : la tête de l'abbé.*[109]"

Si le meilleurs représentant d'une catégorie pour peut faire sens chez tout un chacun, l'on peut également tenter de travailler sur des éléments moins identifiables ou sur la catégorie en entier pour une approche plus phénoménologique. Il y a en effet une difficulté à cerner le particulier comme le relève Rousseau :

> *« Essayez de vous tracer l'image d'un arbre en général, jamais vous n'en viendrez à bout, malgré vous il vous faudra le voir petit ou grand, rare ou touffu, clair ou foncé, et s'il dépendait de vous de n'y voir que ce qui se trouve en tout arbre, cette image ne ressemblerait plus à un arbre.*[110]*»*

On retrouve dans *Funes ou la mémoire*[111] de Borges, une histoire semblable de dénomination de chacune des choses jusqu'à l'impossible reconnaissance du semblable.

Erwin Goffman a montré dans *La mise en scènes de la vie quotidienne*[112], que des agencements spatiaux produisent des comportements identiques. Une église intimera le silence, une volée d'escalier deviendra rapidement un gradin où s'assoir. Christopher Alexander a relevé un certain nombre de figures de ce type qu'il a nommé **pattern ou motifs**. Il a établi une forme d'agencement logique entre différents motifs qu'il a introduit comme *Pattern Language*[113]. Décrié par les architectes car trop mécaniste, Alexander a pourtant construit un outil conceptuel tout à fait remarquable. La terrasse d'un café est un motif[114] et le motif serait l'illustration du banal tandis que l'archétype serait la forme de l'exceptionnel. Pour généraliser le concept d'Alexander et l'appliquer à nos besoins, nous pouvons utiliser le terme **topique**, comme dépeignant un lieu commun, à la fois dans sa dimension rhétorique que spatial. On pourrait parler d'*un* topique, plutôt que d'*une* topique afin de lui conférer une attribution instrumentale.

---

[109] Barthes R., Mythologies, Points Essais, 1970, p.51

[110] Rousseau J-J., Discours sur l'origine et les fondements de l'inégalité parmi les hommes, première partie, Hachette, 1997, p.57

[111] Borges J. L., Fictions Funes ou la mémoire, pp.116.117, Folio Gallimard, 1965

[112] Goffman E., La mise en scène de la vie quotidienne, 2.les relations en public, Editions de Minuit, 1973

[113] Alexander C., A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction, OUP USA, 1978

[114] Lecorre Y., Le "pattern ambiant" : une entité opératoire de caractérisation et de conception des ambiances urbaines, thèse de doctorat, Université de Nantes, 2006

Figure 16 - Topique "terrasse de café"

Notre topique peut alors s'approcher avec trois caractères **: l'attribut, la fonction et la forme.** Le topique ainsi présenté est largement inspiré des classes informatiques, elles-mêmes suscitées par les travaux d'Alexander. La boucle est bouclée. L'attribut va décrire ce qui compose le topique, la fonction va renseigner les activités qui s'y dérouleront et la forme indiquera des rapports d'échelles ou de proportions. Dans le tableau suivant, l'exemple emprunté à Bachelard sert de modèle.

objets	Topique Chambre	Topique nid-d'oiseau	Topique Nid (métaphore)
nom	Chambre	Nid d'oiseau	Chambre / nid
Attributs	Lits Murs Porte Fenêtre Bureau	Branchages Pailles Feuilles	Lits Murs Porte Fenêtre
Fonction	Repos Intimité Retraite Travail	Nidation Protection	Repos Intimité Retraite Protection Confort
Forme	*Sans objet sans plus de précision.*	Petite taille Rond Matériaux bruts, « naturels » bois, chaume Rusticité + simplicité	Petite taille Rond ou formes douces Matériaux « naturels » bois, chaume Rusticité + simplicité

Tableau 2- Attribut - forme - fonction

On dispose donc de trois possibilités maintenant identifiées : les archétypes, décrivant le meilleur représentant de sa catégorie, la synecdoque d'ambiance révélant ce qui est saillant dans une configuration donnée et le topique qui dépeint une situation banale mais immédiatement reconnaissable.

Cela peut se résumer ainsi :

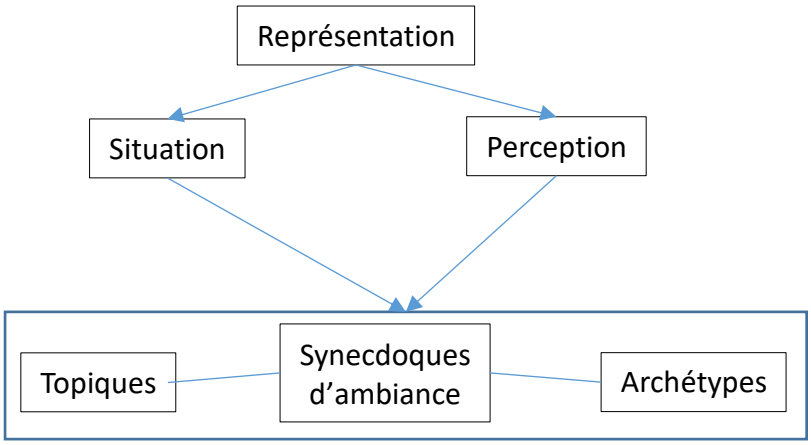


Figure 17- Représentation

A ce stade, la question des modèles devient prégnante, on peut en effet penser qu'elle accompagne naturellement celle de la production des images et par là-même, celle de l'imitation. Nos topiques, synecdoques d'ambiance ou archétypes sont-ils des modèles ? Pour évoquer les ambiances, plusieurs types de modèles peuvent être envisagés : les modèles linguistiques ou iconiques, déjà conviés dans les paragraphes précédents, les modèles métaphoriques, topologiques, géométriques, mathématiques. Il y a un trajet qui va donc de la nature observable à une objectivation de quelques critères via la fonction du modèle. Le modèle peut aussi fonctionner à l'inverse quand il s'agit de tenter de reproduire des phénomènes naturels. La modélisation consiste à fabriquer des modèles mathématiques, informatiques « *pour comprendre ce que l'on observe dans la nature*[115] ». Le mouvement se fait donc de la modélisation vers la nature, favorisant la discrimination et favorisant l'émergence.

Emergence

Existe-t-il un lien entre ce qui a été identifié comme topique et la fonction d'émergence ? Une mobylette qui passe dans une rue calme se singularise, s'identifie et crée de l'émergence et l'on passera de la description : *c'est une rue calme*, à *c'est une rue bruyante*, l'évènement unique ayant requalifié l'ensemble des composants. Cela induit que l'énoncé, comme fondement d'un lieu d'énonciation, est à la fois le lieu d'émergence d'un sujet et d'un objet intentionnel[116]. Image ou discours, le sens est porté par les idées qu'il exprime dans un système de référence donné. Le discours tenu sur le lieu est impliqué par *l'habitus*, autrement dit les formes d'activités consacrées par l'usage[117] et l'ensemble des discours dessine les traces

[115] Atlan H., Qu'est-ce qu'un modèle ? MANUCIUS, 2011, p.13
[116] Reiner M., Mondes lexicaux et topoi dans l'approche d'Alceste, in Mots chiffrés et déchiffrés, Mélanges offerts à Etienne Brunet pp. ;289-303, Textes rassemblés par Sylvie Mellet et Marcel Vuillaume, Honoré Champion, 1998
[117] Bourdieu P., Ce que parler veut dire, Fayard, 1982

langagières de ces activités[118]. Il existe plusieurs types de discours : ils peuvent être injonctifs (*il faut faire silence dans une église*), argumentatif (c'est la plus belle plage d'Europe par sa largeur, son orientation, sa propreté[119]), descriptif ou narratif. Il y a donc des discours associés à un ensemble de représentations qui, selon le type de discours, créent ou contribuent à la perception des lieux. Plus qu'un référent, un mot convoque un ensemble de mondes, ces ensembles sont appelés *topoi*[120], ces derniers agissent comme des attracteurs :

> *« Un "lieu" ne peut être réellement défini en soi. Un lieu se définit par l'existence même d'autres lieux auxquels il s'oppose et dans lesquels il perd son identité. Dans le cadre de son discours, un locuteur doit gérer au fil du processus énonciatif ce passage d'un lieu à l'autre qui est aussi le passage d'une identité à l'autre. Cela est le propre même de l'argumentation rhétorique et dialectique ; En visée référentielle, elle vise également à gérer l'activité d'un locuteur dans la manière de définir ses positions d'énonciation. Dans un corpus particulier, mes "lieux habituels" peuvent être indexés par leurs mondes lexicaux.*[121]*»*

On comprend dès lors que la description d'un lieu suppose le choix d'éléments de **connotation**. Norberg-Schultz dans l'Art du Lieu[122], met ainsi en vis-à-vis une allée forestière près de Reims et la nef de la cathédrale de la même ville[123]. La mise en relation d'un lieu par rapport à un autre, ce mode d'évaluation phénoménologique est conceptualisé par Augustin Berque en partant de l'idée de *mésologie*[124]. Le substantif mésologie a été créé par Charles Robin popularisé par Louis-Adolphe Bertillon au XIXème siècle puis porté par l'analyse phénoménologique des milieux. Berque va s'interroger par exemple, sur la façon que l'on a, de rapprocher mentalement deux lieux pouvant être distants de milliers de kilomètres. Il définit que l'être percevant est dans une réalité mésologique dans laquelle il existe une relation entre la réalité objective et subjective et que cette relation est la ***trajection***[125]. La réalité est donc *trajective*. Cette trajection est identifiée ailleurs comme liée à la cognition et à la

[118] Achard P., La sociologie du langage, PUF, 1993
[119] http://www.labaule.fr/la-plage-de-la-baule-escoublac
[120] Anscombe J.-C., La théorie des Topoi, p.51, Kimé, 1995
[121] Reiner Max, Op.Cit. p.293
[122] Norberg-Schulz C., L'art du lieu, Le Moniteur, 1997
[123] *Op.cit.* pp.64-65
[124] Berque A., La mésologie, pourquoi et pour quoi faire ? Presses Universitaires De Paris 10, 2014
[125] Berque A., La pensée paysagère, Archibooks, 2008, p.100

mémoire. Par exemple, Gombrich, dans *l'Art et l'illusion*[126], va montrer les approximations qui naissent lors de la figuration d'un sujet (par exemple un cachalot[127]) alors qu'on n'a pas appris à le connaitre ou tout le poids de la culture artistique dans l'expression d'un paysage[128], ce qui nous ramène à la question des stéréotypes.

Que ce soit dans un paysage dans lequel quelque chose nous rappellera quelque part, ou pour un individu chez lequel un détail nous évoquera quelqu'un d'autre ou une image où un trait nous en suggéra un analogue, il existe toujours dans un ensemble compris comme cohérent, un caractère qui semble plus prégnant que les autres et qui, d'une certaine manière, détermine l'ensemble. Cette notion d'émergence, que l'on associe souvent à la formule : « *le tout est plus que la somme de ses parties* » est liée au couple de traitement de l'information. Pour les cognitivistes[129], les étapes de ce traitement de l'information sont, sensorielles, figuratives puis cognitives. L'information connait deux traitements : les traitements montants (*bottom up*), déterminés par les caractérisations sensorielles et le traitement descendant (*topdown*), actionnant, la mémoire et les propriétés cognitives, le tout conditionné est par de l'affectif[130]. Les informations sensorielles sont discriminées et connaissent des seuils. Pour percevoir la différence entre deux valeurs d'un paramètre physique, il faut que celle-là dépasse une ampleur minimale appelée seuil différentiel[131]. Par exemple, la fraction différentielle, c'est-à-dire l'écart entre deux stimuli perçus, est pour l'intensité lumineuse[132], de 1/50, pour l'intensité sonore de 1/10, et pour les odeurs 1/5, pour prendre des grandeurs approchées. Si l'on possède un vocabulaire suffisamment précis, on va pouvoir alors qualifier correctement ce que l'on perçoit ou ce que l'on comprend comme émergent. Une image servant de référence, ou aidant la *trajection* peut partiellement palier le non exprimé. De fait, ces passages d'un ici à un ailleurs, qui alimenteront ensuite les questionnements liées à l'immersion et aux dispositifs immersifs, induisent l'introduction de la narration comme l'un des véhicules de ces connexions.

Amorçage

On peut laisser ce lien cognitif, ou *trajection*, s'établir spontanément, mais dans le cadre de la réalisation d'un espace, qu'il soit virtuel, cinématographique ou théâtral ou réel, il put être intéressant, si ce

[126] Gombrich E. H., L'art et l'illusion : Psychologie de la représentation picturale, Gallimard, 1996
[127] *Op.cit.* p.70
[128] *Op.cit.* p.74
[129] Roulin JL., Bonnet C., Camus JF., Craddock P., Gaonach'h D., Psychologie Cognitive, Breal, 1998
[130] Cyrulnic B., La naissance du sens, Hachette Pluriel, 1995
[131] Besnier J.M., Les théories de la connaissance, Flammarion, 1996
[132] Découverte par Pierre Bouguer et décrite dans son ouvrage posthume Traité d'optique sur la gradation de la lumière, 1760

n'est d'agir dessus, mais pour le moins d'opérer une forme de contrôle. Kulechov a montré que l'on peut déterminer l'affect d'un spectateur en opérant sur des couples d'images. La première montre un stéréotype : une assiette, un bébé, une femme, auquel suit le portrait d'un homme sans expression. Le spectateur détectera non pas la neutralité réelle de l'acteur, mais projettera sur ce dernier, l'émotion que les premières images ont provoquée[133]. Une image a préparé une autre image et en a déterminé le sens en servant d'amorce. La notion d'amorçage est abondamment décrite en psychologie cognitive[134] et fait même l'objet de recherches spécifiques sur les techniques de manipulation[135]. Si l'on souhaite agir sur un stimulus cible pour obtenir une action déterminée, il faut préparer un premier stimulus, appelé amorce, choisi pour être proche du stimulus cible. En architecture, l'amorce va être obtenue soit par l'articulation de deux espaces (antichambre et bureau par exemple), soit par un changement de lumière, d'échelle, de température, soit encore par un évènement soudain : « *il faut vraiment que survienne quelque chose pour que notre regard observe ce qui nous environne*[136]».

La dimension temporelle s'est peu à peu installée dans notre recherche de la représentation des ambiances. Que ce soit par la *trajection*, par l'amorçage, il y a articulation entre plusieurs références spatiales, imaginaires ou réelles, qui peuvent être soit dans le même espace-temps, soit dans des temporalités différées. Pour Bergson, il existe deux grandes catégories d'espace, l'un homogène et abstrait et l'autre constitué comme une succession d'évènements. Pour lui, la perception est liée à l'acte, à la mise en action. La perception est liée à la reconnaissance, qui peut être dans l'instantané et donc passive :

> *« Il y a d'abord, à la limite, une reconnaissance dans l'instantané, une reconnaissance dont le corps tout seul est capable, sans qu'aucun souvenir explicite intervienne. Elle consiste dans une action, et non dans une représentation. Je me promène dans une ville, par exemple, pour la première fois. À chaque tournant de rue, j'hésite, ne sachant où je vais. Je suis dans l'incertitude, et j'entends par là que des alternatives se posent à mon corps, que mon mouvement est discontinu dans son ensemble, qu'il n'y a rien, dans une des attitudes, qui annonce et prépare les attitudes à venir. Plus tard, après un long séjour dans la ville, j'y circulerai machinalement, sans avoir la perception distincte des objets*

[133] Martin M., Le langage cinématographique, Editions du Cerf, 1995
[134] Jimenez M., La psychologie de la perception, Dominos Flammarion, 1997
[135] Joule R.V. et Beauvois J.L., Petit traité de manipulation à l'usage des honnêtes gens, Presses Universitaire De Grenoble, 2014
[136] Norberg-Schulz C., Op.cit., p.37

> *devant lesquels je passe. Or, entre ces deux conditions extrêmes, l'une où la perception n'a pas encore organisé les mouvements définis qui l'accompagnent, l'autre où ces mouvements concomitants sont organisés au point de rendre ma perception inutile, il y a une condition intermédiaire, où l'objet est aperçu, mais provoque des mouvements liés entre eux, continus, et qui se commandent les uns aux autres. J'ai commencé par un état où je ne distinguais que ma perception ; je finis par un état où je n'ai plus guère conscience que de mon automatisme : dans l'intervalle a pris place un état mixte, une perception soulignée par un automatisme naissant. Or, si les perceptions ultérieures diffèrent de la première perception en ce qu'elles acheminent le corps à une réaction machinale appropriée, si, d'autre part, ces perceptions renouvelées apparaissent à l'esprit avec cet aspect* sui generis *qui caractérise les perceptions familières ou reconnues, ne devons-nous pas présumer que la conscience d'un accompagnement moteur bien réglé, d'une réaction motrice organisée, est ici le fond du sentiment de la familiarité ? À la base de la reconnaissance il y aurait donc bien un phénomène d'ordre moteur.*[137] *»*

L'autre type de reconnaissance est lié à l'attention portée :

> *« Quand je me promène pour la première fois, par exemple, dans une ville où je séjournerai, les choses qui m'entourent produisent en même temps sur moi une impression qui est destinée à durer, et une impression qui se modifiera sans cesse. Tous les jours j'aperçois les mêmes maisons, et comme je sais que ce sont les mêmes objets, je les désigne constamment par le même nom, et je m'imagine aussi qu'elles m'apparaissent toujours de la même manière. Pourtant, si je me reporte, au bout d'un assez long temps, à l'impression que j'éprouvai pendant les premières années, je m'étonne du changement singulier, inexplicable et surtout inexprimable, qui s'est accompli en elle. Il semble que ces objets, continuellement perçus par moi et se peignant sans cesse dans mon esprit, aient fini par m'emprunter quelque chose de mon existence consciente ; comme moi ils ont vécu, et comme moi vieilli. Ce n'est pas là illusion pure ; car si l'impression d'aujourd'hui était absolument identique à celle d'hier, quelle différence y aurait-il entre percevoir et reconnaître, entre apprendre et se souvenir ? Pourtant cette différence échappe à l'attention de la plupart ; on ne s'en apercevra guère qu'à la condition d'en être averti, et de s'interroger alors*

[137] Bergson H., Matière et mémoire. Essai sur la relation du corps à l'esprit, 1939, disponible en édition numérique sur le site : http://classiques.uqac.ca/

> *scrupuleusement soi-même. La raison en est que notre vie extérieure et pour ainsi dire sociale a plus d'importance pratique pour nous que notre existence intérieure et individuelle. Nous tendons instinctivement à solidifier nos impressions, pour les exprimer par le langage. De là vient que nous confondons le sentiment même, qui est dans un perpétuel devenir, avec son objet extérieur permanent, et surtout avec le mot qui exprime cet objet. De même que la durée fuyante de notre moi se fixe par sa projection dans l'espace homogène, ainsi nos impressions sans cesse changeantes, s'enroulant autour de l'objet extérieur qui en est cause, en adoptent les contours précis et l'immobilité.[138]»*

Pour un architecte, les textes de Bergson renvoient aussi à des typologies urbaines qui génèreront des ambiances particulières, dont la variété, la configuration, le rythme, vont créer des paysages urbains entrainant une perception passive ou active. Chez Camillo Sitte[139], la qualité de la ville médiévale, que nous retrouvons par ailleurs dans les vieilles capitales européennes comme Rome ou Prague, est d'offrir un spectacle lié à la découverte. Les rues sinueuses ne révèlent que très progressivement leurs trésors, qui souvent apparaîtront masqués, ombrés, encombrés d'objets de valeur moindre. Cette variété infinie peut aussi créer de la confusion, de l'égarement. A l'inverse, Le Corbusier propose d'ordonner « *autour de ces voies courbes (...) des alignements orthogonaux*.[140] » Afin d'offrir un « *spectacle d'ordre*[141]. » Ce qui lui fut contesté par ses contemporains :

> *« Peut-être les satisfactions d'ordre abstrait ne suffisent-elles point à notre bonheur ; nous avons en nous un besoin impérieux d'illogisme, de fantaisie, de grâce. Une ville parfaite, un village modèle nous ferait bayer (sic)*[142]*. »*

Là encore, fait écho, il écrit dans *Essai sur les données immédiates de la conscience* :

> *« On retrouverait en architecture, au sein même de cette immobilité saisissante, certains effets analogues à ceux du rythme. La symétrie des formes, la répétition indéfinie du même motif architectural, font que notre faculté de percevoir oscille du même au même, et se déshabitue de ces changements incessants qui, dans la vie journalière, nous ramènent sans cesse à la conscience de notre personnalité :*

[138] Bergson H., Essai sur les données immédiates de la conscience, 1888, disponible en édition numérique sur le site : http://classiques.uqac.ca/
[139] Sitte C., *L'art de bâtir les villes*, Seuil, 1996
[140] Le Corbusier, *Urbanisme*, Champs Flammarion, 1994, p.200
[141] Le Corbusier *Op.Cit*. p.201
[142] Le Corbusier *Op.Cit*. pp.16 et 17, citant un article de M.Léandre Vaillat dans Le Temps, du 12 mai 1923

> *l'indication, même légère, d'une idée, suffira alors à remplir de cette idée notre âme entière*[143] *».*

La perception est l'anticipation d'une action[144] et il n'y a pas de perception que ne se prolonge sans mouvement. Dans le cadre d'un projet architectural ou urbain, nous pouvons traduire ce triptyque, perception, anticipation, mouvement, sous forme de scénarios *chronotopiques* qu'il sera possible à un concepteur architecte ou scénographe, d'utiliser.

Nous pouvons les lister ainsi :

1. Le sujet formalise *a priori* le lieu où il se rend
2. Le sujet quitte un lieu pour aller vers un autre lieu
3. Le sujet est très fortement conscient de l'environnement proche ou englobant
4. Le sujet est très fortement conscient de l'environnement lointain ou environnant
5. Le sujet perçoit le lieu où il est en fonction d'un lieu où il n'est pas
6. Le sujet perçoit le lieu en fonction du temps passé.
7. Le sujet perçoit le lieu en fonction d'éléments liés à la fréquence

Les deux premières situations font se correspondre deux espaces différents dans une dynamique de déplacement. Dans le premier cas, le sujet ici anticipe le lieu où il se rend en se basant l'expérience qu'il a d'un lieu de même catégorie. L'ambiance sera perçue comme satisfaisante s'il y a adéquation entre la préconception et le lieu. S'il y a différence, le décalage peut-être aussi bien interprété comme une amélioration que comme déception. Dans le deuxième cas, le sujet emporte avec lui, *l'empreinte perceptive* d'un lieu qu'il vient de quitter. Cette empreinte marquera fortement la perception du lieu qu'il visitera ensuite ; à moins qu'une rupture ne vienne réamorcer la pré-construction.

Dans les trois situations suivantes, il y a une forme de comparaison fréquentielle entre le lieu où se trouve le sujet et un ailleurs qu'il perçoit directement ou qu'il imagine. Dans la première de ces trois situations, le sujet considère le lieu où il est comme appartenant à un ensemble global influençant le perçu particulier. C'est un mécanisme connu pour valoriser ou dévaloriser certains quartiers. Un des sentiments bien étudié par exemple, est le sentiment d'insécurité. La valeur particulière du lieu disparaîtra sous l'appréciation de l'environnement. Dans la deuxième situation, l'environnement lointain peut être considéré comme un arrière-plan, qui comme une musique d'ambiance, lie les éléments entre eux et les localise dans

[143] Bergson, Essai sur les données immédiates de la conscience, *Op.Cit*
[144] Berthoz A., Le Sens du mouvement, Odile Jacob, 2013

l'espace. Sur cet arrière-plan, certains éléments servent de repère, et «accrochent» les phénomènes. Pensons à la rumeur urbaine ou le chant du ressac lorsque nous sommes proches de la mer. La troisième situation décrit un processus où l'imagination seule relie un lieu où se trouve le sujet d'un autre avec lequel il n'a aucun contact. Par exemple, l'on apprécie le lieu où l'on se trouve à l'aulne d'un ailleurs agressif ou violent, ce qui se traduit par une expression bien connue : « *je suis bien mieux ici que là-bas* ».

Dans les deux dernières situations, la perception d'un lieu fonctionne par imprégnation. Plus le temps passé est important, plus les préconceptions disparaissent laissant place aux sensations directes. Le temps passé peut être lié également à l'activité, physique et mentale, dont dépendra la perception de l'espace. Le temps passé ou la fréquence de fréquentation d'un lieu ordonnent les probabilités pour un événement d'avoir lieu. La perception liée à l'anticipation, fait que la notion de fréquence, la prédictibilité du lieu en quelques sortes, influencera beaucoup la qualification de l'espace. C'est ce que décrit Bergson dans la citation reproduite ci-dessus.

Vers le récit d'ambiance

Résumé de la démarche.

Nous avons posé, comme hypothèse, la possibilité d'actionner un lien entre une approche *qualitative* et une approche *quantitative* par la notion d'ambiance. Il s'est agi dans un premier temps de pouvoir saisir ces phénomènes. Nous les avons discriminé en deux groupes, ceux que l'on peut qualifier de tangibles, comme les constructions, les plantes, les êtres et les intangibles comme la lumière, le son, la température, les odeurs.

Nous avons vu ensuite que les phénomènes peuvent être figurés, c'est-à-dire que l'on peut leur associer une forme. La conséquence est que l'on peut concevoir de l'architecture avec les phénomènes, par exemple, en optimisant un bâtiment en fonction de la course solaire, ce qui implique, *de facto*, la régulation de l'ambiance intérieure de l'édifice. Nous avons constaté toutefois que la figuration décrit mieux les paramètres quantitatifs que qualitatifs, même quand plusieurs phénomènes sont figurés en une même image.

Pour résoudre cela, nous avons associé la figuration à un contexte qui est donné par une description. En associant le vocabulaire à l'image, la représentation des ambiances, en se référant à Goodman[145], est une « *représentation-en* », d'un lieu, le faisant entrer ainsi dans une catégorisation sémantique. Nous avons alors déterminé trois types de représentation : l'archétype, que l'on va souvent voir dans la publicité, la synecdoque d'ambiance, utilisée abondamment au théâtre et le topique, que l'on va trouver au cinéma. Ces types de

[145] Goodman N., Les langages de l'art, *Op.cit.,* p.52

représentation, pour lesquels nous donnons des exemples utilisés dans la fiction, existent également dans notre quotidien, dans nos villes et nos maisons.

Dans la fiction, la dénotation des représentations d'ambiance peut être facilitée par l'utilisation d'effets, ou présenté autrement, de phénomènes émergeants, rendant explicite l'intention du concepteur. Et là encore, revient le problème posé plus haut pour la conception architecturale ou urbaine qui est celle de la de la méthode de conception. Si un lieu apparaît comme une référence en matière de qualité esthétique, de confort et de fonctionnement, ne serions-nous pas tentés de décomposer ce lieu en objets élémentaires pour pouvoir ensuite recomposer l'ensemble en un autre lieu et reproduire ainsi, par clonage, un exemple fidèle ? Cook et Moore[146] donnent ainsi dans leur ouvrage *Body, Memory and Architecture* un exemple de recomposition de l'acropole d'Athènes en un village pour étudiants. Il faudrait alors s'assurer que chaque détail puisse être porteur de sens, en cohérence avec le tout perçu. Ricœur s'appuyant sur Goodman, se pose cette question au sujet, par exemple, de la couleur grise dans un tableau. Le gris exprime la tristesse. Si un tableau possède la couleur grise c'est donc qu'il veut exprimer la tristesse, car posséder le gris, c'est dénoter la figure comme étant une figure liée à la tristesse. *« La métaphore devient la fonction inversée de la référence*[147] ». Cette notion se démarque du syncrétisme de la phénoménologie de la perception. C'est ici que se place un nouvel obstacle. Pour Stravinski, la musique n'est pas à l'origine des sentiments, la musique n'est ni une expression des sentiments, ni même une description phénoménologique du monde. La musique par sa mise en ordre des sons, des tonalités des phrases musicales et des rythmes, impose un rapport temporel qui produit l'émotion. Une émotion qui n'aurait rien à voir avec la vie quotidienne[148].

En intégrant la question de la perception, nous avons vu qu'il fallait intégrer la notion d'anticipation qui sera également conditionnée par un contexte ; « …*dans la région des faits psychologiques profonds, il n'y a pas de différence sensible entre prévoir, voir et agir* » écrit Bergson dans *Essai sur les données immédiates de la conscience*[149] , ce qui se traduit dans les sciences du comportement par : *la posture est préparation à agir*. Cela fait récit et va imprégner la caractérisation d'une ambiance.

[146] Bloomer, K.C. & Moore, C.W., Body, Memory and Architecture, New Haven, Yale University Press, 1977.
[147] Ricoeur P., La métaphore vive, Editions du Seuil, 1975, p.295
[148] Stravinski I., *Chroniques de ma vie*, Denöel, 1975, p. 63
[149] Bergson, *Op.cit.*

Le récit.

Lionel Naccache pose une question saisissante dans son livre *le Nouvel Inconscient*[150] : « *sommes-nous tous les romanciers de notre propre vie ? »* Il écrit :

> *« Aussitôt la question posée, il ne nous est pas difficile de réaliser que chaque minute de notre vie consciente se traduit en interprétations que nous ne cessons d'élaborer. Vous attendez quelqu'un qui est en retard à un rendez-vous ? Immédiatement, des scénarios qui vous permettent d'envisager les causes de son retard sont joués sur la scène de votre conscience (…).*[151]*»*

Au-delà de la perception, Naccache explique que c'est cette faculté à « *incorporer les autres données du monde réel et à les utiliser pour corriger sans cesse ces scénarios mentaux*[152] », qui nous différencie de personnes souffrant de troubles neurologiques. Celles-là sont dans l'incapacité à renouveler et à réviser leurs constructions conscientes. Ce travail de mise à jour perpétuelle de la part d'interprétation s'accompagne de croyances. Naccache précise : « *notre réalité mentale consciente est avant tout un univers fictionnel que nous construisons à la lumière de la réalité objective, mais qui lui préexiste et qui ne se résume pas à elle*[153]*.* » Le monde des croyances liées à la perception sont difficiles à mettre en évidence parce qu'elles sont largement partagées par tout un chacun de façon assez identiques. La révélation de ses croyances ne peut se faire qu'en contraste avec des personnes psychotiques pour lesquelles nos évidences ne sont pas les leurs. Nos croyances sont beaucoup plus facilement détectables dans des thématiques philosophiques ou abstraites ou comme le montre Gérald Bronner[154], dans des faits de société.

Pour un architecte, l'enjeu est de savoir comment ces récits que nous produisons et qui solidifient nos existences, prennent comme support la ville et le bâti. Dans un célèbre article publié dans la revue Urbanisme[155], Paul Ricoeur tente de construire un lien entre « *architecture et narrativité* », qu'il retient comme titre de son article. Il met dans un premier temps en place un parallélisme qui lui permet d'établir que l'architecture serait l'espace et le récit le temps, il

---

[150] Naccache L., Le nouvel inconscient : Freud, le Christophe Colomb des neurosciences, Odile Jacob, 2009

[151] *Op.cit.,* p.396

[152] *Op.cit.,* p.397

[153] *Op.cit.,* p.398

[154] Bronner G., La démocratie des crédules, PUF, 2013

[155] Ricœur P., Architecture et narrativité. Urbanisme, 1998, n° 303, pp. 44 – 51. Le texte est accessible sur le site de la Fondation Ricœur : http://www.fondsricoeur.fr/uploads/medias/articles_pr/architectureetnarrativite2.PDF

appelle cela une opération « *configurante* ». Il va établir un triptyque préfiguration / configuration / reconfiguration qu'il définit ainsi :

> *« Je place toute mon analyse sous les trois rubriques successives que j'ai parcourues dans Temps et Récit, que j'avais placé sous le titre très ancien de la mimésis − donc la recréation, de la représentation créatrice - en partant d'un stade que je nomme «préfiguration », celui où le récit est engagé dans la vie quotidienne, dans la conversation, sans s'en détacher encore pour produire des formes littéraires. Je passerai ensuite au stade d'un temps vraiment construit, d'un temps raconté, qui sera le deuxième moment logique : la «configuration». Et je terminerai par ce que j'ai appelé, dans la situation de lecture et de relecture, la «refiguration»* [156] *»*

La préfiguration se construit dans des lieux définis comme des endroits où il se passe quelque chose, définition que l'on retrouvera chez Marc Augé[157], où il y a échange de mémoires. Ces lieux se parcourent dans une expérience chronotopique. La configuration correspond à la mise en intrigue, puis à l'intelligibilité et enfin à l'intertextualité : Ricœur intègre l'acte de construire dans la configuration de l'espace : *« On peut dire que se façonnent en même temps l'acte d'habiter et la construction résultant de l'acte de construire.*[158] ». La refiguration correspond à la situation de lire et relire les lieux de vie. Ces relectures installent l'usage et les pratiques et font tendre vers ce qui deviendra « lieu de mémoire ». Mais Ricœur précise qu'il existe deux types de mémoire : la mémoire-répétition pour lequel le nouveau est odieux et la mémoire-reconstruction où le nouveau est accueilli avec curiosité avec « *le souci de réorganiser l'ancien en vue de faire place à ce nouveau* ».

A ce stade de notre exploration, il apparait que la question de l'esthétique a été contournée et qu'il faudrait presque faire le chemin inverse de celui proposé par Bachelard dans la *Psychanalyse du feu*[159], à savoir se recharger en affects pour accepter la part esthétique de notre système. Goethe par le de l'architecture comme une musique pétrifiée et Paul Valéry a souhaité également retrouver dans l'architecture des émotions telles que celles éprouvées à l'écoute de la musique :

> *« Imagine donc fortement ce que serait un mortel assez pur, assez raisonnable, assez subtil et tenace, assez puissamment armé par Minerve, pour méditer jusqu'à l'extrême de son être, et donc jusqu'à l'extrême réalité, cet étrange rapprochement des formes visibles avec les assemblages éphémères des sons*

[156] *Ricoeur, OP.Cit.*
[157] Augé M., Non-lieux, Seuil 1992
[158] Ricoeur, *OP.Cit.*
[159] Bachelard G., La psychanalyse du feu, Folio, 1985 (le texte date de 1937)

> *successifs ; pense à quelle origine intime et universelle il s'avancerait ; à quel point précieux il arriverait ; quel dieu il trouverait dans sa propre chair ! Et se possédant enfin dans cet état de divine ambiguïté, s'il se proposait alors de construire je ne sais quels monuments, de qui la figure vénérable et gracieuse participât directement à la pureté du son musical, ou dût communiquer à l'âme l'émotion d'un accord inépuisable, - songe, Phèdre, quel homme ! Imagine quels édifices !... Et nous, quelles jouissances !»*[160].

Il faut toutefois faire attention de ne pas confondre la valeur esthétique du lieu et celle de sa représentation. C'est ce qui sera évoqué dans la troisième partie.

Le lien à l'archéologie

Depuis 2011, les recherches menées avec l'archéologue Serge Cassen, dans le contexte d'une requalification des représentations graphiques[161] accompagnant les études des monuments mégalithiques, ont naturellement conduit à introduire les concepts liés aux ambiances comme arrière-plan méthodologique, puis comme nouveaux terrains d'investigations pour ce qui concerne à la fois le relevé et la restitution. Que ce soit pour l'architecture ou pour l'archéologie, Les enjeux de contexte sont déterminants, et vont trouver exprimés dans les images visant à donner à voir ce qui a disparu. Ces images utilisent désormais largement l'outil numérique et les débats concernant leur utilisation se font avec les mêmes arguments qu'en architecture.

Les notions de *ressemblance*, de *vraisemblance* et de *correspondance* vont donc également être mise à l'épreuve dans la figuration en archéologie[162]. Pour exprimer le rapport à l'image projective des états ruinés, autrement dit, pour évoquer ce qui n'est plus visible, il s'est maintenant imposé le terme de **restitution** contre le terme de reconstitution. La **reconstitution**, qu'elle soit matérielle ou virtuelle, supposerait de posséder l'ensemble des états du site, du bâtiment ou de l'objet, ce qui est rarement le cas. La question des données lacunaires devient dès lors prégnante et peut être invalidante pour la poursuite du travail. La restitution se pose comme l'intégration

[160] Valery P., Eupalinos ou l'architecte, in Œuvres T2, Bibliothèque de la Pléiade Gallimard, 1960, p.101

[161] Cassen S., Lescop L, Grimaud V., Querré G, Suner B., Une approche multiscalaire du monument néolithique de Gavrinis (Larmor-Baden, Morbihan). Campagne d'acquisition 2011, TRACCE Online Rock Art Bulletin 25 – Mar 2012, http://www.rupestre.net/tracce/?cat=262

[162] Voir l'entretien de Jessica Fèvres - de Bideran avec Sophie Madeleine au sujet de L'archéologie virtuelle, une injonction communicationnelle contrariée… http://cehistoire.hypotheses.org/463

affirmée de jeux d'hypothèses[163]. Cette distinction restitution / reconstitution est surtout rémanent en architecture et fait écho aux postures opposant Ruskin et Viollet-le-Duc sur la conservation en l'état pour le premier ou la reconstruction pour le second. En archéologie, la restitution, que l'on entend principalement comme la production de supports graphiques, est conçue souvent comme un support de médiation et il faudra un peu de temps pour décorréler ce qui relève strictement du travail de l'archéologue, de la communication nécessaire à la promotion de son travail, des ambitions d'offrir au public une information de qualité. Cette question traverse la thèse de Jessica Fèvres-de Bideran[164] construite sur la problématique de l'articulation sujet traité / restitution / dispositif de présentation. Ces dispositifs, d'ailleurs, entrent maintenant dans la conception de la scénographie des lieux de visite, au premier desquels le musée, par le biais de simulacres cherchant à procurer au visiteur un ensemble d'affects et d'émotions dans la recherche de constitution de connaissances[165].

La question devient une question en escalier : si l'on veut mettre en contexte un objet archéologique, il faut pouvoir intégrer à la restitution des éléments d'ambiance, et donc de fait, des phénomènes climatiques et sonores. Ces éléments peuvent être déduits de l'existant restant ou établis d'après ce que le terrain laisse à lire. Les phénomènes devenant partie prenante de la restitution, au même titre que la géométrie des constructions et des objets que la fouille a révélé, il faut pouvoir dès lors, valider leur plausibilité dans le contexte restitué. Mais de façon symétrique, il va souvent apparaitre que les phénomènes ont commandé la configuration d'un site[166] ou la forme d'un bâtiment. La prise en compte des ambiances dans la recherche archéologique ou patrimoniale a été l'un des axes majeurs du laboratoire CERMA à Nantes avec l'analyse de configurations permettant de contrôler et réguler les effets aérauliques et solaires. Cela a permis d'opérer une distinction entre disposition qui correspond à l'agencement du cadre bâti et dispositif qui renvoie aux moyens techniques ajouté au bâti.

Conclusion de la première partie.

Le schéma résumant la démarche peut se présenter ainsi :

---

[163] Santacana i Mestre J., Carme Belarte Franco M., Problème généraux concernant la restitution en archéologie, *in* de la restitution en archéologie, Editions du Patrimoine, CMN, 2008

[164] Fèvres- de Bideran J., Infographie, images de synthèse et patrimoine monumental, Espace de représentation, espace de médiation, Thèse De Doctorat En « Histoire De L'art », Université Michel de Montaigne Bordeaux III, 2012

[165] Flon E., Les mises en scène du patrimoine. Savoir, fiction et médiation, Editions Lavoisier, 2012

[166] Peneau J.P., Sens, sensible aux premiers temps de Clairvaux, A la Croisée, 2007

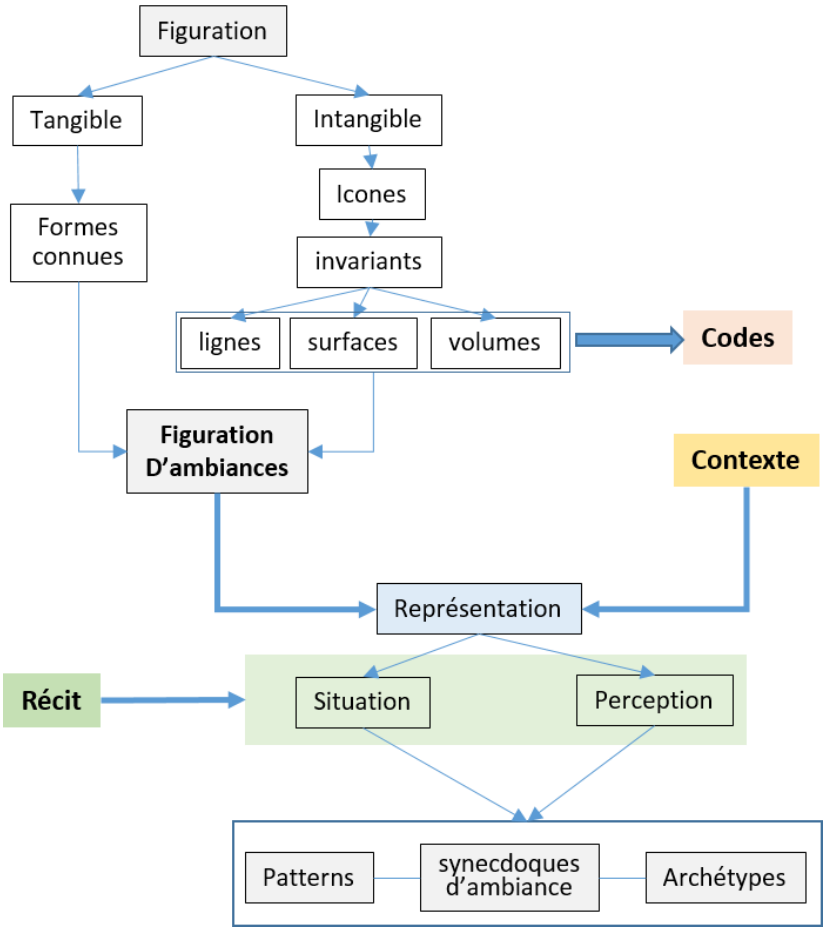


Figure 18- Schéma synoptique de la démarche

Cette première partie a arpenté à grandes enjambées le cadre conceptuel concentré dans le substantif *ambiance* avec comme objectif de parvenir à représenter graphiquement ce qui spécifie un lieu lors d'une expérience subjective. Il est toutefois admis que toute expérience subjective contient des données que l'on peut mesurer et qui, sans dénoter de l'ensemble, donne des tendances que l'on peut interpréter ou reproduire. La mesure est partageable, comme lorsque nous nous enquerrons de la température du jour avant de sortir, à l'opposé, c'est le solipsisme, dans laquelle le sujet est la seule mesure de son réel. Constat a été fait ensuite qu'une représentation ne peut dénoter une ambiance si un contexte n'est pas signifié, de même qu'une architecture ou un décor ne peut dénoter. D'où la production de récits qui viennent, lier ensemble les instants de nos expériences sensibles. La représentation des ambiances devient donc un outil narratif, mais également, un faisceau d'hypothèses dans lequel il sera possible de puiser des questionnements concernant les configurations spatiales des sites étudiés, de comprendre des choix d'implantation ou des choix structurels et partir à la découverte de ce que l'on pourrait qualifier *d'archéologie des ambiances*.

Deux questions vont maintenant naturellement découler de cette première partie : quels sont les conditions de diffusion de ces récits

d'ambiance et peut-on suivre un cas de prise en compte des phénomènes climatiques ou sonore dans l'étude d'un site archéologique afin d'en comprendre la configuration ? Le point sera abordé dans la partie suivante en évoquant l'hypothèse de la course solaire pour l'orientation des sites mégalithiques, puis nous verrons comment envisager les conditions de diffusion du récit en développant la notion d'immersion, dans la dernière partie.

Figure 19 - Gavrinis en hiver, illustration d'ambiance

Acte 2 : Dispositifs et dispositions

A la fondation du Laboratoire CERMA, une forme de renouveau de l'architecture solaire alimenté en Angleterre par les propositions d'Alexander Pike[167] et en France par le mouvement écologiste de René Dumont dynamise les approches climatologiques, énergétiques et environnementales, des jeunes équipes de recherche, encore peu nombreuses en France. Jean-Pierre Péneau explique[168] qu'en réponse aux appels d'offre du CORDA, les structures se stabilisent. A Nantes, des travaux liés à l'ensoleillement se développent, avec la mise au point de protocoles de simulations, tout d'abord analogiques puis numériques avec l'écriture du logiciel SOLENE[169][170].

L'instrumentation mise au point au CERMA a permis, outre l'exploration d'une meilleure conception architecturale, de vérifier certaines dispositions comme celles des Bastides du sud de la France et de rassembler un corpus théorique qui fera l'objet d'un cours dans la formation initiale, puis du fondement du DEA Ambiances. Si la question solaire accompagne surtout aujourd'hui des préoccupations énergétiques, il ne faut pas oublier qu'il a été associé, pour l'édification des villes à des enjeux hygiénistes. En Grèce, la nécessité d'adaptation climatique fait qu'Hippocrate, par exemple, donne des indications précises concernant les orientations :

> *« Ainsi, lorsqu'un médecin arrive dans une cité dont il n'a pas l'expérience, il doit en examiner avec soin la position, la façon dont elle est située par rapports aux vents et par rapport aux levers du soleil ; car la cité n'a pas les mêmes propriétés selon qu'elle est située face au borée ou face au notos, ni selon qu'elle est située face au soleil levant ou face au soleil couchant* ». (Airs, eaux, lieux 1.1-2.1)

Vitruve, s'appropriera des intentions similaires qui seront bien entendu relayées par Alberti. Finalement, moins symbolique qu'hygiéniste, le tracé idéal des villes prend en compte la rose des vents, la course du soleil et la topographie[171]. Au début du XXème siècle, suite aux découvertes des bactéries, la mise en relation entre la configuration des villes et le développement des maladies se dresse comme un sujet d'importance, suscitant ainsi une littérature

[167] Lopez F., Autonomous Housing Project 1971-1979 : l'utopie énergétique d'Alexander Pike, Marnes N° 2, automne 2012.
[168] Péneau, J.-P., L'architecture et les enjeux climatico-énergétiques et ambiantaux. L'architecture entre pratique et connaissance scientifique. Paris: Collège de France, 2015
[169] http://www.crenau.archi.fr/?q=fr/node/80
[170] Leduc, T., Colom, A., Tourre, V., & Musy M., Intégration de résultats de simulations dans des modèles urbains : l'approche SIG3D au CERMA. 1er séminaire de l'action prospective SIG3D du GDR MAGIS. Saint Mandé, IGN, 2013
[171] Péneau J.P., Ajustement climatique des formes urbaines, cours.

importante[172]. Des études vont chercher des corrélations entre le développement de certaines maladies, comme la tuberculose et l'accès ou non, à la lumière naturelle ou à de l'air ventilé. Il faut chercher des dispositions pour l'organisation du bâti, favorisant la circulation des vents et l'accès au soleil. Les bons exemples sont référencés et étudiés. Par exemple, Augustin Rey a identifié et proposé dans son ouvrage *La science des plans de villes* en1928[173], un axe héliothermique qui est la résultante du *« produit de la durée d'ensoleillement en un point par la température moyenne de l'air pendant cette durée* [174]»Le tracé de certaines villes pourrait se lire comme la recherche du compromis idéal entre la ventilation, l'ensoleillement et par conséquent la contribution thermique. Les techniques numériques permettent de le vérifier, soit pour un phénomène unique, comme le soleil ou la thermique ou encore l'aéraulique, soit pour les phénomènes combinés comme l'a fait Amina Harzallah pour les propositions de Ray[175].

Les études historiques peuvent donc maintenant accueillir les ambiances comme nouvelles composantes et développer des analyses et surtout des simulations autour du thème du soleil, des vents, du son. Au-delà de la connaissance ontologique de l'objet, il en va aussi de de sa restitution : une bonne maitrise des courses solaires permet de créer des images qui en plus d'être agréables, portent une information sur les niveaux d'éclairement selon le moment choisis, justifiant, par exemple, les activités se déroulant dans certains espaces. En allant plus loin, il est envisageable de restituer par simulation l'ambiance sonore d'un lieu[176] alors qu'il a soit disparu, soit profondément modifié. On pourrait imaginer de même pour les ambiances olfactives et la combinaison de l'ensemble des phénomènes. Cette phénoménologie des lieux donnerait probablement beaucoup à comprendre.

En remontant le temps, on peut ainsi repérer, dans le domaine de l'archéologie, quelques cas cherchant à valider ou vérifier des emplacements d'objets déplacés ou disparus en fonction de la course

[172] Siret D., Les sensations du soleil dans les théories architecturales et urbaines : de l'hygiénisme à la ville durable, in Les cinq sens de la ville du Moyen Âge à nos jours, Edition: Collection Perspectives Villes et Territoires, Presses universitaires François-Rabelais (PUFR), pp.105-117, 2013

[173] Ray A. *et al*, La Science des plans de villes. Ses applications à la construction, à l'extension, à l'hygiène et à la beauté des villes orientation solaire des habitions, Dunod, 1928

[174] Siret D., Harzallah A., Architecture et contrôle de l'ensoleillement, http://www.cafepedagogique.net/

[175] Harzallah A., Siret D., Monin E., Bouyer J., Controverses autour de l'axe héliothermique. Repenser les limites : l'architecture à travers l'espace, le temps et les disciplines, , Paris, INHA, 2005

[176] Joanne P., L'espace sensible du monastère cistercien aux origines : essais de caractérisation des ambiances architecturales, thèse de Doctorat, Université de Nantes, 2003

solaire. C'est le cas du fameux obélisque d'Auguste. Cet obélisque, qui avait chuté et qui était cassé est retrouvé à la renaissance. En 1976, Edmund Büchner suite à une fouille découvre un pavement comportant lignes et lettres qu'il associe à l'obélisque confortant ainsi son hypothèse de cadran solaire[177]. Pour ce cas précis, il y a polémique entre calendrier et cadran solaire, dans laquelle nous n'interviendrons pas, mais il faut signaler que les nouvelles argumentations se fondent maintenant sur la simulation solaire, conduite par Bernard Frischer de l'Université d'Indiana, avec les moyens de l'Institute for Digital Intermedia Arts [IDIA Lab] basé à Muncie[178]. Une simulation interactive permet de vérifier les hypothèses de positionnement et devoir en temps réel ou actionné, la course solaire le long du marquage au sol[179]. [IDIA Lab] a également travaillé sur la restitution du *Temple d'Artémis* pour lequel l'équipe a projeté une simulation de la course solaire pour l'illumination de la statue d'Artemis et surtout, une simulation interactive et virtuelle de la course solaire à Stonhenge[180]. C'est le projet *Virtual Stonehenge*[181]. Le site de la Boyne Valley[182] a également fait l'objet d'un calcul en 2006 par Victor Reijs[183], avec une visite virtuelle en VRML (*Virtual Reality Modeling Language*).

Le site de *Goseck* en Saxe-Anhalt, en Allemagne repéré en 2003 par prospection aérienne, est admis comme étant un observatoire du fait de l'orientation des entrées de l'enclos, ce que Wolfhard Schlosser, spécialiste de l'archéoastronomie[184], défend. Les simulations numériques réalisées par Georg Zotti[185], restituant le ciel vu au moment de l'édification du site (-4800), donne de bonnes correspondances. Zotti a intégré dans ses simulations le modelé du paysage environnant pour mettre en évidence des points de visée, sujet qui sera évoqué dans la suite du propos. D'autres cercles sont

[177] Buchner E., Die Sonnenuhr des Augustus. Kulturgeschichte der antiken Welt, Sonderband, *in* Revue Archéologique Nouvelle Série, Fasc. 2 (1984), pp. 374-376

[178] http://idialab.org/info/

[179] Frischer B., A Digital Simulation of the Northern Campus Martius in the Age of Augustus. Preliminary Results of New Studies of the Relationship of the Obelisk, Meridian, and Ara Pacis of Augustus, http://idialab.org/virtual-meridian-of-augustus-presentation-at-the-vaticans-pontifical-academy-of-archeology/

[180] L'interface est réalisée avec le CryEngine de Crytek http://cryengine.com/

[181] http://idialab.org/virtual-stonehenge/

[182] http://www.dailymotion.com/video/x2sgzjy

[183] https://lamp.academia.edu/VictorReijs

[184] Schlosser W. Cierny J., Sterne und Steine. Eine praktische Astronomie der Vorzeit, Wissenschaftl.Buchgesell, 1997

[185] Zotti, G., Wilkie, A., & Purgathof, W., Using Virtual Reconstructions in a Planetarium for Demonstrations in Archaeo-Astronomy. Central European Multimedia and Virtual Reality Conference, 2006

étudiés par Zotti et son équipe comme le cercle de *Steinabrunn*[186] en Autriche et une évaluation généralisée est réalisée sur un corpus intégré au programme *AstroSim*[187] comprenant 32 sites principalement révélés par prospection aérienne. L'évaluation astronomique de 28 sites a montré, selon les auteurs, que les portails et chemins qui conduisent au centre de ces cercles, ne sont pas positionnés de façon aléatoire, mais orientés selon 8 dates clés parmi lesquelles les solstices. Pour finir, signalons que le site de Goseck, est souvent relié au *disque de Nebra* et que le Land de Saxe Anhalt a organisé ce qu'il appelle le *himmelswege*[188], le chemin du ciel, fédérant le fameux musée de la préhistoire de Halle où se trouve le disque de Nebra original, l'arche de Nebra qui est une construction sur le site de la découverte, le cercle de Goseck et le menhir et le dolmen de Langeneichstädt.

Figure 20 - Sonnenobservatorium Goseck capture Here.com

Goseck est considéré comme le Stonehenge allemand, toutes proportions gardées, et rejoint la liste des sites emblématiques liés aux astres, à la lune et à la course du temps. C'est du moins, ce qui est supposé, car la démonstration ne peut, sans manifestation d'intentionnalité explicite, que se construire sur des faisceaux d'indices. Cela fait partie des grands mystères que portent les âges avant l'écriture, suscitant fantasmes et rêveries romantiques. Ainsi, pendant presqu'un an, du 30 mars 2004 au 30 janvier 2005, la Cité des sciences et de l'industrie a présenté une exposition nommée Soleil, mythes et réalités, comportant une partie dédiée aux relations de l'homme avec le Soleil. Signe d'une forme d'enthousiasme imprudent, le catalogue annonce que :

> *« Il est une divinité toute puissante que les hommes vénèrent depuis des milliers d'années. Les premières célébrations, celles des sites de Stonehenge (Grande-Bretagne) ou de Gavrinis (Morbihan), précèdent la naissance d'un vaste*

[186] Zotti, G., A Sky Dome Visualisation for Identification of Astronomical Orientations. Institute of Computer Graphics and Algorithms, Vienna University of Technology, 2006

[187] http://astrosim_en.7host.at/

[188] http://www.himmelswege.de/

panthéon solaire, grec, japonais, maya, romain, perse ou aztèque[189] *».*

Archéo-Astronomie, les origines

L'ancien directeur du Griffith Observatory in Los Angeles, Edwin C. Krupp, aime à raconter cette histoire[190]. Dans de la nuit du 17 janvier 1994, une coupure totale d'électricité plonge la ville dans le noir. L'observatoire commence alors à recevoir des appels de personnes de plus en plus inquiètes de voir apparaitre dans le ciel des lumières de plus en plus nombreuses. Devant la récurrence des appels et la nature des descriptions, Krupp fini par comprendre que les témoins découvraient pour la première fois le ciel étoilé[191]. Si chacun peut globalement affirmer que le soleil passe d'Est en Ouest sous nos latitudes, qui peut dessiner spontanément dans le ciel la course de la lune ? Si tout le monde pourra déclarer savoir que la lune tourne autour de la terre, qui est capable de tracer l'arc qu'elle dessine depuis ma position d'observation ? Il y a encore peu, maitriser ces informations, étaient vital pour qui exploitait la terre ou se déplaçait. Il n'est donc pas étonnant que les paysages mégalithiques aient inspirés très tôt des mises en relation entre des pierres dressées pouvant servir de balises terrestres et le déplacement des astres. Jacques Briard dans un article paru dans le numéro 6 de la revue *Astronomie et Sciences Humaines*[192] dresse un historique des premières heures de ces hypothèses solaires et lunaires. Il rappelle qu'en Angleterre, le Révérent William Stukeley a formulé les premières hypothèses solsticiales en 1740, si l'on écarte l'hypothétique Diodore de Sicile[193]. En Bretagne, c'est bien entendu Carnac qui draine les premières interrogations. En 1911, l'abbé Million dresse un premier inventaire des propositions d'explication du site de Carnac, qu'il rassemble dans un ouvrage au titre ironique *Pauvres Pierres ! Les Mégalithes devant la science*[194]. En 1921, il revient sur le sujet dans le Bulletin Et Mémoires De La Société

---

189 http://www.cite-sciences.fr/archives/francais/ala_cite/expo/tempo/planete/soleil/rub_presse/pop.htm

190 Magli G., Mysteries and Discoveries of Archaeoastronomy, Springer, 2009, pp.220-221

191 http://www.mensjournal.com/magazine/where-did-all-the-stars-go-20131115?page=2

192 Briard J., Les mégalithes de Bretagne et les théories astronomiques. Cent ans d'Interrogations, Astronomie et Sciences Humaines, Vol.6, Publication De L'observatoire Astronomique De Strasbourg, 1990

193 Charrière G., Roos A., Stonehenge, temple votif et monument calendaire. *In*: Bulletin de la Société préhistorique française. Études et travaux. 1964, tome 61, N. 1. pp. 169-184

194 Abbé Millon, Pauvres Pierres ! Les Mégalithes devant la science, Lechevalier, 1911

Archéologique Département D'Ille-Et-Vilaine[195] et nourrie cette ironie en rappelant que :

> *« On se mit à les fouiller, et alors, après tant de débats inutiles, on reconnut que, renfermant des restes de sépultures, ils n'étaient en réalité, tout simplement, que des tombeaux. Bref, on finit par où l'on aurait dû commencer.*
>
> *La question est donc résolue maintenant pour les dolmens ; mais pour les menhirs, la science n'a pas encore voulu se prononcer. On en est toujours réduit aux conjectures ; on continue à bâtir des systèmes, à échafauder des hypothèses et l'on s'entend si mal que les uns croient que nos pierres levées ont été des pierres de souvenirs, des idoles, des bornes ou des signaux ; tandis que les autres y voient des aiguilles solaires, des repères astronomiques, des flammes ou des phares.*
>
> *Il semble que l'unique moyen de résoudre le problème (eût été de donner quelques coups de pioche, de creuser au pied de ces monuments ; mais ce moyen a été très rarement employé. » (page 49)*

L'abbé avait repéré 5 auteurs sur 72 plaidant pour la cause astronomique[196], Briard donne les noms de Jacques Cambry, Armand-Louis-Bon Maudet de Penhouët, René Galles et Auguste-Jean-Marie et le baron Bachelot de La Pylaie.

En ce fertile XIXème siècle, l'histoire se construit comme un vrai enjeu national, sur la question des origines et de l'ancrage territorial. La préhistoire fascine, car l'on remonte des entrailles de la terre des restes interrogeant la perception temporelle que l'on peut avoir du monde. Henri Raison Du Cleuziou publie en 1887, un imposant ouvrage de 840 pages : *La création de l'homme et les premiers âges de l'humanité*[197]. Dans ce livre, les relations aux astres sont évidentes :

> *« Donc, l'explication nette de ces roches plantées, augmentant de volume à mesure qu'on s'approche de la courbe, comme les jours augmentent de durée, à mesure qu'on arrive au solstice d'été, est que Carnac symbolise le cours de la lune, dont saint Corneille, le patron du lieu, Corne de El, détermine le sens juste. Et voilà tout trouvé,*

[195] Abbé Millon, Les tombeaux préhistoriques, Bulletin Et Mémoires De La Société Archéologique Département D'Ille-Et-Vilaine, Tome XLVIII, 1921, pp.47-69
[196] Briard J.*, Op.cit,* p.16
[197] Raison du Cleuziou H., La Création et les premiers âges de l'humanité, C. Marpon & E. Flammarion, 1887

> *définitivement, le mot de l'énigme des pierres celtiques. » (page 415)*
>
> *« Le monument entier se divise en quatre parties parfaitement distinctes: 1° le Menec-Vras; 2° Kermario; 3° Kerlescan; 4" le Menée-Vihan, orientées sensiblement à l'est, les unes dans la direction des solstices, les autres dans la direction des équinoxes. Par ces termes solstices, équinoxes, nous prétendons dire, qu'en se mettant au milieu de l'alignement de Kerlescan, par exemple, au matin du jour de Noël, à la Saint-Jean d'hiver, on verrait se lever le soleil au-dessus des dernières pierres de l'horizon; qu'à la Saint-Jean d'été, à Kermario, et que le jour de Pâques ou le jour de la Saint-Michel, au Menec-Vras, il en serait de même. » (page 488)*
>
> *« Le troisième alignement, celui de Kerlescan, orienté au solstice d'hiver, possède, lui, à son origine, un cromlech carré, qui porte un nom plus significatif que tous les autres; il se nomme le Manio, les tombeiles. »(page 490)*

L'énigme qui nous occupe ici, trouve son explication par Du Cleuziou :

> *« Donc, l'explication nette de ces roches plantées, augmentant de volume à mesure qu'on s'approche de la courbe, comme les jours augmentent de durée, à mesure qu'on arrive au solstice d'été, est que Carnac symbolise le cours de la lune, dont saint Corneille, le patron du lieu, Corne de El, détermine le sens juste. Et voilà tout trouvé, définitivement, le mot de l'énigme des pierres celtiques. » (page 415)*

Comme on peut l'imaginer, l'énigme demande encore quelques recherches pour être résolue…

Construction d'un exemple emblématique : Crucuno

Si Carnac focalise l'attention du grand public par la démesure de ses alignements, il est un autre site qui mérite une attention particulière pour la littérature qu'il a généré. Le site de *Crucuno* se trouve sur la commune de Plouharnel, un peu à l'extérieur du village de Crucuno. L'ensemble se présente aujourd'hui comme un quadrilatère de forme régulière, la position géographique du site est : 47° 37' 27.141" N / 3° 7' 18.982" W ou 47.6242058, -3.1219394 en décimales.

Figure 21 - Crucuno, le quadrilatère

Offrant une notoriété moindre que celle de Carnac ou Gavrinis, le quadrilatère de Crucuno se caractérise par une étonnante présence dans la littérature consacrée au mégalithisme, qu'elle soit savante ou crypto-ésotérique. Ce site d'apparence modeste a en effet la réputation d'avoir été structuré en fonction de la course solaire et les orientations de ses angles, depuis son centre, indiquerait parfaitement les directions des solstices d'été et d'hiver.

Explorations littéraires.

Nous avons commencé à le voir, il est assez récurent d'attribuer au cercles de pierres une fonction calendaire ou d'observatoire astronomique. La disposition des pierres dressées, la circularité, peuvent, en effet, laisser penser cela, mais tout autant que la fonction d'arène ou de forum, d'espace rayonnant pour reprendre le terme d'André Leroi-Gourhan[198] indiquant que :

> *« Le nomade chasseur-cueilleur saisit la surface de son territoire à travers ses trajets; l'agriculteur sédentaire construit le monde en cercles concentriques autour de son grenier ».*

L'espace rayonnant est celui qui structure la sédentarité contrairement à l'espace itinérant, auquel correspond une perception dynamique.

Il est possible de suivre l'évolution de la présence du nom Crucuno à travers un large corpus littéraire grâce à l'outil *Ngram de Google Books.*

Figure 22 - Occurrences de Crucuno en français

[198] Leroi-Gourhan A., Le Geste et la Parole, tome 2 : La Mémoire et les Rythmes, Albin Michel, 1965

Le quadrilatère de Crucuno apparait dans un premier temps, entre 1870 et 1935 sous sa dénomination *Cromlech*, moins souvent décrit que listé dans des séries de monuments. Malgré tout dans la *Géographie pittoresque et monumentale de la France*[199], Charles Brossard parle, page 162, d'une « *enceinte carrée renfermant 21 menhirs* », tout comme le *Guide national et catholique du voyageur en France*[200]. On trouvera cette typologie, *enceinte carrée*, régulièrement utilisée. En 1936, les *Actes de la Société linnéenne de Bordeaux*, page lxxv, reprennent le substantif de Gaillard : le *quadrilatère* : «*Quelquefois aussi l'enceinte limitée a la forme d'un quadrilatère. Tel est le quadrilatère de Crucuno*[201] ». Le *Bulletin de la Société archéologique du Finistère* parlera de *parallélogramme* :

> «*L'expression anglaise « Stone-circle », cercle de pierres, s'appliquant dans la réalité rarement à un cercle, mais le plus souvent à une ellipse, à un segment de cercle, voire à un parallélogramme comme celui de Crucuno*[202] ».

Zacharie Le Rouzic utilise également le terme de quadrilatère dans son *Carnac et ses monuments*[203]. Suite aux levés de Thom, les descriptions intègrent des mesures précises, soit en pied mégalithique, soit en mètres et centimètres. La question de l'observatoire astronomique se diffuse depuis la même source, peu à peu entre 1995 et maintenant. Yves Vadé, par exemple, dans son ouvrage « *Etoiles dans la nuit des temps*[204] » se range dans le camp des sceptiques concernant les alignements de Carnac suivant un tracé solaire et lunaire mais affirme que :

> « …*l'orientation solaire de certains ensembles mégalithiques, en fonction des points cardinaux mais aussi des solstices d'hiver et d'été, est incontestable. On connait dans le Morbihan, l'enceinte rectangulaire de Crucuno orientée selon les points cardinaux et dont les diagonales correspondent aux solstices*. ».

La littérature savante évoque souvent le site de Crucuno, le substantif quadrilatère est généralement utilisé comme par exemple Gwenc'hlan Le Scouëzec et Jean-Robert Masson dans *Bretagne mégalithique*, qui évoquent également la difficulté d'accès, tant de

[199] Brossard C., Géographie pittoresque et monumentale de la France, E. Flammarion, 1901
[200] Guide national et catholique du voyageur en France, Tome 2, Maison de la Bonne Presse, 1901, p.266
[201] Actes de la Société linnéenne de Bordeaux, Volumes 52 à 53, E. Drouillard, 1897
[202] Bulletin de la Société archéologique du Finistère, Volumes 63 à 65, La Société, 1936, p.xiv
[203] Le Rouzic Z., Carnac et ses monuments, A. Chevalier, 1897, p.24
[204] Vadé Y. et Jegues-Wolkiewiez C., Etoiles dans la nuit des temps, L'Harmattan, 2008, p.9

fait de l'état du site, que de la véhémence du voisinage[205], ce qui est toujours le cas aujourd'hui pour le voisinage ! Gérard Le Bouëdec[206] mentionne le quadrilatère tout autant que Pierre-Roland Giot, Jean L'Helgouach et Jean Laurent Monnier, ces derniers faisant référence à la théorie des solstices[207].

La littérature non savante va également mentionner le site et donner des détails précieux quant à l'état du site il y a quelques années. On apprend ainsi que l'accès au quadrilatère de Crucuno est déjà une aventure et longtemps, seuls les menhirs les plus hauts ont émergé des ajoncs et des genêts. La revue *Kadath* en fait mention dans son numéro 24:

> « *Mais sachez déjà que, lorsque vous irez voir le quadrilatère de Crucuno, vous serez déçu de ne pouvoir embrasser du regard ces vingt-deux monolithes, car la bruyère et les ronces les ont envahis et se sont haussées presque jusqu'à leur sommet qui s'élève entre deux et trois mètres du sol* [208] ».

Même constat dans le livre album de Dieter Appelt et Michel Tournier, *Morts et résurrections de Dieter Appelt*. Les auteurs présentent le site ainsi :

> *« Tout près de Carnac, nous découvrons le cromlech de Crucuno, qui a la forme d'un rectangle de 34,25 sur 25,70 mètres et dont les 22 menhirs sont disposés symétriquement sur une prairie marécageuse. Des blocs de granit grossièrement taillés, un ensemble vieux de cinq mille ans environ. Les côtés du quadrilatère ont été orientés d'après les quatre points cardinaux, l'emplacement de ses diagonales a été déterminé en fonction des points l'emplacement de ses diagonales a été déterminé en fonction des points équinoxiaux, c'est-à-dire des points où le soleil vient couper l'équateur céleste au moment des équinoxes.*
>
> *Pour moi, l'instant décisif de ce petit rituel était le 20 mars 1981 à 12h10, c'est-à-dire le début du printemps, date à laquelle le soleil a parcouru exactement la moitié de sa course.*
>
> *Bien que l'on considère le cromlech de Crucuno comme le premier exemple de géométrie appliquée datant de l'ère mégalithique et qu'il soit le premier calendrier monumental que l'Europe ait connu, son aire n'est ni défrichée ni signalée*

[205] Le Scouëzec G., Masson R., Bretagne mégalithique, Seuil, 1987, p.12
[206] Le Bouëdec G., Le Morbihan: de la préhistoire à nos jours, Editions Bordessoules, 1994, p.52
[207] Giot P.R., L'Helgouach J., Monnie J.L., Préhistoire de la Bretagne, Ouest-France, 1979, p.409
[208] Torchet N., Les Mégalithes Du Morbihan in Kadath 24, 1977, p.9

d'aucune manière. Bien des blocs de pierre ne laissent voir que leur sommet, qui émerge des ajoncs hauts de plusieurs mètres.

Nous traçons un cercle autour du menhir central et commençons à débroussailler. Je saupoudre de la farine sur la terre sombre. Pour pouvoir mesurer les côtés et les diagonales du quadrilatère, nous les matérialisons par des cordes blanches.

A 12h10 les contours anciens sont de nouveau apparents. [209] *»*

Pour terminer dans le registre littéraire, Jean Markale en fait mention dans son livre Dolmens et menhirs: la civilisation mégalithique, en comparant le site aux grands ensembles britanniques[210]. Fernand Niel, lui, en 1976, fait aussi le constat des ronces et donne des proportions identiques ou presque de 34,20m sur 27,70 pour décrire le l'un des » *monuments mégalithique les plus remarquables du monde*[211] *».*Niel reprend l'ensemble des arguments que l'on retrouve dans la littérature concernant les orientations les proportions qu'il interroge malgré tout comme étant le fruit d'une « *coïncidence géométrique* ». Il note que la disposition du site le rend unique ce qui l'invite à cherche une source (ou ressource) vers la Méditerranée. L'auteur s'interroge enfin que la qualité de la restauration, plus lui, il est plus facile et donc plus probable, de redresser les pierres là où elles se trouvent que de constituer une figure géométrique en déplaçant menhirs.

Le Stonehenge breton.

En langue anglaise, les occurrences de Crucuno arrivent un peu plus tardivement, mais le corpus va être sensiblement différent.

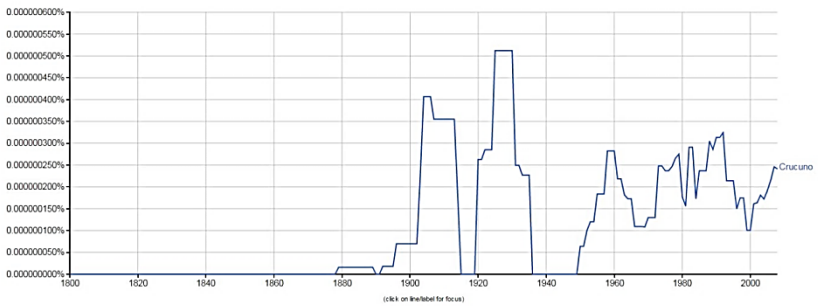


Figure 23- Occurrences de Crucuno en anglais

Dans les premières années, c'est le spectaculaire dolmen qui est référencé. Puis à partir du relevé de Thom, la bascule se fait

[209] Tournier M., Messier D., Appelt D., Gercken G., Morts et résurrections de Dieter Appelt, Herscher, 1981, p.62

[210] Markale J., Dolmens et menhirs: la civilisation mégalithique, Editions Payot & Rivages, 1994, p.259

[211] Niel F., Connaissance des mégalithes, Robert Laffont, 1976, p.131

nettement sentir et le quadrilatère entre dans le sillage de Stonehenge avec les célèbres ouvrages de Clive Ruggles, Aubrey Burl, de David Kelley ou Mark Patton sur lesquels nous reviendrons. L'article est cité dans des références savantes, le *Bulletin d'Archéoastronomie* de John B. Carlson de l'université du Maryland par exemple[212] ou dans le gros volume intitulé *Encyclopedia of Ancient World*[213] où le site de Crucuno est référencé comme l'un des deux sites breton possédant une orientation solaire, le second étant Dissignac (en Loire Atlantique). L'auteur, Stephen M. Fabian, anthropologiste à la Hun School of Princeton, présente la situation ainsi :

> "*Site location and orientation are no more important than at Crucuno (probably built around 3000 b.c.e.), a site in Brittany that is a rectangle of stones with sides oriented exactly to the cardinal directions with lengths of precisely 30 and 40 megalithic yards and therefore a diagonal of 50, the classic Pythagorean dimensions. The diagonals themselves align precisely to the rising and setting of the December and June solstice suns, a phenomenon possible in the Northern Hemisphere only at this latitude (47.5oN). Crucuno's stunning combination of astronomical alignments with cardinal orientation as well as its ideal geometric and numeric proportions is a strong case for ancient European sophistication in coordinating cosmic features into the cultural landscape*."
>
> Traduction[214] : "*L'emplacement et l'orientation du site ne trouvent pas plus d'importance que dans le cas de Crucuno (probablement construit autour de 3000 avant notre ère), un site en Bretagne se présentant comme un rectangle de pierres avec les côtés orientés exactement en fonction des directions cardinales et dont les longueurs sont précisément de 30 et 40 mètres mégalithiques avec donc une diagonale de 50 MM, les dimensions classiques de Pythagore . Les diagonales s'alignent précisément sur le lever et coucher du soleil au solstice de décembre et de juin, un phénomène possible dans l'hémisphère Nord uniquement à cette latitude (47.5oN). La combinaison étonnante de Crucuno des alignements astronomiques avec les orientations cardinales ainsi que les proportions géométriques et numériques sont idéales pour étayer un dossier solide concernant l'ancienne sophistication*

[212] Carlson J. B, Archaeoastronomy: Selected readings, Astronomy P, 1977

[213] Bogucki P., Encyclopedia of Society and Culture in the Ancient World, Infobase Publishing, 2008, p.13

[214] J'ai assuré toutes les traductions qui suivent espérant n'avoir pas trahi les textes. Dans la plupart des textes présentés, il n'y a pas de version française.

européenne dans la coordination des fonctions cosmiques dans le paysage culturel. »

Mais le cas de Crucuno est plus généralement décrit comme le pendant continental de Stonehenge. Rodney Castleden, dans le fil de la démonstration des orientations des blocs (*Station Stones*) du célèbre monument anglais prend une comparaison avec le site breton :

> *"In Brittany, there is a similar setting known as the Crucuno rectangle, not far from Carnac. This is smaller than the British setting, about 33 m from east to west and 25 m from north to south, but clearly belongs to the same belief system. The east-west orientation of the long sides of the Crucuno rectangle implies that they were designed to indicate the equinox sunrises or sunsets. As we shall see later, this is by no means the only parallel between developments at Stonehenge and developments in Brittany.* [215]*,"*
>
> *" En Bretagne, il y a un site similaire connu sous le nom de quadrilatère de Crucuno, non loin de Carnac. Ce rectangle est plus petit que le site britannique, il fait environ 33 m d'est en ouest et 25 m du nord au sud, mais il appartient clairement au même système de croyance. L'orientation est-ouest des longs côtés du rectangle de Crucuno implique qu'ils ont été conçus pour indiquer les levers et couchers des soleils d'équinoxe. Comme nous le verrons plus tard, ce n'est nullement le seul parallèle entre l'évolution de Stonehenge et les développements en Bretagne. "*

On pourra noter que l'auteur commet une erreur en évoquant les équinoxes, alors que la réputation de Crucuno se fonde sur les orientations aux solstices. David Souden, toujours pour conforter un propos sur Stonehenge, évoque également l'hypothèse d'un alignement céleste, «*the huge rectangular arrangement of stones in Crucuno, for example, was possibly constructed to align with celestial phenomena*[216], » ; (*le gigantesque arrangement rectangulaire de pierres à Crucuno, par exemple, a peut-être été construit pour s'aligner sur les phénomènes célestes.).* Richard Heath, poursuivant avec son frère les travaux de Thom, utilise également Crucuno dans son étude sur Stonehenge[217]. Il est intéressant de pointer que si le site anglais se caractérise par un ordonnancement circulaire, les quatre piliers sarsen forment un rectangle. Dans un article étrangement intitulé *From Madhouse to Megalith,* publié dans le recueil *From*

[215] Castleden R., The Making Of Stonehenge, Routledge, 1993, p.134
[216] Souden D., Stonehenge: mysteries of the stones and landscape, Collins & Brown, 1997, p.71
[217] Heath R., Sun, Moon & Stonehenge: High Culture in Ancient Britain, Bluestone Press, 1998

Sickles to Circles: Britain and Ireland at the Time of Stonehenge[218] compilé par Alex J. S. Gibson et Alison Sheridan, Aubrey Burl déborde le cas de Stonehenge pour interroger la forme rectangulaire, dans une relation éventuelle avec les structures bretonnes. Rappelant les études de Duke datant de 1846, de Hawkins en1961, puis ses propres écrits de 1983, il paraphrase un précédent article paru dans le Volume 90 du *Wiltshire Archaeological And Natural History Magazine*, titré *The Sarsen Horseshoe Inside Stonehenge: A Rider* où il reprend les hypothèses liées aux orientations et conclu ainsi sur la singularité de Stonehenge qu'il met en relation avec Crucuno.

> *"What must be emphasised in this interpretation of the design and function of the Four Stations is that there is no comparable setting in Britain or Ireland in which rectangle, diagonal and multiple astronomy combine but there is a strong correlation with the lateral and diagonal alignments of the Crucuno rectangle four miles north-west of Carnac in Brittany. There the long sides of the rectangle lie neatly east-west towards the equinoctial sunsets and the NE-SW diagonal is in line with the midwinter.*[219]*"*
>
> *"Ce qu'il faut souligner dans cette interprétation de la conception et la fonction des quatre stations c'est qu'il n'y a pas de disposition comparable en Grande-Bretagne ou de l'Irlande, dans lequel le rectangle, la diagonale et l'astronomie se combinent, alors qu'il y a une forte corrélation des alignements latéraux et diagonaux dans le rectangle de Crucuno à quatre miles au nord-ouest de Carnac en Bretagne. Les côtés longs du rectangle s'alignent parfaitement sur l'axe est-ouest vers les couchers de soleil d'équinoxe et la Nord-Est/Sud-Ouest suit la ligne du solstice d'hiver".*

Le site de Crucuno est également mis en perspective dans les études plus larges qui décrivent les très nombreux cercles de pierres, plus d'un millier sont encore visibles, en Angleterre et en Irlande. L'évocation des interprétations de la configuration circulaire conduit naturellement à évoquer la question des calendriers solaires ou luni-solaires, avec prudence chez les chercheurs académiques et plus affirmatifs chez les tenants de cette hypothèse. Pour Edwin C. Krupp[220], Crucuno est bien un rectangle pythagorien orienté selon la course du soleil et de la lune. La revue *Archaeoastronomy*, mentionne

[218] Gibson A.J.S., Sheridan A., From Sickles to Circles: Britain and Ireland at the Time of Stonehenge, Tempus, 2004

[219] Burl A., The Sarsen Horseshoe Inside Stonehenge: A Rider, *in* The Wiltshire Archaeological And Natural History Magazine, vol90, 1997, pp.1-12, pp.4-5

[220] Krupp E.C., In search of ancient astronomies, McGraw-Hill, 1979, pp.76-78

Crucuno comme un cas rare dans la région de Carnac et fait référence aux orientations solaires[221].

Pour être un peu plus complet, il faut indiquer que le toponyme *Crucuno*, prend certaines variantes, comme Corcono dans le *Répertoire archéologique du département du Morbihan*[222], dans *Le Morbihan, son histoire et ses monuments,* ce sera *Corconno, dont on indiquera que l'on « parcours un terrain tout parsemé de monuments druidiques, dolmens plus ou moins ruinés, menhirs debout ou renversés*[223] *». Corconno* est donc assez présent, ne sont pas mentionnées ici toutes les occurrences, mais il est fait souvent référence du carré/rectagle « square », comme dans *Through Brittany* de Katharine S. Macquoid[224]. On trouve aussi la forme *Kerconno*, assez présente en langue anglaise, mais également *Corco* sous la plume de Lukis, qui hésite entre les deux orthographes[225].

Ce survol bibliographique révèle que l'interprétation montrant que le quadrilatère de Crucuno est axé sur les orientations des solstices et des équinoxes s'est renforcé puis diffusé assez largement aussi bien dans la littérature savante que dans les publications grand public[226]. La présence de l'hypothèse solaire du site dans les publications scientifiques donne une assise de vérité alors que, comme cela arrive, les auteurs se citent les uns les autres sans forcément reprendre la question à la source. C'est ce que nous allons faire maintenant.

L'hypothèse astronomique

Le site de Crucuno reste attaché au nom de Félix Gaillard, auteur d'un des premiers traités argumentés sur l'organisation des lignes de mégalithes en fonction d'axes solaires. Ceci a deux conséquences : la première est de voir en Crucuno un exemple remarquable répondant à une disposition en fonction du solstice, la deuxième, de soupçonner Gaillard d'avoir remodelé le site pour le faire correspondre à ses théories.

---

[221] Archaeoastronomy, Volumes 3 à 4, Center for Archaeoastronomy, University of Maryland, 1980, p.12

[222] Rosenzweig, M., Répertoire archéologique du Morbihan. Imprimerie Impériale, 1863, p.64

[223] Cayot D., Le Morbihan, son histoire et ses monuments, Cauderan, Vannes, 1847, p.519

[224] Macquoid C., Through Brittany, Daldy, Isbister & Co., 1877, p.175

[225] Lukis, W., A guide to the principal chambered barrows and other pre-historic monuments in the Islands of the Morbihan, the Communes of Locmariaker, Carnac, Plouharnel and Erdeven. Kessinger Publishing – 2010, 1875, p.26

[226] Mohen J.P., Les alignements de Carnac : temples néolithiques, Centre des monuments nationaux, 2000

Felix Gaillard, par qui tout commence.

Publié en 1897, *L'Astronomie Préhistorique*[227] est la compilation d'articles parus dans la revue Sciences Populaires, revue mensuelle internationale d'astronomie, de météorologie et des sciences de l'observation ainsi qu'il est précisé sur le frontispice. Son auteur, Felix Gaillard, y développe les conclusions de plusieurs années d'observations minutieuses[228], charpentées par un travail systématique de relevés et de photographies. D'origine bordelaise, mais familier de la région de Carnac dans laquelle il effectue de nombreux séjours, Gaillard s'installe à Plouharnel en 1857, devenant propriétaire de l'Hôtel du Commerce et l'époux de la fille de l'ancien gérant, Grégoire Le Bail[229]. De là, il arpentera les environs et enrichira la collection d'objets mégalithiques de Le Bail mentionnée dans le *Répertoire archéologique du département du Morbihan*[230]. Il fait profiter les touristes de sa collection qui devient même un argument publicitaire et offre également de visiter les sites qu'il étudie. Parmi ses visiteurs et clients, se trouvent Dryden et Lukis qui effectuent des relevés systématiques des sites et monuments mégalithiques. Or, les dégradations sur ces derniers vont s'accélérant, en ce milieu de XIXème siècles. Gaillard participe activement à la réalisation d'une campagne de prévention et de protection des sites mégalithiques[231] utilisant la photographie comme élément de preuve, alors que les oppositions sont féroces. Finalement en 1879, le sénateur Henri Martin, que Gaillard présente comme son « *sympathique et regretté maitre* [232]» (p.55) en 1897, témoin de la disparition rapide de monuments qu'il connait, déclenche un inventaire des mégalithes de France. Gaillard, nommé Officier d'Académie, a la charge de sauver et restaurer dolmen et menhirs. Ce qu'il fera par acquisition, *« à l'amiable [233]»,* des terrains, payant souvent de ses fonds propres. L'acquisition du « *témène de Crucuno* » est faite pour 300 fr[234].

[227] Gaillard F., L'astronomie Préhistorique, Administration des « Sciences Populaires », 1897

[228] Gaillard F. Les alignements de menhirs dans le Morbihan et leur définition. *In*: Bulletins de la Société d'anthropologie de Paris, III° Série. Tome 11, 1888. pp. 434-437

[229] Crowhurst H., Gaillard P., Mémoires de pierres à Plouharnel, Plouharnel : HCom éd., 2004

[230] Rosenzweig M., Répertoire archéologique…, *Op.cit.*

[231] Bailloud G, Boujot C, Cassen C, Le Roux CT., Carnac, Les premières architectures de pierre, CNRS Éditions, 2009

[232] Les citations sont tirées de l'Astronomie Préhistorique

[233] Hurel A., La France préhistorienne: de 1789 à 1941, CNRS éditions, 2007, p.84

[234] Bulletin archéologique de l'Association bretonne, tome 6 - 1886-1887, p.89/22

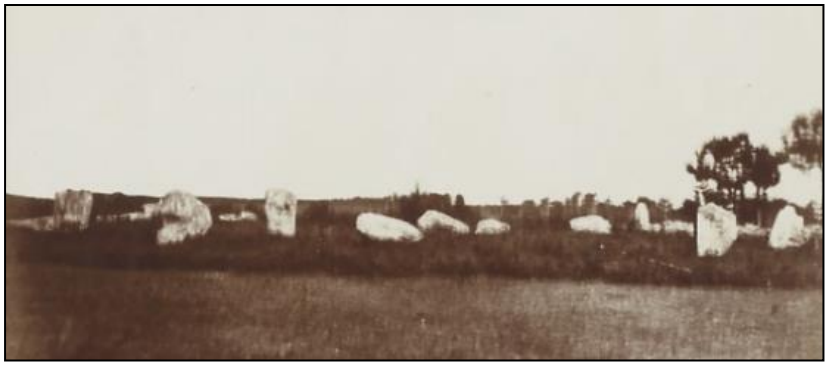


Figure 24 - Crucuno, photo Félix Gaillard 1880

Felix Gaillard produira de nombreux volumes descriptifs, comme, par exemple, *Monuments mégalithiques du Morbihan*[235], où chaque photographie est accompagnée d'indications concernant sa longueur, largeur, superficie, épaisseur, volume et poids. Un croquis positionne les cotes et une orientation est indiquée pour ce qui concerne la prise de vue. La vente de son hôtel en 1892, suite à des problèmes financiers, le concentrera sur ses seules activités de prospection et de recherches. Il restaure des sites désormais célèbres tels que : « *les alignements du Menec à Carnac, ceux de Kerzhero à Erdeven, le dolmen de Kergavat, le quadrilatère de Crucuno à Plouharnel*[236] ». Le quadrilatère de Crucuno est acheté en en novembre 1882 pour la somme de 300 francs. La restauration commence en 1887 alors seuls 9 des 22 menhirs sont encore debout. Il existait dès 1832, un relevé réalisé par le géomètre anglais Murray-Vicars sur lequel le nombre de menhirs semble plus important dans une configuration où le rectangle apparait moins clairement. L'organisation des stèles n'est plus lisible et Cayot-Délandre indique en 1847 que : « A l'Est de Corconno, dans un champ, se trouve un groupe de menhirs confusément disposés[237] ». Cet état de détérioration va bien entendu alimenter les polémiques à venir sur la fiabilité de la restauration de Gaillard. La parfaite orientation du plan, les proportions idéales que notera plus tard Thom, font penser à la conformation de l'agencement des menhirs à ses théories cosmiques.

Deux relevés viennent alimenter le doute : un premier plan dressé par W.C.Lukis accompagné par le géomètre Dryden montre en 1867[238], 20 menhirs dont la plupart sont couchés mais suivant peu ou prou

[235] Gaillard F. Monuments mégalithiques du Morbihan, Plouharnel, 1880
[236] Bailloud *et al. Op.Cit.* p.35
[237] Cayot--Délandre F.M., Le Morbihan, son histoire et ses monuments, A.Cauderan Editeur, Vannes, 1847, p.519
[238] Guernsey Museum archives, reproduit dans : Cassen S, The First Restoration Of The Megalithic Monuments In Morbihan (1883) Put To The Test By Comparison To William Collings Lukis's Architectural Plans (1844-1872) in Pursuits and Joys: Great Victorian Antiquarians and Intellects: The Lukis family of Guernsey and their Contemporaries, Edited by Heather Sebire, Cambridge Scholars Publishing, 2009, pp. 145-161

une trame rectangulaire assez proche de celle observée actuellement. D'ailleurs, la superposition du relevé de Thom avec ce tracé donne une correspondance plutôt bonne. Un deuxième plan levé par Lukis en 1870 donne une figure beaucoup plus trapézoïdal où 14 menhirs sont mentionnés en hachurés sur une vingtaine de silhouettes. Ce plan, publié dans le *Wiltshire Archaeological and Natural History Magazine* sous le toponyme de Kerconno, est accompagné d'un court commentaire indiquant qu'il s'agit du seul exemple de menhirs organisés en carré que Lukis connaisse :

> *«* I know of one example only of a square of menhirs in Britanny, and this is in the Morbihan, on the borders of the parish of Erdeven, and not far from the gigantic Dolmen of Kerconno. The destination of this square I can simply guess at, and suppose that it served the same purpose as the circle. [239]*»*
>
> *« Je connais un seul exemple d'un carré de menhirs en Bretagne, et c'est dans le Morbihan, sur les bordures de la paroisse de Erdeven, et non loin de la gigantesque Dolmen de Kerconno. Le dessein de ce carré, je peux juste faire des spéculations, et supposer qu'il a servi le même but que le cercle. »*

Nous verrons un peu plus loin que ces plans contiennent des erreurs, Lukis l'indique lui-même (« *measurements approximate »,*) rendant les différences entre les différentes versions beaucoup moins flagrantes.

Si l'on reprend la chronologie et les textes, Félix Gaillard ne manifeste pas encore, au moment de la restauration de Crucuno, de velléités particulières par rapport aux alignements célestes. Dans l'album *Monuments mégalithiques du Morbihan*, qui date de 1880, deux ans avant l'acquisition donc, la légende de la photo indique : *« Section B, N°192, 21 menhirs dont 9 debout et 12 couchés* ». La prise de vue indiquée à l'ouest montre un environnement qui n'est pas trop couvert par la lande. En 1997, dans son livre *l'Astronomie Préhistorique*, page 144, Gaillard reste assez laconique quant à la description du site :

> *« Dans le périmètre des acquisitions de l'Etat se trouvent d'autres monuments qui ne diffèrent de celui-ci que par leur configuration et la position de leurs menhirs. L'Etat a acquis et restauré celui de Crucuno en Plouharnel ; il y en a deux autres pareils, mais dont il ne subsiste que deux côtés, l'un à*

[239] Lukis, W. C., On the stone avenues of Carnac and other pre-historic monuments of Britanny. *in* E. Goddard, The Wiltshire archaeological and natural history magazine, Vol. 13, pp. 78-91, 1872, p.90

> *Plouharnel au Gohquer, et l'autre à Erdeven, non loin du Dolmen du Mané Groh' ; ce dernier est très ruiné.*
>
> *Ces monuments ont cela de commun avec celui d'Er-Lanic qu'ils ne contiennent absolument rien et sont isolés, mais ils en diffèrent par la forme ; au lieu d'être circulaires, ce ne sont pas des carrés réguliers, mais ils s'en approchent, ils sont quadrangulaires. Ce n'étaient pas des enceintes fermées ; les menhirs, qui les composent, ne sont nullement juxtaposés, ils sont distancés les uns des autres. Les orientations des côtés et des angles donnent lieu aux observations suivantes.*
>
> *A Crucuno, les côtés parallèles sont Nord-Sud d'une part et Ouest-Est de l'autre. Les lignes tirées d'un angle à l'autre donnent, à leur intersection, le point central. De ce point les angles sont Nord-Est, Sud-Est, Sud-Ouest et Nord-Ouest.*
>
> *Ce sont par les côtés les quatre points cardinaux et par les angles les points ordinaux. »*

Le plan qui accompagne la description, décrit 22 menhirs, dont les 2 que Lukis n'avait pas détectés lors de ses précédentes visites.

Il faut dès lors revenir vers le texte de Gaillard et reprendre ce qui fonde sa théorie astronomique. L'auteur réfute en introduction les explications que l'on donne sur les intentions conduisant à l'érection des menhirs. Il n'accepte pas l'argument de son maître, M. de Mortillet qui rejetant l'idée de lieu réunions politiques ou religieuses y voit plutôt un système d'archivage de la mémoire collective : *« chaque pierre dressée rappelant un fait, une personne ou une date »* (p.7). Gaillard préfère la posture consistant à ne pas partir d'hypothèses établie mais d'un terrain conceptuel vierge à investiguer. Dans la première partie de son ouvrage, il référence une collection d'alignements et va mettre en place un premier élément structurant sa démonstration : *le menhir indicateur*. Alors que chacun décrit les pierres dressées comme un ensemble continu, Gaillard remarque qu'il existe toujours un objet isolé ou hors du dispositif. Or, selon la position que l'on détermine comme adéquate, ce menhir indicateur s'aligne parfaitement avec les directions solsticiales.

Gaillard remarque que les alignements traversent les paysages, les menhirs s'échelonnant en hauteurs, les plus grands marquant les extrémités. Il note que :

> « *Non seulement ces grandioses monuments sont d'un ordre tout particulier, mais il leur fallait, ce semble, une perspective. Leur situation près du littoral l'indique clairement, le développement du monument se faisait sur une large superficie ouverte ; l'horizon, au levant comme au couchant, était sans limites ; des deux côtés, c'était l'océan* ». (p.63)

L'analyse se poursuit en soulevant la question de la corrélation entre les alignements et les dolmens. La démonstration ébauchée dans la première partie, se caractérise avec plus de détails dans la deuxième. Ces derniers s'ouvrent également, selon Gaillard, aux orientations solaires. Il note qu'il existe une variation dans les orientations qui s'expliquerait par les dates de construction des sépultures. C'est ainsi que l'orientation de l'ouverture des dolmens indiquerait leur « *date d'érection* » (p.73). Gaillard prend cependant bien soin de distinguer l'influence que peut avoir le soleil sur les implantations des monuments d'un quelconque culte solaire qui pourrait y être pratiqué (p.75) et réfute le fait qu'ils aient pu être des temples (p.80). On peut noter l'originalité de la position en regard de la pérennité du substantif[240].

Une très vaste liste est constituée par Gaillard, référençant méthodiquement tous les monuments qu'il connait. A chacun, il relève l'orientation et dresse un cadran synoptique des orientations. Les azimuts se distribuent de 45° environ à 306° avec une densité plus importante pour les orientations à l'Est et aucune ouverture vers le Nord. (p.124) Il existe toutefois trois cas échappant au modèle : « *Mané Hroeck à Locmariaquer, Conguel à Quiberon et Kergonfals à Bignan (*qui*) se trouvent au Nord-Est, 45 degrés, dépassant ainsi du côté du Nord de 8°50' le lever du soleil au solstice d'été* ». Mais : « *je ne crois pas que ces cas soient suffisants pour infirmer ma conclusion ; car il faut forcément admettre que les toutes les orientations des préhistoriques étaient faites à l'œil nu et que dès son apparition, le soleil incline à l'horizon en s'élevant. Un écart de 8°50' s'explique fort bien ainsi.* » (p.128).

Felix gaillard donne peu d'indications sur sa méthode. Concernant les dolmens, il ne dit pas avec précision comment il se positionne ou quels instruments il utilise. Il précise qu'il n'est pas besoin d'être sur place le jour du solstice, d'autant plus que la météo n'est pas forcément favorable aux observations (p.88). En connaissant les azimuts des solstices et des équinoxes, il suffit de se placer au centre d'un « *cromlech* » et avec la boussole, utilisée dès lors comme un rapporteur, de repérer les index dans la direction du levant. Il prend en compte le soleil vrai et néglige la réfraction à l'horizon tout autant que la précession des équinoxes et n'évite pas d'indiquer que la variation de l'obliquité de l'écliptique est une donnée importante à intégrer à son analyse. Gaillard montre avec l'aide d'un tableau obtenu à l'Observatoire de Paris que la variation d'un degré se fait sur 4000 ans. Cela l'invite à considérer cette variation comme négligeable. Il indique :

> *« Les constructeurs préhistoriques n'ont pu évidemment calculer le lever vrai du soleil ; leurs connaissances*

[240] Voir Cassen, Exercice de Stèle, *Op.Cit.*

astronomiques se bornaient assurément et simplement à ce qu'ils voyaient. Ils avaient en outre les difficultés de.la construction; la configuration du terrain a subi aussi, sans conteste, bien des changements depuis. Les hommes préhistoriques des alignements étaient dépourvus d'instruments d'observation comme ils l'étaient aussi de ceux pour tailler les blocs qu'ils érigeaient. Ils ne connaissaient que la pierre polie ou taillée par éclats. Ils ne purent assurément établir la division du temps. Leur but, dans les alignements, fut uniquement de marquer par le renouvellement d'un phénomène astronomique visible, l'époque et le moment de leurs cérémonies ; mais en aucun cas ce ne put constituer une division du temps, une sorte de calendrier qui eût exigé des connaissances astronomiques qui leur manquaient totalement.

Et ce qui démontre encore cette ignorance, c'est la direction de l'ouverture de quelques dolmens (3 au total) dont l'axe dépasse quelquefois légèrement le solstice d'été au lever du soleil, tandis qu'il n'y en a pas dépassant le même solstice au couchant. Ces variations s'expliquent par des circonstances telles qu'un ciel constamment couvert qui ne permit peut-être, lors de la sépulture, l'exacte observation de la position du soleil. Or, c'est le cas très fréquent au solstice d'hiver.

Il n'y a donc aucune anomalie dans les observations actuelles et ce qu'elles durent être à l'époque reculée de la construction ; tout comme on ne peut en déduire, pour les constructeurs, une connaissance ou un calcul astronomique que ne comportaient pas l'état et l'intelligente de l'homme préhistorique. » (pp.89-90)

Le bon sens de Gaillard va cependant se heurter à des critiques très vives qu'il rapporte dans les notes de son livre. Les critiques émanent du Dr Letourneau, secrétaire général de l'Anthropologie et du Dr de Closmadeuc, ce dernier se révélant être le plus violent. Les deux contradicteurs considèrent que si les alignements fonctionnent aujourd'hui, c'est qu'ils ne fonctionnaient pas à l'époque de l'implantation des monuments, du fait des variations de positions du couple Terre / Soleil. Et inversement, si les axes correspondaient avant, nous ne pourrions pas les observer aujourd'hui. De façon assez surprenante, plutôt que de maintenir son argument comme quoi la variation d'un degré tous les 4000 ans ne modifie pas globalement les tendances observées, Gaillard cherche à contrecarrer l'argument de Closmadeuc d'un assaut peu convaincant. De Closmadeuc indique qu'il faut 25 765 ans pour que puissent s'observer les mêmes alignements, ce qui mécaniquement, repousse l'édification des monuments mégalithiques d'autant, s'il l'on suit le raisonnement de Gaillard. Ce dernier compose alors une curieuse réponse spéculant

que nous pourrions être à égale distance temporelle du point d'inflexion du cycle de précession des équinoxes. Il l'exprime ainsi :

> *« (…) si nous admenttons, sans que j'en affirme absolument rien que les alignements ont 10 000 ans de date d'érection, le Soleil ne peut-il pas se lever à la place indiquée au tableau, c'est-à-dire 5 000 ans avant d'atteindre son maximum de variation ? Il eût fallu, en ce cas, 5 000 autres années pour qu'il y revienne actuellement, et ce serait la période correspondante. Il ne faut donc pas 25 765 ans pour cela, et je soutiens comme on l'admettra, je pense, que tant qu'on n'aura pas, mathématiquement et de façon irréfutable, désigné la position actuelle du Soleil à son lever relativement à sa variation, mes observations sont fondées, car elles sont matérielles, visibles et vérifiables.* » (pp.173-174)

Le lègue de Félix Gaillard est fascinant. En associant la photographie à ses propres mesures, il initie une approche résolument avant-gardiste du relevé et de l'enregistrement des sites mégalithiques. Ce faisant, il porte son regard au-delà de l'objet pour observer le contexte et finalement écarter les interprétations canoniques pour concevoir cette théorie des alignements solaires. Il n'est pas le premier à développer cette piste, mais il lui donne suffisamment de consistance pour qu'elle reste, aujourd'hui encore, un point repère dans les études sur le mégalithisme.

Le débat astronomique

A ce moment, Félix Gaillard n'est pas isolé dans ses hypothèses alliant les alignements mégalithiques aux courses solaires. Il est intéressant de présenter deux autres acteurs, dont les démarches d'observations sont assez proches, mais dont la rigueur des conclusions n'est pas exactement équivalente.

Docteur Baudouin

Le docteur Marcel Baudouin est né en novembre 1860, il est médecin, historien de la Vendée et a été secrétaire général de l'Association de la presse médicale. Ses publications sont tout d'abord à caractère médical, puis alterneront éléments d'histoire de la Vendée et publications liées à sa pratique de clinicien. Il cofonde la Société Préhistorique de France en 1904 et en sera le secrétaire général jusqu'en 1919, et dirige entre 1913 et 1914 la revue *l'Homme Préhistorique*. Mort en janvier 1941, son nom reste associé à l'étude astronomique des sites mégalithiques.

Dans son article *L'Orientation des mégalithes funéraires et le culte solaire à l'époque néolithique*[241], Baudouin expose sa méthode et

[241] Baudouin M., L'Orientation des mégalithes funéraires et le culte solaire à l'époque néolithique. Les Rochers à sabots d'équidés et la théorie de leurs légendes (sculptures vraies et dépressions naturelles), Congrès International

commence par sa définition de *l'orientation des Dolmens*. Pour lui, orientation suppose qu'il y a une construction suivant un *plan*, arrêté *à l'avance*, dans des « *conditions données et voulues* » (page 1/101). Baudouin donne ensuite un aperçu historique de la recherche concernant le sujet, en commençant par évoquer Noël Champoiseau qui en 1842 a décrit l'Allée couverte de Saint-Antoine du Rocher en Indre et Loire et a fait l'objet, déjà, de violente répliques négatives de ses contemporains. Il cite ensuite des personnalités qui viennent abonder sa démonstration parmi lesquels on retrouve, Félix Gaillard, René Kervilher, Ducleuziou, le commandant Martin, le capitaine de frégate Devoir, le docteur Atgier et son « *excellent collègue, M. Le Rouzic (de Carnac)* ». Il ajoute pour les anglais, Nordmann Lockyer (que l'on trouve maintenant avec le prénom Norman) et A.L. Lewis.

Dans la suite de l'article, Baudouin expose sa méthodologie reposant dans un premier temps sur la détermination de l'axe du monument. Pour cela il doit reconnaitre *l'entrée* et déterminer comment se développe le couloir jusqu'au *fond*. Plusieurs cas se présentent à lui selon l'état de conservation du site. Il utilise ensuite une boussole-éclimètre, qui est équipée d'un niveau à bulle et d'une lunette mobile pour calculer les altitudes, afin de relever le Nord magnétique et consigner l'angle qu'a le couloir avec l'indication de la boussole. Dans article écrit pour sa revue *l'Homme Préhistorique*, il détaille un peu mieux son outillage en l'inventoriant tel que suit :

> *« 1° Une BOUSSOLE ordinaire, de dimensions assez grandes pour disposer d'un angle d'un degré très distinct;*
> *2° Un APPAREIL PHOTOGRAPHIQUE à Pied (13 X 18 au moins), pour l'étude des Dolmens en particulier;*
> *3° Un MÈTRE rigide, qu'on peut remplacer avec avantage par un piquet d'arpentage, peint en noir et en blanc tous les 10 centimètres*[242]*. »*

Les orientations étant mesurées par rapport au Nord magnétique, Baudouin utilise des tables de Déclinaison Magnétique calculées en fonction de la latitude du lieu afin de redresser ses mesures. Mais c'est pour lui très facile et on peut le faire « *chez soi, à tête reposée* »

Toutefois, la configuration rectiligne n'est pas la seule rencontrée : pour les couloirs coudés, il se place « au centre du dernier coude ».

> *« Quand il s'agit de Dolmen circulaire, il faut se placer de face, au milieu de l'Entrée, élever par ce point une perpendiculaire fictive, allant d'un côté vers la cavité sépulcrale, de l'autre à l'extérieur, et de faire l'observation à la boussole, au point où*

d'Anthropologie et d'Archéologie préhistorique, Compte-rendu de la XIVème session, Genève, 1912.

[242] Baudouin M., Technique de la détermination de l'orientation des dolmens, in L'homme Préhistorique, XIe Année, 1913, TOME XI, N° 12, Décembre 1913., page 25/369

> *cette perpendiculaire rencontrerait, de l'autre côté, la paroi du monument : cela en se tournant vers l'Entrée. » (Page 7/107)*

Quand le monument est ruiné, la tâche est plus complexe, puisqu'il fait imaginer la structure avant destruction et Baudoin confesse s'être parfois trompé.

Le corpus étant établi, Baudouin va ensuite se livrer à une classification des entrées qu'il exprime ainsi :

> *« 1° Monuments orientés du Nord-est au Sud-est astronomique (polaire ou géographique), formant un groupe distinct, dont l'entrée varie, pour notre pays (latitude 44° en moyenne) par conséquent, de 55° à 140° (après correction de la Déclinaison magnétique). — Cela correspond en France à peu près au Lever du Soleil, suivant les diverses Saisons.*
>
> *2° Monuments orientés presque exactement au Sud astronomique (polaire ou géographique), formant une autre classe, très distincte. - L'entrée correspond ici toujours au Soleil au Zénith ou au Soleil à Midi, c'est-à-dire à 180° (toujours après correction de la Déclinaison magnétique). - En France, où cette déclinaison, actuellement occidentale, varie de 11° à 17°, ces Mégalithes sépulcraux sont, par suite, orientés à : 180° + 11° à 17°; c'est-à-dire de 191° à 197° de la boussole magnétique.*
>
> *3° Monuments orientés de l'Ouest au Nord-ouest magnétique, dont l'entrée varie de 275° à 335° magnétique. — Ils sont, en France surtout, presque localisés à la partie méridionale du pays, avec orientation Ouest, et plus fréquents en Provence et dans le Bas-Languedoc qu'en Bretagne. — Evidemment, cette orientation ne peut être en rapport ici qu'avec le Coucher du Soleil [243]».* (Page 11/111)

Dès lors, vu l'amplitude des orientations, le lecteur peut admettre que la démonstration s'affaiblie, mais ce serait ignorer les explications par le culte du Soleil. Le lever, l'orientation est à l'Est, c'est « *l'arrivée du sauveur du monde* », comme c'est le cas, indique Baudouin, dans de très nombreuses cultures. La question du midi est « pus nouvelle et plus originale ». Les hommes du néolithiques ont été, selon l'auteur :

> *« frappés par ce phénomène de l'Ascension du soleil (…) Ils ont du se demander pourquoi cet astre, comme fatigué de monter vers le zénith, était obligé, à Midi précis (cette heure n'indique*

[243] Baudouin M., L'Orientation des mégalithes funéraires et le culte solaire à l'époque néolithique (op.cit.)

> *d'ailleurs que ce phénomène), de redescendre vers l'horizon, c'est à dire vers la terre ».*

Les orientations au coucher du soleil sont plus difficiles à expliquer pour lui. Mais en faisant références aux cultures ultérieures, il devient évident que cela est lié au culte de la disparition du soleil de l'autre côté de la terre tel qu'on l'observe en Méditerranée. La solution vient alors dans la prise en compte des Solstices et Equinoxes et des points de lever et coucher du soleil. De là, Baudouin construit un lien entre l'implantation des Dolmens et une intention symbolique qu'il exprimera ainsi :

> *« Ce que nous venons de voir, en ce qui concerne les Dolmens, montre que c'est probablement l'intention symbolique, qui est à l'origine de ces faits. En effet, le Dieu Christ n'est pas autre chose que le Dieu solaire Néolithique transformé, puisqu'on l'appelle le Soleil levant (Oriens, splendor lucis æternæ !) »* (Page 17/117)

Ce grand arc des orientations prouve en creux qu'il existe, ce qu'il appelle un « *grande Lacunes de Orientations* » qui est l'orientation au Nord. C'est-à-dire qu'il n'y aurait jamais d'orientation au Nord. Baudouin explique ensuite la variation des orientations par le phénomène de précession des Equinoxes, c'est-à-dire le lent changement de direction de l'axe de rotation de la terre. Dans le corpus qu'il a établi, l'auteur va ensuite déterminer de nouvelles « *lacunes* » dans les orientations montrant que les orientations ne se distribuent pas tout au long de l'arc de la course su soleil, mais selon des angles plus restreints. Malgré cela, Baudouin sent que sa démonstration possède elle aussi des lacunes et tente d'y répondre par un jeu d'objections qu'il se présente à lui-même.

Ces objections sont plusieurs ordres : certains cas ne répondent pas aux critères des lacunes, mais il se répond que ce sont soit des erreurs de calcul, soit la preuve d'une coïncidence voulue. La deuxième objection vient dans position de la mesure, avec la confusion, dans le corpus de l'entrée et du fond. Il justifie là ses analyses par une interprétation du plan des Dolmens concernés. Il rappelle enfin que sa théorie repose sur le fait que l'on ne trouvera jamais d'entrée pointant vers le Nord. Dans le cas contraire, sa théorie s'écroulerait. L'article se développe ensuite sur de très nombreux exemples venant soutenir sa démonstration.

Un mot encore concernant la méthode de Baudouin : il publie en 1914, La *Loi de Position des Menhirs périsépulcraux*[244]. Les *lois*, « *prouvées* », sont au nombre de 4 :

[244] Baudouin M., La Loi de Position des Menhirs périsépulcraux (Menhirs des Mégalithes funéraires), Bulletin de la Société préhistorique de France. 1914, tome 11, N. 5. pp. 308-320

1. La première loi est « *Qu'il existe des Menhirs, qui sont manifestement en relation avec des Mégalithes funéraires* » ;
2. La deuxième loi est « *Que ces Menhirs périsépulcraux se divisent en deux sortes* » : « *les Menhirs très rapprochés de la Sépulture* » et les « *Menhirs situés à distance* » ;
3. La troisième loi c'est ! « la Loi des Menhirs indicateurs » ;
4. La quatrième enfin est la « *Loi de Position des Menhirs périsépulcraux* », répartis selon les axes solaires. (pages 308 et 309)

Si le vocabulaire rigide ne traduit pas toujours la rigueur des observations et des relevés, ce qu'Alfred Devoir stigmatisera ensuite, Baudouin ouvre là une première piste concernant la déduction inverse des positions des menhirs déplacés ou non repérés, méthode qui se développera par la suite.

Alfred Devoir

Alfred Devoir, évoqué par Baudouin, comme référence, n'adhère pas en retour, aux démonstrations du vendéen, c'est un euphémisme. Dans ses *Notes sur un mémoire de M. le dr Marcel Baudouin*, Devoir annonce en préambule, qu'il ne peut y avoir de compromis et déclare examiner le texte de Baudouin sous le « *triple point de vue topographique, géométrique et astronomique » (p.167)*. Des erreurs très importantes de topographie sont relevées dans un premier temps, puis Devoir note des fautes de calculs sur la géométrie et l'analyse des cupules. Enfin, il démolit méticuleusement pièce à pièce les démonstrations de Baudouin concernant les extrapolations astronomiques. La conclusion est sans appel :

> *« Ses trois chapitres nous ont montré, à côté de documents - cartographiques tous inédits, mais inexacts et surtout désorientés, des croyances se traduisant en mots empruntés aux vocabulaires géométrique et astronomique, mais en parfaite contradiction avec ce que nous ont appris 25 siècles d'observations et de calculs. »*
>
> *« L'imagination, par qui l'archéologie a vu ralentir ses progrès, n'a rien à faire dans l'étude des sciences plus exactes, qui suffisent d'ailleurs à déceler ses écarts. M. le Dr Baudouin a connu les travaux des réinventeurs de l'astronomie préhistorique; certains problèmes n'ont qu'une solution : pour en trouver une deuxième, il a dû inventer les* « déviations processionnelles*», et baser tout ce qu'il a écrit depuis cinq ans sur une conception nettement anti-astronomique; nous en avons vu les résultats, conséquences forcées du point de départ ; «* classification chronologique *» et «* Lois de positions *» imaginaires*[245]*. »*

[245] Devoir A.,Notes sur un mémoire de M. le dr Marcel Baudouin, publié au

Mais qui est cet Alfred Devoir ? En ce début de XXème siècle, le Capitaine de Frégate Alfred Devoir, membre du Groupe Finistérien d'Études Préhistoriques (GFEP), puis vice-président de la Société Archéologique du Finistère, est reconnu pour deux contributions majeures à la recherche : l'étude de l'évolution de la dynamique du littoral, ce qu'il qualifiera de « *cinématique*» et l'étude et la protection des mégalithes[246]. Alfred Devoir a contribué au classement de plusieurs mégalithes comme, par exemple, l'Allée couverte de Lesconil, dans un souci permanent de l'avenir des sites. Dans son fameux article sur « les grands ensembles mégalithiques de la presqu'île de Crozon» il indique que :

> *« Certaines restaurations faites dans la région de Carnac présentent (…) de sérieux inconvénients pour l'avenir. (En note). De tels travaux ne devraient être entrepris qu'avec la plus grande prudence scientifique, ce qui n'a pas toujours eu lieu. Quand les lichens auront poussé sur les parties jadis enfouies de menhirs redressés, on ne distinguera plus ces menhirs de ceux qui restaient debout, au moment de l'opération. A mon sens tout menhir redressé devrait être marqué d'un signe spécial, bien visible et non sujet à altérations. La même précaution est nécessaire pour les supports de dolmens qui, bien que plus que les tables de recouvrement, caractérisent ces monuments ; une restauration ne doit jamais engager l'avenir, ce qui adviendrait si le monument lui-même n'en fait pas mention* [247] *».*

Aujourd'hui, le promeneur attentif peut identifier des petites marques de cire rouge apposées sur les menhirs que Zacharie Le Rouzic aura remis en place selon ce principe. Alfred Devoir constate que dans la presqu'ile de Crozon, les sites sont peu bouleversés et les alignements et les orientations sont probablement tels qu'à l'origine de leur construction. Il note avec précision les azimuts des files de pierres dressées et remarque une forme de constance dans leur implantation.

Devoir enregistre des orientations majeures qui sont N.-N.-E., 35° E., S-S.-E. et tente de redistribuer les occurrences suivant une typologie architecturale. Il indique qu'il faut comprendre les monuments

---

Bulletin de la Société d'Anthropologie de Paris (1915, n° 4) *In* Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris, VI° Série, tome 8 fascicule 4-6, 1917. pp. 165-190, pp.189-190

[246] López-Romero, E and Daire, M-Y, The ICARE Project: Insights into the Formation and Consolidation of Archaeology in Western France (ca. 1850–1990). Bulletin of the History of Archaeology, 23(1): 3, 2013, pp. 1–11,

[247] Devoir A., les grands ensembles mégalithiques de la presqu'île de Crozon et leur destination originelle, par M. le capitaine de frégate DEVOIR, in, Bulletin de la Société archéologique du Finistère, Tome 38, 1911, pp 3-38, P.20

comme un système fonctionnant non seulement avec des sites proches, mais également avec des sites plus éloignés mais appartenant au même système. Pour lui, le systématisme des orientations ne peut que traduire une intentionnalité. Détail intéressant, Devoir indique qu'il n'a découvert que tardivement les théories de Gaillard, qu'il qualifie « *heureuse intuition* » (p. 29), mais bien entendu, pleine d'erreurs. L'idée du menhir index est réfutée car : « *Pour M. Gaillard, deux points seuls importent, le centre d'observation et le menhir index ; on peut se demander, dès lors, à quoi servent les centaines de mégalithes qui entrent dans la composition des alignements et du cromlech voisin*. » (p.29)

Après avoir fait référence à Norman Lockyer auquel il a soumis ses travaux, Devoir explique, après une forme d'ellipse dans sa démonstration qu'il est rationnel de penser que les orientations des mégalithes correspondent aux orientations solsticiales. Il résout la question des azimuts intermédiaires en identifiant les dates des 8 novembre, 4 février, 6 mai et 8 aout comme intermédiaires entre les solstices. Ces dates, selon Devoir, reprenant les arguments de Lockyer, correspondent aux dates importantes de l'année agricole.

La conclusion de Devoir concernant son étude mérite un petit temps d'arrêt. Si les monuments fonctionnent en système et sont orientés selon l'une des directions qu'il a privilégiées, cela permet, selon lui, de procéder à une déduction inverse. Devoir l'indique ainsi :

> *« En effet, dans la théorie nouvelle, un monument isolé n'a pas de raison d'être ; s'il nous semble tel, c'est que les jalons voisins ont disparu, ou bien qu'on n'a pas su, jusqu'à présent les retrouver.*
>
> *On le peut maintenant : tel bloc renversé sur le sol, près d'un monument incontestable, et jalonnant avec lui une orientation astronomique principale, devient un monument probable, susceptible de nous guider vers de nouvelles découvertes ; les régions mégalithiques sont loin d'avoir livré tous leurs secrets. » (p.37)*

L'hypothèse solaire est encore fragile, mais la démarche de déduction inverse est intéressante. Elle a été proposée par Norman Lockyer justement pour le site de Stonehenge. Sir Joseph Norman Lockyer est une figure scientifique dominante en ce début de XXème siècle. Astronome, il est le découvreur de l'Hélium et le fondateur de la revue Nature dont il a la charge d'édition. Avant Stonehenge, Lockyer avait étudié des sites en Egypte et en Grèce, constatant des orientations privilégiées dans les directions des solstices. Il se tourne ensuite vers Stonehenge spéculant qu'il sera possible de déterminer la date du monument en extrapolant la position du soleil sur un alignement au solstice. Ce faisant, il arrive à la date de 1680 avant JC. Il publie, avec Francis Cranmer Penrose, ses résultats dans les

Proceedings of the Royal Society of London sous le titre *An attempt to ascertain the date of the original construction of Stonehenge*[248]. Le calcul n'est pas complètement faux et tombe entre les dates extrêmes (-2800 et -1100) de la vie du monument qui a beaucoup évolué au cours durant son fonctionnement. Le problème est plus dans la détermination des axes (on retrouve la critique de Devoir à Baudouin) qui sont retenus pour le calcul, précis de la position du soleil. Huit ans plus tard, Norman Lockyer publiera une étude plus complète sur Stonehenge étendant également sa méthode pour la datation d'autres sites de Grande Bretagne[249].

Pour conclure sur Alfred Devoir, il faut noter qu'il a publié, entre 1915 et 1916 le résultat de ses observations sous le titre *Contribution à l'étude de l'Ère monumentale préhistorique : l'Architecture mégalithique bretonne et les observations solaires*. Au long des cinq articles, il développe sa méthode en argumentant tant sur les remarques de terrain que les démonstrations solaires qui sont encore assez timides. Le dernier article voit des remarques de Baudouin publiées, ce qui nous permet d'être témoin des controverses et des argumentations qui font parfois sourire.

Georges Charrière

Revenons à Crucuno. L'architecte Georges Charrière propose en 1964 un article intitulé *Typologie des orientations mégalithiques et protohistoriques*[250] dans lequel il se propose d'expliquer les « orientations systématiques relevées jusqu'à maintenant et quelles solutions leur donner, sans en attendre plus qu'elles ne peuvent » (page 160), «…en divisant les implantations orientées en 3 types : solaire, lunaires, luni-solaires. »

Charrière commence par donner une orientation moyenne des levers et couchers de soleil aux solstices en prenant la valeur de 35°, puis indique qu'il va aussi considérer les levers et couchers héliaques, c'est-à-dire lorsque l'astre solaire est visible avant qu'il ne soit levé, et ce, aux saisons intermédiaires, les 6 mai, 8 août, 4 février et 8 novembre, suivant en cela les préconisations de l'astronome anglais Norman Lockyer. Cela lui donne 4 nouveaux azimuts à + ou – 24°. Il ajoute à cela l'orientation lunaire qui a pour déclinaison +/- 28°30', ce qui donne un angle de +/- 45° à ajouter au diagramme. L'ensemble de ces données produit un arrangement symétrique et correspondant à la rose des vents, ce qui lui inspire la question de

[248] Lockyer N., Penrose F.C., An attempt to ascertain the date of the original construction of Stonehenge, in Proceedings of the Royal Society of London", 69, 1901, pp. 137-147

[249] Lockyer N., Stonehenge and Other British Stone Monuments Astronomically Considered, MacMillan & Co., 1906

[250] Charrière G., Typologie des orientations mégalithiques et protohistoriques. In: Bulletin de la Société préhistorique française. Études et travaux. 1964, tome 61, N. 1. pp. 160-168

savoir « …si le choix de la Bretagne comme région de haute valeur religieuse n'a pas un peu tenu à cette coïncidence. »

Critiquant les approximations du docteur Baudoin, de Lockyer et de Devoir, il indique que :

> *« En mélangeant inconsciemment deux types d'implantations assez voisins quoique très différents puisque lunaire ou solaire, on oublie aussi que les 4° de différence peuvent se déduire du retard apporté par une ligne d'horizon peu dégagée, ce qui, en conséquence, fausse des interprétations hâtives et peu réfléchies. Néanmoins, en raison de solutions identiques pour l'implantation solaire ou l'orientation lunaire fonction de cette déclinaison ± 18°30', on comprend le symbolisme possible liant les deux astres. Les calendriers antiques et traditionnels nous ont laissé les traces d'une telle hiérogamie. Lorsque la déclinaison solaire atteint cette valeur de ± 18°30' on peut par exemple trouver aux dates correspondantes des 28 janvier, 13 mai, 30/31 juillet et 15 novembre, la fête romaine des Lémuria en l'honneur du soleil et de la lune (9), le 13 mai, la fête grecque d'Artémis et d'Apollon Thargélien le même jour (9), ou encore les noces du Lug celtique et sa parèdre au soir du 31 juillet »(*page 163).

L'auteur continue d'argumenter sur son hypothèse luni-solaire en puisant des arguments dans le folklore et le rythme des fêtes. Il va élargir le cercle de ses investigations jusqu'aux étrusques. La mesure des angles est toutefois un défi pour les âges reculés évoqué par Charrière. Ce dernier pense que la mesure de faisait par fractions d'angles et convoque l'exemple de *Crucuno* qu'il prend en exemple d'après l'article de Devoir. Une proposition intéressante de raisonnement inverse : connaissant les cycles lunaires – il rappelle les que les points d'arrêts majeurs et mineurs de la lune reviennent tous les 18,6 ans – et croisant ces données astrales avec le radiocarbone, il serait possible d'établir les dates de fondation des sites. Il admet pour conclure que l'observation de la preuve des alignements luni-solaire se fait avec le ciel d'aujourd'hui, mais que 40 siècles plus tôt, les observations auraient donné un tracé du site tout à fait similaire.

De fait, Charrière ouvre un spectre très large permettant d'englober bon nombre de sites sans que l'on comprenne bien ce qui est réellement discriminant. La démonstration, dénonçant les erreurs de ses prédécesseurs n'est pas non plus exempte d'approximations : pour rappel, au point d'arrêt majeur, l'angle maximal entre le plan de l'équateur et l'orbite terrestre est de 28,5°, au point d'arrêt mineur il est de 18,5°.

Le renouveau des hypothèses

Alexander Thom va fournir à la communauté scientifique une série de relevés extrêmement précis, détaillés et fiables. Ses plans, qu'il

partagera volontiers, avec Giot par exemple, vont être largement repris pour étayer les hypothèses astronomiques, chez les auteurs académiques comme dans la littérature ésotérique, assurant à Thom une notoriété que peu de ses confrères partagent.

Alexander Thom

Ingénieur et professeur à Oxford, Alexander Thom s'est; dès 1934 interrogé sur les corrélations astronomiques des cercles de pierres et a passé ses années professionnelles à arpenter plus de 300 sites mégalithiques. Il publie en 1954[251] un premier article intitulé *The solar observations of megalithic man* dans le *Journal of the British Astronomical Association*[252] où il expose ses intentions, puis publie en 1955 dans le *Journal of the Royal Statistical Society* les premiers résultats de ses travaux[253]. Thom est connu pour avoir identifié une unité de mesure qui semblait caractériser les sites qu'il a étudiés : le *Yard Mégalithique*. Ce Yard fait 2,72 pieds ou 0,83 mètres (très précisément 82,966 cm) et compose et organise les structures que Thom identifie comme des cercles, ellipses et surtout l'œuf qui deviendra, d'une certaine façon, une signature de ses recherches. Controversé par de nombreux spécialistes, archéologues ou astronomes, les recherches de Thom sont malgré tout respectées du fait de leur rigueur et de leur ampleur. Alexander Thom n'a jamais évité le débat en soumettant systématiquement ses conclusions au débat académique.

Alexander Thom a réalisé un relevé précis du site de Crucuno qu'il a publié dans l'article *The Astronomical Significance of the Crucuno Stone Rectangle* [254] en 1973. C'est en quelque sorte une publication séminale qui sera ensuite reprise et citée dans de très nombreuses publications, dans le domaine scientifique, grand public ou ésotérique. Cet article sera ensuite repris dans son recueil *« Megalithic Remains in Britain and Brittany* [255]» Dans un premier temps, Thom note que les proportions du quadrilatère de Crucuno possèdent les proportions exactes du rectangle pythagorien, 30x40 pieds mégalithiques (Megalithic Yard - MY). Il constate que cette propriété remarquable, prouvant les compétences techniques des

[251] Une erreur se perpétue sur la date de cet article, on trouve souvent 1951, ce, plutôt dans la littérature ésotérique, à partir de Rodney Castleden. Thom indique lui-même 1954 dans ses propres publications ce qui correspond bien à l'article que l'on trouve dans le numéro 64 de la revue.

[252] Thom, A., The solar observations of megalithic man, Journal of the British Astronomical Association 64, 1954, pp.396–404

[253] Thom A., A Statistical Examination of the Megalithic Sites in Britain, Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), Vol. 118, No. 3, 1955, pp. 275-295

[254] Thom A., Thom A.S., Merritt R.L., Merritt A.L., The Astronomical Significance of the Crucuno Stone Rectangle, Current Anthropology, Vol. 14, No. 4 (Oct., 1973), pp. 450-454, Published by: The University of Chicago Press

[255] Thom A., Thom A.S., Megalithic Remains in Britain and Brittany, OUP Oxford, 1978

anciens bâtisseurs, ne peut que rarement s'observer du fait des restaurations ignorantes de cette unité de mesure ou des destructions qui ont éparpillé les pièces. Thom va ensuite dépasser les constations de Charrière décrites plus haut, pour démontrer que les proportions du rectangle ne suivent pas les seules directions des Solstices mais contient les coordonnées géographiques du site. Il calcule que :

- si ε est la déclinaison du soleil au solstice
- si A est l'azimut
- si λ est la latitude
- il existe une relation telle que ε = cos A x cos λ

Comme le rectangle fait 30 x 40 MY cos A = 3/5 et donc cos λ = (5/3)sin ε. Si ε=23°54', ce qui correspond à l'obliquité (inclinaison) de l'écliptique aux environs de 1800 Avant JC, alors λ=47°31', ce qui est peu ou prou la latitude de Crucuno que Thom donne à 47°37'.5.

La démonstration sollicite de bonnes connaissances en géométrie, les données d'entrée de Thom sont exactes. En -1800, l'obliquité de l'écliptique est bien de 23°54'. La vérification peut se faire sur le site *Neoprogrammics*[256], par exemple, à la date donnée du 20 juin -1800, correspondant au jour Julien 1064158.5, les résultats se présentent ainsi :

- Eps Mean = 23.9029102293 = 23° 54' 10.477" (Laskar)
- Eps True = 23.9003977881 = 23° 54' 01.432" (Using IAU 1980 nutation series)
- Eps True = 23.9003975465 = 23° 54' 01.431" (Using IAU 2000B nutation series)

Et la position de Crucuno, est bien 47° 37' N / 3° 7' W, soit 47.62, -3.12.

Thom cherche ensuite des alignements sur l'horizon, mais la nature du paysage et les incertitudes concernant ce qu'il a pu en être au moment de la composition du quadrilatère, laisse les hypothèses très ouvertes. Ensuite Thom spécule sur les points d'arrêts majeurs de la lune (« *major standstill position » p.451*), mais il note néanmoins que le site, manquant de précision pour être un observatoire scientifique, peut rester néanmoins un bon lieu de prédiction des solstices, surtout en utilisant des points de repère dans le paysage tel que celui de la *Chaise du Pape*. Thom repère d'autres menhirs en position couchée pouvant avoir été placés pour les points d'arrêts majeurs de la lune.

[256] http://www.neoprogrammics.com/obliquity_of_the_ecliptic/

CURRENT ANTHROPOLOGY Vol. 14, No. 4, October 1973
Copyright 1973 by The Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research

RESEARCH REPORT

The Astronomical Significance of the Crucuno Stone Rectangle

by ALEXANDER THOM, ARCHIBALD S. THOM, ROBERT L. MERRITT, and ANDREW LLOYD MERRITT

Dunlop, Ayrshire, Scotland and Cleveland, Ohio, U.S.A. 6 v 72

thro' the whins, an' by the cairn . . .
ROBERT BURNS, *Halloween*

While we were engaged on extensive surveys in the Carnac area in Brittany in July 1970, three of us (A. S. Thom, R. L. Merritt, and A. L. Merritt) decided to take a look at an unusual geometric configuration of megaliths—the rectangular Cromlech de Crucuno,[1] referred to by Niel (1970:156) as amongst the most remarkable megalithic monuments in the world.[2] As a result we produced a large-scale survey which is shown on a reduced scale in figure 1. Astronomical observations were made for azimuth so that the plan could be accurately orientated. The dotted rectangle was superimposed on the plan with its short sides exactly on the meridian. The rectangle as drawn is 30 × 40 megalithic yards[3] and so has a diagonal of 50.

It is probably not coincidence that the two 3-4-5 Pythagorean triangles formed by the diagonal have sides which are multiples of 10 megalithic yards. Thom (1967, 1968) has shown that megalithic man, when constructing stone circles and rings in Britain, often dealt in multiples of $2\frac{1}{2}$, 5, and 10 megalithic yards, and employed perfect Pythagorean triangles in the geometry of the construction of numerous stone rings. Thom and Thom (1972) have shown that the main Carnac alignments were set out with a unit of $2\frac{1}{2}$ megalithic yards, and this is also found in the perimeters of practically all megalithic rings in Britain (Thom 1966, 1968). The Crucuno rectangle thus falls into line metrologically with other megalithic remains in both Britain and Brittany.

At Crucuno, as elsewhere in Brittany, well-meaning people have re-erected fallen stones without knowledge of the exact original positions. Knowing how accurately megalithic engineers could work, we think it unlikely that they left the untidy rectangle which we now see.[4] While elsewhere, when erecting freestanding circles, they measured to the centers of the stones, here they may have placed the stones outside but touching the rectangle. This too is unlikely, but only excavation can settle the matter.

On the south side of the rectangle, the whin bushes have grown so deep that some stones are obscured and are difficult to locate even when their presence is known—particularly the 3-ft. stone and the fallen stone in the southwest corner. The whin and the trees in the neighborhood make it impossible to measure the horizon altitudes, but the contours on the Institut Géographique National 1:25,000 map[5] show that only directly to the west is it likely that the horizon is elevated by much more than 10–15′. The site was doubtless chosen with this in mind.

It has been claimed that the diagonals of the Crucuno rectangle indicate the rising and setting points of the s at the summer and winter solsti (Charrière 1965).[6] But such an arrangement for a 3 × 4 (or 30 × 40) rectangle is only possible where certain unusual conditions obtain. We shall proceed to explain these conditions.

First let us find the latitude in which a 3 × 4 rectangle could be used to show the sun rising and setting at both solstices. For zero true altitude of the sun's center, we have the simple relation $\sin \epsilon = \cos A \cos \lambda$, where ϵ is the sun's declination at the solstice (i.e., the obliquity of the ecliptic), A the azimuth, and λ the latitude. Since the Crucuno rectangle is 30 × 40 MY, $\cos A = 3/5$ and so $\cos \lambda = (5/3) \sin \epsilon$. If $\epsilon = 23°54'$ (the obliquity of the ecliptic about 1800 B.C.), $\lambda = 47°31'$. It is remarkable that this is so near to the latitude of Crucuno, 47°37′.5.

Refraction raises the sun more and more as it approaches the horizon, so that when the true altitude of the sun's center is zero, the apparent altitude of the upper limb is about 41′ and that of the lower limb about 15′. This last is not very different from the estimated horizon altitudes at Crucuno other than in the west.

We deduce that the diagonals of a 3 × 4 rectangle in the latitude of Crucuno with the short sides in the meridian will show the sun apparently resting on the horizon provided that the horizon has an altitude of about 14′. If the altitude of the horizon to the west is $(14' + h)$ and to the east is $(14' - h)$, the rectangle will still be correct, but the short sides will need to be directed about $1.37h$ to the west of North. The erectors need not have known that the orientation was not in the meridian.

Now we consider whether the long sides of such a rectangle can show the sun on the horizon at the equinoxes. As has been shown elsewhere (Thom 1967: chap. 9), megalithic man's equinox occurred when the sun's declination was about + 0° 25′. For a line lying exactly east and west, this needs,

[The above report was sent for comment to the same 50 scholars who were invited to participate in the review of the Baity article above (pp. 389–449), and the following responded: Rainer Berger, Geoffrey A. Clark, P.-R. Giot, Jonathan E. Reyman, Charles H. Smiley, Dean R. Snow, and James L. Swauger. Their comments are printed below and are followed by a reply from the authors—EDITOR.]

[1] The Cromlech de Crucuno is located in a field called "Parc Vinglass" (Gaillard 1892:18) or "Parc vein glass (le champ de la pierre bleue)" (Gaillard 1883:5), about 1,200 ft. east of the hamlet of Crucuno (Erdeven, Morbihan).

[2] Niel (1966:15) and Gaillard (1892:18) both note that the Crucuno rectangle is a "très rare" form of cromlech.

[3] Thom (1966, 1967, 1968) has shown that megalithic man in Britain used a very precise unit of length of 2.720 ± 0.003 ft.—the megalithic yard (MY). A study of the alignments at Le Ménec shows a value of the MY of 2.721 ± 0.001 ft. (Thom and Thom 1972). Fletcher (1968) postulates a derivation of the MY from the double *remen* of predominantly Egyptian provenance. It is interesting to observe that the double *remen* was a length of 40 digits, whereas the MY was a length of 40 megalithic inches (Thom 1969). Ivimy (1969) suggests that the MY is $\sqrt{5}$ *remens*, or the diagonal of a 2 × 1-*remen* rectangle. Newham (1972:26) interprets the geometrical designs at Stonehenge to be based on a Lunar Measure (LM) of 47.6 ft., which equals $17\frac{1}{2}$ MY.

[4] Giot (1960:120) states that "unfortunately we do not know what it was like before the restoration." Niel (1970:157) makes a similar observation and refers (1970:172) to a "restauration maladroite vers 1890," but Gaillard (1883:4) asserts that the exactness of the restoration is beyond doubt.

[5] Institut Géographique National Auray Nos. 1–2 map sheet of the Carte de France, scale 1:25,000.

[6] Charrière (1965:166, 168) states that it is the upper limb of the sun to which the diagonals point today at the solstices, i.e., first and last gleam ("le soleil, quand son bord supérieur apparait à l'horizon").

Figure 25 - A.Thom, article sur Crucuno publié dans Current Anthropology en 1973

L'article de deux pages est suivi de trois pages de commentaires et de réponses. La première remarque de Rainer Berger concerne la datation du site et propose ses offres de services. Geoffrey Clark trouve que l'article est très technique et très spécialisé, puis discute les questions de métrologies tant dans les niveaux de précisions attendues et relevées que dans l'utilisation du Yard Mégalithiques. Pierre-Roland Giot vient soutenir Thom en faisant référence aux travaux de Gaillard. Jonathan Reyman réclame lui une approche plus archéologique en posant la question de la réelle motivation de la construction du quadrilatère. Il aimerait que soit examiné l'arrière-plan culturel et écologique afin de déterminer si les utilisateurs de Crucuno étaient plutôt des chasseurs-cueilleurs ou des pasteurs ou encore des agriculteurs. Il avance que si le site est un calendrier, il doit alors exister un lien avec les cycles liés à l'agriculture. Il demande et insiste pour que le site soit fouillé. Charles Smiley lui, suggère

l'étude de la corrélation avec la Voie Lactée comme c'est le cas dans d'autres sites qu'il mentionne, Dean Snow, met en cause lui la fiabilité des calculs concernant les alignements des objets. Le dernier intervenant dans la discussion, James Swauger, est convaincu d'une utilisation possible du rectangle comme d'un « *outil astronomique* » malgré son manque de précision. Robert Merritt, pour les auteurs, conteste certaines critiques et salue l'intervention de Giot, ce qui lui permet de préciser que les textes de Gaillard sont disponibles à la Bibliothèque du Congrès et à celle du Havard College Observatory.

Aubrey Burl

Une partie de la notoriété de Thom est peut-être due à la diffusion des livres de Aubrey Burl. Ce dernier est un auteur à succès, ses livres se vendent bien : 22 éditions ont été publiées de *Prehistoric Avebury* entre 1979 et 2002, 20 de *The stone circles of the British Isles* entre 1976 and 1989 et 14 de *Rings of stone : the prehistoric stone circles of Britain and Ireland* entre 1979 and 1980 par exemple[257]. Les travaux de Thom y sont largement référencés.

Aubrey Burl est né en 1926, il n'est pas archéologue de formation tel qu'il est souvent présenté, mais diplômé en littérature anglaise. Il a cependant recherché un poste lié à l'archéologie. D'une plume agréable, se permettant parfois des spéculations audacieuses, il a donc contribué à populariser les travaux de Thom et a publié de nombreux livres sur les cercles de pierres en général et Stonehenge en particulier. Si Burl admet les orientations astronomiques comme possibles et recevables sur un certain nombre de sites qu'il a étudié, il élargit l'usage que l'on pouvait avoir des lieux pour y intégrer les rites de fertilité, les commémorations funéraires, la vénération des ancêtres ou la célébration des naissances. Burl s'étonne dans son livre *A Guide to the Stone Circles of Britain, Ireland and Brittany*[258] que les sites français ne soient pas mieux décrits dans la littérature anglaise (page 251), mise à part le site de Crucuno suite au relevé de Thom.

Numéroté 378, l'article concernant Crucuno donne les dimensions du site et rappelle que seuls 9 pierres sur les 22 étaient encore dressées avant la restauration de Gaillard en 1882. Burl note : « *The astonishing precision of the layout led to criticism of the reconstruction but it's accuracy is confirmed by a survey by Dryden and Lukis fifteen years earlier in 1867*". (« *La précision étonnante du plan a conduit la restauration mais son exactitude est confirmée par un relevé de Dryden et Lukis quinze ans auparavant en 1867* »). (Page 254). Nous nous souvenons pour l'avoir indiqué plus haut que Lukis estimait ce plan comme imprécis. En fait, pour être précis et complet, Comme le suggérait Thom, Burl pense aussi que la configuration du quadrilatère reposerait également sur des lignes de visée extérieures

[257] http://worldcat.org/identities/lccn-n79-76672/

[258] Burl A., A Guide to the Stone Circles of Britain, Ireland and Brittany, Yales University Press, 1995

du fait de la structure du paysage mais peut-être également sur la course lunaire. Il convient toutefois que ce sont des conjectures et non des affirmations certaines (« *These are conjectures rather than certainties* » (page 256). On va retrouver la mention de Crucuno dans d'autres livres de Burl comme dans *From Carnac to Callanish*[259] publié auparavant ou *Prehistoric Stone Circles*[260] , quinze ans plus tard.

Dans sa publication le plus célèbre, *The Stone Circles of Britain, Ireland, and Brittany* [261] , Aubrey Burl reprend le cas de Crucuno en prévenant le lecteur que l'accès et le site lui-même sont rendus à la nature et que l'accès et l'appréciation y sont très difficiles. L'auteur rappelle les controverses nées de la restauration de Gaillard en 1882 mais s'appuie sur les plans de Lukis et Dryden pour valider la restauration (« *plan des plus précieux par leur extrême précision* » - en français dans le texte - (page 339). Burl décrit ensuite les deux relevés opérés par Thom et son fils et les Merritt. La première campagne de 1970 n'a pas donné les résultats attendus. En plus du dessin exact du quadrilatère, l'équipe était à la recherche de lignes de visée pouvant argumenter et renforcer les correspondances avec les axes du solstice et par là, proposer une datation du monument. Ne pouvant déterminer les lignes de visée, les Thom et Merritt sont retournés sur place deux ans plus tard, en 1972 et ont identifié deux sites : *la Chaise du Pape* et un alignement appelé *Er Men Cam*. Pour Burl, cette découverte a permis de conclure que le quadrilatère n'est pas seulement un dispositif solaire mais également lunaire de grande précision, ce qui le rend donc moins prudent que Thom lui-même.

Burl rappelle un relevé effectué en 1926 par le Brigadier-Général William Sitwell, personnage plus rarement cité concernant Crucuno. Sitwell aurait détecté le dessin d'un triangle équilatéral inversé (*sic*) positionné dans l'axe Nord/Sud, mais déporté vers l'Est et dont il ne resterait que les puis de fondation. Ce triangle ne servirait pas forcément aux visées astronomiques, mais aux visées au sol en pointant vers des objets qui auraient disparus. La consultation du livre de Sitwell, *Stones of Northumberland and other lands*[262] ne permet pas vraiment d'avoir d'explications plus claires mais il est possible de dénoter avec Burl l'enthousiasme du Brigadier-Général :

> « *Even as it stands there are so many remarkable combinations between its sides and the triangle within, that possibly the whole was prepared by ancient craftmen as a tracing board, whence lines could be drawn to fix and limit the*

[259] Burl A., From Carnac To Callanish, The Prehistoric Stone Rows of Britain, Ireland, and Brittany, Yales University Press, 1993
[260] Burl A., Prehistoric Stone Circles, Shire, 2008
[261] Burl A. The Stone Circles of Britain, Ireland, and Brittany, Yale University Press, 2000
[262] Sitwell W., Stones of Northumberland and other lands, Andrew Reid and Company, 1930

curves of the great serpent in its long and tortuous windings" (page 97 pour Sitwell et 340 pour Burl).

« Même dans sa forme actuelle il y a tellement de combinaisons remarquables entre les côtés et le triangle en son sein, qu'il peut être envisagé que le cela ait été préparé par d'anciens artisans comme une planche à tracer, d'où les lignes pouvaient être tirées pour délimiter les courbes du grand serpent dans ses longs et tortueux enroulements »

Le grand serpent correspondrait aux lignes du Menec.

David Kelley

L'archéologue et épigraphe canadien David Kelley était un spécialiste de la civilisation Maya. Une majeure partie de son travail a porté sur le déchiffrement de leur système d'écriture, ce qui l'a conduit à étudier également leur système calendaire. Kelley s'est construit une solide base en mathématiques et en astronomie, ce qui lui a permis de déborder son champ d'investigation premier. En 2005, six ans avant sa disparition à l'âge de 87 ans, Kelley a publié avec Eugene Milone, un ouvrage majeur sur la question de l'archéoastronomie : *Exploring Ancient Skies: An Encyclopedic Survey of Archaeoastronomy*[263]. Le livre, présenté comme une somme encyclopédique comporte dans une première section une longue description des phénomènes stellaires et les moyens de les calculer. La seconde section part à l'exploration des cultures à travers le monde, dans l'ordre chronologique, du monde mégalithique européen jusqu'aux civilisations océaniennes, en passant par la Mésopotamie et l'Afrique.

La partie II, consacrée à l'astronomie dans les Cultures, s'ouvre sur le paléolithique, puis rapidement atteint les cultures mégalithiques. Les auteurs reprennent les hypothèses généralement présentées et les rassemblent sous la forme de quatre questions :

1. *« How were the megalithic sites laid out?*
2. *Were they observational sites?*
3. *Do they incorporate astronomical information?*
4. *If they do incorporate astronomical information, how was this information transmitted within the culture? (p.160)»*

1. « *Comment les sites mégalithiques ont été disposés ?*
2. *Étaient-ils des observatoires?*
3. *Intègrent-ils des informations astronomiques ?*
4. *Si ils intègrent des informations astronomiques, comment ont-elles été transmises au sein de la culture?»*

[263] Kelley D., Milone E., Exploring Ancient Skies: An Encyclopedic Survey of Archaeoastronomy, Springer, 2005

Les premières réponses données par Kelley et Milone concerne la méthodologie et plus particulièrement sur le traitement statistique des données sur lequel nous reviendrons. En arrière-plan se dresse la question de la légitimité pour un non archéologue de produire des hypothèses sur ce type de problèmes. Ils rappellent que la question est peut-être plus ethnologique qu'astronomique puisqu'on va trouver dans toutes les cultures pastorales et toutes les cultures qui navigues, des relations aux astres et aux marqueurs paysagers. Cela étant entendu, il reste encore à faire des choix dans l'immense corpus des menhirs et des points remarquables, pour établir des lignes de visées. En posant le principe du Yard Mégalithique comme mesure de toutes dispositions mégalithiques, Thom a engagé plus encore la possibilité de déductions inverses : toute pierre déplacée retrouverait sa position par simple calcul. Kelley et Milone constatent que les mesures de Thom sont statiquement acceptables, avec une réserve concernant les déplacements de pierres faussant les calculs, ou, comme c'est le cas de Crucuno qui est pris en exemple (P.163) une disposition offrant une géométrie trop simple. Néanmoins, les auteurs admettent que le site offre des singularités :

> *« The dimensions of the features of the Crucuno monument are matched to its latitude if its purpose was to provide solar alignments. Hence, the Crucuno monument furnishes simple but strong evidence of a deep megalithic involvement in astronomy. In terms of our understanding, this interpretation is both straightforward and complex. It suggests complete understanding of the regularities in the correspondence of the figure with the apparent movements of the Sun. It seems highly unlikely that a rectangle with these geometrical and astronomical properties would be set by chance on the line of latitude where they could work. The site is about 9 miles from le Grand Menhir Brisé, which should have been visible at Crucuno. However, we know of no suggestion of an astronomical relationship between the two, and they may not have been contemporary».(pp.163-165)*

> *« Les dimensions des éléments du monument de Crucuno correspondent à sa latitude si son but était de fournir des alignements solaires. Par conséquent, le monument de Crucuno fournit une preuve simple mais forte d'une implication profonde du monde mégalithique en astronomie. En termes de compréhension, cette interprétation est à la fois simple et complexe. Elle suggère une compréhension complète des régularités dans la correspondance de la figure avec les mouvements apparents du Soleil Il semble très peu probable qu'un rectangle avec de telles propriétés géométriques et astronomiques puisse être le produit du hasard à la latitude où cela fonctionne. Le site est à environ 9 miles du Grand Menhir Brisé, qui aurait dû être visible depuis*

> *Crucuno. Cependant, nous ne connaissons aucune suggestion de relation astronomique entre les deux, et ils ne peuvent ne pas avoir été contemporains. »*

Les auteurs vont ensuite explorer d'autres hypothèses bretonnes, pour relever, comme leurs prédécesseurs, un arc d'orientation privilégié vers le Sud-Est. Dissignac, La Table des Marchands, Gavrinis, forment un corpus répondant parfaitement à l'orientation du solstice d'hiver.

La contradiction

Si les hypothèses archéoastronomiques ne se discutent plus vraiment dans les périodes ultérieures[264] où des preuves évidentes montrent des dispositions affirmées, des dispositifs de visées et des écrits ou cultes liés aux astres, la période néolithique reste, sur ce point aussi, plutôt indéchiffrable. L'une des ambiguïtés repose sur l'objectif final pouvant justifier les orientations. Gaillard repère très bien l'obstacle, il écrit :

> *« Ce serait une hypothèse invraisemblable et que rien ne démontre, qu'en déduire une* adoration du soleil*. Actuellement les musulmans se tournent vers le soleil levant pour leurs prières, le mirab de leurs mosquées est dans le même sens. Nos églises ont leurs sanctuaires au soleil levant. Est-ce à dire que le culte du soleil y entre pour quelque chose ?*[265] *»*

On va retrouver encore, autour de ce sujet, la lutte dialectique entre le matérialisme de l'usage et le symbolisme transcendant à laquelle la question du *à quoi ça sert ?* doit pouvoir répondre. A vrai dire, l'architecte le sait bien, chaque œuvre construite répond au symbolique *et* à l'usage et à beaucoup d'autres choses encore. Le projet construit est toujours la synthèse d'une multitude de contraintes qui sont résolues ou contenues dans une proposition formelle. Tant et si bien qu'aucun aspect particulier ne peut répondre à une contrainte ou injonction absolue.

Clive Ruggles

Poser un curseur d'acceptation ou de rejet pour les hypothèses solaires, lunaires ou luni-solaires pour les sites mégalithiques demande de résoudre une équation à de multiples inconnues dont les termes sont ceux déjà proposés par Kelley et que nous avons vu précédemment, auxquels nous pouvons ajouter la qualification ou la formation d'origine de la personne qui mène l'étude. Nous l'avons vu à travers les quelques portraits dressés des personnalités s'étant penché sur le dossier Crucuno, nous avons un hôtelier qui devient

[264] Ruggles C.L.N., Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy, Springer, 2015
[265] Gaillard F. l'Astronomie préhistorique, *Op.cit.,* p.126

archéologue, un médecin, un amiral de Marine auquel nous pourrions adjoindre un capitaine de gendarmerie[266], un architecte, un géomètre, un professeur de littérature, un astronome aidé d'un architecte encore et encore un astronome, sans que cela ne soit nullement et loin de là, un jugement de valeur en compétences ou légitimité. Il semble important toutefois de montrer, dans ce développement, d'où l'on parle.

Crucuno, comme Carnac, concentre cette situation, mais Crucuno, à l'avantage de Carnac, n'est pas pollué par les atlantes, les extra-terrestres, les énergies et autres distracteurs. A notre point de bascule, nous trouvons Clive Ruggles. Ce dernier est astronome de formation et sa passion pour l'archéologie en fait l'une des têtes de file incontestable de l'archéoastronomie. Dans les années 80, Ruggles a constitué une équipe chargée de reprendre et refaire les études de Thom en appliquant auparavant un filtre sélectif extrêmement strict. 40% des 322 sites retenus au départ ont été écartés[267]. Les conclusions montrent qu'il existe en effet des alignements dont la précision est d'environ 1 degré et que ces alignements concernent surtout les points d'arrêt de la lune (voir glossaire). Concernant Crucuno, Ruggles, dans son gros ouvrage *Ancient Astronomy*[268], organisé de façon alphabétique, nous n'avons donc pas d'effet de démonstration comme Kelly.

Ruggles donne des dimensions sensiblement différentes, montrant qu'il n'a pas recopié les cotes de Thom. Il trouve 33,2 x 24,9, là où Thom annonçait plutôt de 34,2 X 27,7, on s'en souvient. Nous verrons ensuite que ces dimensions sont très difficiles à caler selon que l'on prend l'intérieur, l'axe médian supposé ou le rectangle englobant. L'auteur indique que les proportions 3 :4 n'implique pas forcément un raisonnement « pythagorien », mais peut être le résultat d'un choix esthétique et en aucune façon, la mise en cohérence d'une proportion particulière avec la recherche des orientations.

Pour conclure son étude il écrit :

> *«Nonetheless, despite the many problems and unresolved issues, the fact that people in the Neolithic or Bronze Age could have encapsulated four distinct characteristics—geometrical and numerological perfection, cardinal orientation, and astronomical alignments—in such a simple setting is truly remarkable. We do not have to accept Thom's megalithic yard at face value or postulate that the builders conceptualized Pythagorean geometry to appreciate this fact.*

[266] Grossin P., Note sur l'orientation des mégalithes, *in*, Bulletin de la Société Académique de Brest, 1898, pp.117-129
[267] Nazé Y., L'astronomie des Anciens, Belin, 2009
[268] Ruggles C.L.N., Ancient Astronomy: An Encyclopedia of Cosmologies and Myth, ABC-CLIO Ltd, 2005

> *Nor do we have to assume that the builders chose their latitude in order to believe that the solstitial alignments of the diagonals were fully intentional. True, Crucuno would not have "worked" if it had been located much farther north or south. It is also true that such ideal latitudes are few and far between». (page 121)*
>
> *« Néanmoins, malgré les nombreux problèmes et questions non résolues, le fait que les gens dans le néolithique ou à âge du bronze aient combiné à la perfection quatre caractéristiques distinctes : perfection dans la géométrie et les proportions, orientations cardinales, et alignements astronomiques dans une disposition aussi simple est vraiment remarquable. Nous n'avons pas besoin d'accepter le Yard mégalithique de Thom à la valeur nominale ou de postuler que les constructeurs ont conceptualisé géométrie de Pythagore pour apprécier ce fait.*
>
> *Nous ne devons pas non plus supposer que les constructeurs ont choisi leur latitude pour croire que les alignements solsticiaux des diagonales étaient pleinement intentionnels. Certes, Crucuno n'aurait pas "fonctionné" si le site avait été situé beaucoup plus au nord ou au sud. Il est également vrai que ces latitudes idéales sont rares et espacées. »*

Ruggles pose donc la notion d'intentionnalité, de heureux hasard, d'adaptation à une corrélation de facteurs. C'est ce qu'a cherché à démontrer Ray Norris[269] en calculant les corrélations entre les résultats de Thom, concernant les concordances entre les alignements et les évènements célestes, et ses propres calculs. Le rendu est produit sous forme d'histogrammes permettant de comparer et d'évaluer visuellement et de façon synoptique les résultats de l'un et de l'autre. Si à première vue, les résultats semblent en défaveur de Thom, trahissant une forme de surinterprétation de l'ingénieur écossais, Norris note néanmoins qu'il n'y a pas disjonction entre ses mesures et des hypothèses d'alignements. Il note, mettant en perspective le travail de Ruggles, que différentes méthodologies donnent différents résultats, tant dans la recherche de précision, que dans le choix du corpus. Il conclut que le débat continue.

[269] Norris R.P., Megalithic observatories in Britain : Real or Imagined ?, *in* Proceedings of the Astronomical Society of Australia, Vol. 5, Issue 4, 1984, , pp. 428-434

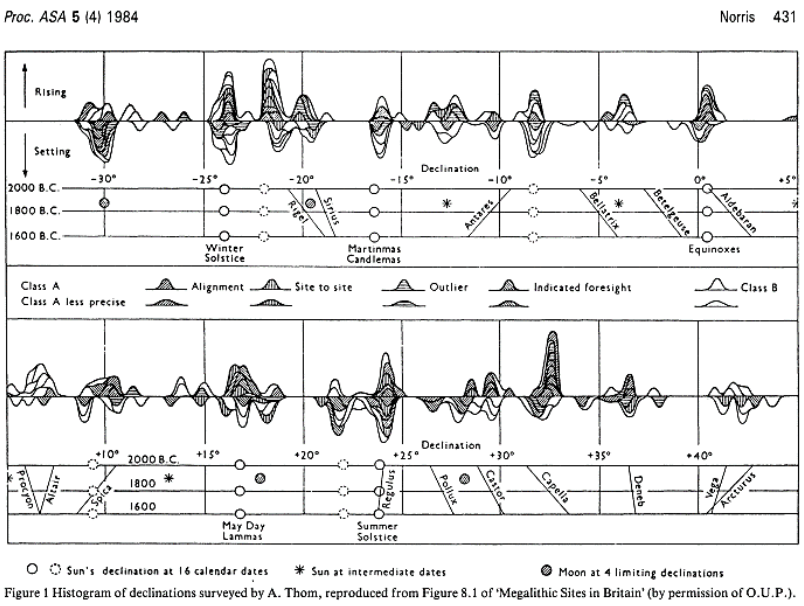


Figure 1 Histogram of declinations surveyed by A. Thom, reproduced from Figure 8.1 of 'Megalithic Sites in Britain' (by permission of O.U.P.).

Figure 26 - Ray Norris, histogrammes de comparaisons Thom / Norris

Quelques éléments du débat

Une des bases de la recherche scientifique, rappelée régulièrement, est qu'il ne faut pas confondre *corrélation* et *causalité*. Dans le cas qui nous intéresse, ce n'est pas parce que statistiquement, un grand nombre de sites fonctionnent dans les axes d'alignements solaires ou lunaires, qu'ils ont été conçus avec cet objectif. Ce qu'il y a de particulier pour les hypothèses astronomiques c'est qu'elles répondent directement à l'expérience sensible que tout un chacun peut faire. Il suffit, comme l'indique René Merlet[270] de se placer au bon endroit pour voir advenir le phénomène. La démonstration se fait d'elle-même. Or, c'est à la fois une démonstration et un obstacle. Démonstration car, en effet, cela permet de déterminer des corrélations et un obstacle puisque l'on dira que la course solaire n'était pas identique au moment de l'édification des monuments, que les dispositions ont pu changer du fait des destructions ou des restaurations et qu'il sera, de toute façon, toujours possible d'aligner de points !

Les arguments doivent donc prendre d'autres facteurs en considération que le simple constat géographique et géométrique. Jean-Pierre Savary, par exemple, relate ses observations sur les monuments en trou de serrure du Fadnoun, dans un article intitulé *Étude théorique et statistique sur l'orientation des monuments funéraires à structure d'accès rectiligne*[271]. Il montre que pour ce type

[270] Merlet R., Peut-on calculer, à l'aide de l'astronomie, la date approximative de certains monuments mégalithiques ? , in Mémoire de la Société d'histoire et d'archéologie de Bretagne, tome X, 1929, p. 13-26., p.21

[271] Savary J.P., Étude théorique et statistique sur l'orientation des monuments funéraires à structure d'accès rectiligne, In: Bulletin de la

de tombes il existe des orientations privilégiées semblant dépendre du solstice d'été ou du solstice d'hiver, mais de distribution inégale. Savary en arrive à la conclusion que les orientations, comme le suggérait déjà Gaillard[272], indiquent le moment de l'inhumation. Savary constate que les décès sont plus nombreux en fin d'hiver du fait de la fragilité des organismes à cette période, ce qui explique une orientation au solstice d'hiver plus importante statistiquement parlant. Savary porte ensuite sa démonstration sur les sites bretons et à partir des sources de Jean L'Helgouach, détermine deux typologies, celle des dolmens à couloir pour lesquels l'éventail est très large et les allées couvertes qui elles s'ouvrent de façon préférentielle dans le secteur (large) du solstice d'hiver.

Le vrai tournant dans le débat concernant l'archéo-astronomie arrive en 1973 avec le monumental article d'Elisabeth Chesley Baity, intitulé, *Archaeoastronomy and Ethnoastronomy So Far*[273]. Nous venons de le voir, la tentative de Savary est vite retombée dans les démonstration de statistiques d'orientations montrant qu'il y a bien quelque chose sans pouvoir produire l'élément de preuve déterminant. Elisabeth Baity évoque ce point en ouverture d'article, elle écrit :

> *« As a broader term, this appears more widely useful than the others and will be adopted here. "Ethnoastronomy" is the accepted name for a closely allied research field which merges astronomy, textual scholarship, ethnology, and the interpretation of ancient iconography for the purpose of reconstructing lifeways, astronomical techniques, and rituals. By whatever name, the new interdisciplinary studies are potentially of great significance for the insights they afford into the mental attainments of certain prehistoric, protohistoric, and early historic societies in Eurasia. Africa, and the Americas. Archaeoastronomy is a form of information recovery with time- and space-specific aspects which, when further refined and systematized, may provide not only a new theoretical framework for explicating certain problems of prehistory, but also a method of producing, ordering, analyzing, and expressing data with regard to the socioeconomic systems of particular cultures. ».*
>
> *« Afin d'englober un sens plus large, il semble préférable d'utiliser le terme qui sera adopté ici : "Ethnoastronomie" ; c'est le nom accepté pour un champ de recherche pluridisciplinaire qui associe l'astronomie, les lettres*

Société préhistorique française. Études et travaux. Tome 63, N. 2. 1966, pp. 365-394

[272] Gaillard F., L'astronomie préhistorique, *Op.cit*., p. 72

[273] Baity E.C., Archaeoastronomy and Ethnoastronomy So Far, Current Anthropology, Vol. 14, No. 4., pp. 389-449, Oct., 1973

> *classiques, l'ethnologie et les études de l'iconographie ancienne dans le but de déchiffrer les modes de vie passés, les techniques astronomiques, et les rituels. Quel que soit le nom, ces nouvelles études interdisciplinaires sont potentiellement d'une grande importance pour les idées qu'elles offrent pour comprendre les évolutions de certaines sociétés préhistoriques ou protohistoriques, en Eurasie, en Afrique et pour les Amériques. L'archéoastronomie est une forme de collecte d'informations comprenant des aspects temporels et spatiaux qui, lorsqu'elles sont affinées et systématisées, peuvent fournir non seulement un nouveau cadre théorique pour expliciter certaines problématiques de la préhistoire, mais également fournir une méthode pour produire, ordonner, analyser et restituer des données en ce qui concerne les systèmes socio-économiques de cultures spécifiques ». (page 390)*

Pour Baity, les études liées à l'archéoactronomie ne sont donc pas seulement la recherche de la preuve des orientations, mais bien l'étude de la façon dont la société intègre les dimensions temporelles et spatiales pour se structurer et comment, ces dimensions organiseront l'économique et le social. L'auteur prend ensuite comme point focal le site de Stonehenge pour, en anthropologue, étudier la façon dont les travaux se sont organisés et succédés. Elle marque l'absence de regard des anglais sur les travaux français, en autres ceux de Charrière qui avait pourtant détecté la répétition du nombre 19. Pour rappel, 19 fait penser au cycle de Méton ou cycle métonique qui est un calendrier lunaire permettant de déterminer la longueur moyenne de l'année tropique à savoir 365,25 jours. Dans le fameux livre II de Diodore de Sicile, cité par Charrière[274] justement, il est fait mention du cycle métonique, mais dans certaines traductions il est noté *grande année* : « *Cette période de dix-neuf ans est désignée par les Grecs sous le nom de Grande année* [275]»

Elisabeth Baity poursuit son exploration en référençant les sites bretons, le Grand Menhir et Crucuno étudiés par Thom. Après avoir largement ouvert le champ d'investigation en relatant des études faites de par le monde sur d'anciennes cultures, elle avance avec Thom, que le développement d'une connaissance des mouvements des astres doit s'accorder avec une période de paix sur au moins 2000 ans (page 415). La Grande Bretagne serait en ce temps, une sorte de haut lieu de la connaissance astronomique. Les activités maritimes et terrestres, les constructions gigantesques réalisées à cette époque confortent cette idée de maîtrise d'outils technologiques et conceptuels. Ce développement aurait permis, selon Thom, de trouver une société organisée selon un calendrier de 16 mois sur des

[274] Charrière G., Roos A. *Op.cit.*
[275] http://remacle.org/bloodwolf/historiens/diodore/livre2a.htm#104a

intervalles de 23 jours. Finalement, Baity suggère, comme méthode de travail, de placer les hypothèses astronomiques dans le cadre d'études ethnographiques révélant, par des traditions survivantes, les cultes, des récits, des danses, les rythmes de la société. Si les preuves matérielles d'après les édifications sont difficiles à consolider, le faisceau d'indices issu des traditions peut commencer à révéler leur potentiel usage.

Dans la discussion qui suit l'article, Dean R Snow, (anthropologue et archéologue des cultures nord-américaines), objecte que l'article, montre moins une méthode qu'une stratégie. Mais le danger vient surtout que la rigueur scientifique montrée par Thom, soit noyée « *dans un tourbillon de spéculations hasardeuses*[276] » qui viendrait mettre en péril cette sous disciple. *(« (…) without the concerted development of rigorous methods in the near future, this new subdiscipline may be lost in a maelstrom of haphazard speculations*»).

Les spéculations hasardeuses occupent en effet le terrain des réserves scientifiques. Au début des années 60, *le Matin des magiciens*[277], va entrer en écho avec une société et un monde en proposant le *réalisme fantastique* comme clé d'explication des mystères de notre société. En réactivant des auteurs comme Charles Hoy Fort, les deux auteurs vont accompagner un mouvement d'une forme de défiance des représentants de la science établie. A travers quelques exemples remarquables (dont la fameuse pile égyptienne), les auteurs vont suggérer que les scientifiques peinent à ouvrir le prisme des connaissances en acceptant que les peuples anciens fussent beaucoup plus avancés qu'on ne l'a cru. Le succès du *Matin des Magiciens* a entrainé dans son sillage nombres d'auteurs et de « théories » dont nous avons encore les échos aujourd'hui. Dix ans plus tard, la culture populaire s'est emparée de l'ouvrage qui exerce alors une forme de fascination. Le groupe français *Martin Circus*, compose une chanson éponyme en 1969, Pauwels et Bergier sortent l'année suivante la suite du *Matin des Magiciens*, *L'homme Eternel* [278]. Les relations des hommes anciens avec les étoiles et le ciel se développent avec Robert Charroux, véritable adversaire de l'archéologie académique. Il propose l'idée de l'origine extra-terrestre des hommes, idée qui sera ensuite reprise par le suisse Erich von Däniken. Ce dernier étend les idées de Charroux avec sa *Théorie des Anciens Astronautes* et prétend voir, dans les anciens sites, des bases de contacts avec un *Peuple des Etoiles*. Les démonstrations de Däniken reposent sur des extrapolations de textes anciens et sur l'interprétation erronée de gravures, reliefs ou statues présents sur les sites archéologies. Il fera école, ne recevant que le mépris légitime des archéologues. La revue *Planète*, extension des deux tomes de

[276] Baity Op.cit, p.438
[277] Pauwels/Bergier, Le Matin des Magiciens, Folio, 1960
[278] Pauwels/Bergier, L'homme Eternel, Folio, 1970

Pauwels et Bergier va entretenir encore la flamme jusqu'en 1971[279] avant de passer le relai à des collections grand public comme *L'aventure Mystérieuse* chez *J'ai Lu*. Pourtant, il faut pouvoir opposer des contradictions d'abord pour montrer au grand public que certaines théories alternatives reposent sur des erreurs grossières faciles à démontrer, comme le fait Jean-Pierre Adam dans *L'archéologie devant l'imposture*[280] et *le Passé Recomposé*[281] ou Jean-Loïc Le Quellec dans *Des Martiens au Sahara*[282] et ensuite parce qu'il arrive que la contradiction pousse à développer des recherches dans des directions auxquelles on n'aurait pas pensé. Les mégalithes sont des candidats rêvés pour le déploiement d'explications fantasques comblant les vides des études académiques. La Théorie des Anciens Astronautes s'est essoufflée dans les années 80 pour reprendre de plus belle avec le programme de télévision *Alien Theory (Ancient Aliens*[283]*)* diffusé sur History Channel. Dans l'épisode 13 de la saison 03, intitulé *Aliens and the Secret Code*, le site de Gavrinis est non seulement orienté en fonction de la course solaire, mais les gravures des stèles recèleraient des expressions mathématiques complexes indiquant la position géographique du site et bien d'autres choses encore que l'imagination sans limites des auteurs ont pu concevoir. Cela reste invalide car il n'y a même pas d'efforts de démonstration mais pas toujours sans arrière-pensées. Le côté folklorique et amusant des pratiques induites comme le druidisme et le culte solaire dans les mégalithes cache parfois un dessein politique plus affirmé comme le montre Stéphane François dans sa thèse sur le *néopaganisme*[284] publiée en 2008.

Un scientifique très sérieux comme Edwin Krupp manque de peu d'entretenir la confusion, puisque l'une des éditions de son succès In Search of Ancient Astronomies, possède une édition datée de 1979 sous-titrée *Stonehenge to von Däniken: archeoastronomy discovers our sophisticated ancestors*[285]. Cette mention disparaitra dans les versions ultérieures. En 1981, la revue belge Kadath[286] publie un dossier consacré aux travaux d'Alexander Thom et au cas particulier de Crucuno. L'interview de Thom est menée avec sérieux, mais la

[279] Gutierez G., Le discours du réalisme fantastique : la revue Planète, Maîtrise de Lettres Modernes Spécialisées, UFR de Langue Française, Université Sorbonne - Paris IV, 1998

[280] Adam J.P., L'archéologie devant l'imposture, Robert Laffont, 1975

[281] Adam J.P., Le passé recomposé, chroniques d'archéologie fantasque, Seuil, 1988

[282] Le Quellec J.L., Des Martiens au Sahara, Chroniques d'archéologie romantique, Errance-Actes sud, 2009

[283] Il faut noter que *Ancient Aliens* est produit par Prometheus Entertainment présidé par Kevin Burns, qui est un très grand documentariste. http://www.prometheusentertainment.com/about.html

[284] François S., Les néo-paganismes et la Nouvelle Droite, (1980 - 2006), pour une autre approche, Archè, 2008

[285] Krupp E.C., In Search of Ancient Astronomies, *Op.cit*

[286] Kadath n°42, été 1981

revue cherche d'avantage à faire s'exprimer l'ingénieur écossais sur ce qui est énigmatique que sur les débats scientifiques. L'article de 1973 concernant Crucuno est proposé en traduction. Si précieuses que peuvent être ces deux documents, ils sont entrelacés d'une investigation sur le site des Pierres Plates, comprenant des explications sur temps lunaires dans les cupules et d'une enquête sur Carnac centrale d'énergie. Si l'on peut admettre ces deux études comme légitimes (pourquoi pas), la méthode purement intuitive et bibliographique travaille les heureuses corrélations, ce qui est conforme à ce que ce type de revue continuera de publier.

En 1981, l'article *Highlights and Problems of Megalithic Astronomy* de Douglas Heggie[287], mathématicien de l'Institut d'Astronomie de Cambridge, vient frapper fort là où cela fait mal dans le monde de l'archéoastronomie. Après un bref historique, il reprend l'argument statistique qui alimente toutes les controverses dans un sens ou dans l'autre pour poser trois principes méthodologiques :

1. A partir de combien d'objets peut-on considérer qu'il y a alignement ?
2. Quel(s) objet(s) céleste faut-il regarder et comment ?
3. Quel degré d'erreur peut-on considérer comme acceptable ?

En explorant ces questions du point de vue de l'astronome, il relève des erreurs chez Thom entre autres, sur les calculs effectués. Se plaçant du point de vue de l'archéologie (et non de l'archéologue), il questionne de nouveau deux points méthodologiques : les preuves archéologiques, les dates des sites étudiés et le contexte paysager qui finalement pourrait être plus fécond que la recherche des astres. Les exemples anglais ne parviennent pas à produire des marqueurs solides pour répondre aux objections de Heggie. Ce dernier, en conclusion, note que pour toute discipline scientifique, un motif statistique ne fait pas démonstration et que les choses ont pu arriver « *par accident* » (« *The observed pattern could easily have arisen by accident* » (page 34). Il s'étonne que des scientifiques aguerris aient pu se laisser entrainer à sur-interpréter des données incertaines. En conclusion il laisse tomber :

> *« The loss of these theories would make megalithic astronomy less exciting to many people, but unless the subject is based on a firm foundation the object of our excitement will prove to have been a delusion. »*
>
> *« L'abandon de ces théories rendrait l'astronomie mégalithique moins excitante pour beaucoup de gens, mais à*

[287] Heggie D.C., Highlights and Problems of Megalithic Astronomy, Journal for the History of Astronomy, Archaeoastronomy Supplement, Vol. 12, p.S17-S37

moins de fonder le sujet sur une base plus solide, l'objet de notre enthousiasme se révélera avoir été une illusion. »

Le coup est sévère. Ray Norris, nous l'avons vu, ré exécute la devenue figure imposée qui consiste en la relecture du corpus de Thom et tire des conclusions moins radicales que Heggie. En Bretagne, Pierre-Roland Giot qui est souvent intervenu avec bienveillance dans le débat publie *Le "temps astral" des mégalithes*[288] en 1989*,* et Jacques Briard, déjà mentionné, publie en 1990 une première version de son inventaire des théories astronomiques qu'il reprendra plus tard dans son petit livre *Les Mégalithes, ésotérisme et réalité*[289]*.* Nouveau pavé dans le jardin de Thom, Briard rappelle que les fouilles, en particulier celles de L'Helgouach en 1983, venant après les analyses de Thom, invalident en partie l'idée que le Grand Menhir aurait été un index dans le paysage puisqu'il n'aurait pas été contemporain des autres sites avec lesquels il devait communiquer visuellement.

Serge Cassen dans un ouvrage collectif consacré à la famille Lukis[290] revient sur les planches éditées dans *Carnac, les premières architectures de pierres*[291], et particulièrement celle consacrée à Crucuno. L'article montre, comparaison à l'appui, que nombre de restaurations ont réorganisé les alignements ou les dispositions des menhirs. Pour satisfaire l'idée d'une ligne plus régulière, certains menhirs ont été déplacés, ce qu'atteste la mise en correspondance de l'état présent avec les relevés de Lukis. Ce constat vient encore plus bousculer les thèses astronomiques sur la qualité du corpus de départ, ce contre quoi mettait déjà en garde Heggie comme nous l'avons vu plus haut. Pour Crucuno, la comparaison est faite avec le plan de 1867 de Lukis, qui généralement opposé à celui de Gaillard ou de Thom, car il est singulièrement différent. Nous verrons toutefois au chapitre suivant, qui c'est peut-être plus compliqué que cela.

Dans un autre article paru en 2011, Serge Cassen, reprend la question des orientations des tombes à couloir du Morbihan, prolongeant ainsi l'inventaire publié par Jean L'helgouach dans sa thèse[292]. Il montre à partir de son corpus une ouverture privilégiée des sépultures à long couloir dans le cadran Sud-Est (page 77), ce qui serait favorable à une orientation vers le solstice d'hiver, et un cadran beaucoup plus large,

[288] Giot P.R., Le "temps astral" des mégalithes, in Les temps de la préhistoire, tome I / Mohen Jean-Pierre, Société Préhistorique Française, p.50-53, 1989
[289] Briard J., Les megalithes esoterisme et réalités, Editions Gisserot, 1997
[290] Cassen S., The First restoration of the megalithic monuments in Morbihan (1883) put to the test by comparison to William Collings Lukis's architectural plans (1844-1872). *In* Heather Sebire, Pursuits and joys: great Victorian antiquarians and intellects: the Lukis Family of Guernsey and their contemporaries, Cambridge Scholars Publishing 2009, pp.145-161
[291] Bailloud et al. *Op.cit*, p.76
[292] L'Helgouach J., Les Sépultures mégalithiques en Armorique : Dolmens à couloir et allées couvertes, CNRS, 1965

avec un diamètre Sud-Ouest / Nord-Est, avec une forte densité dans le secteur Sud-Est pour les sépultures à court et moyen couloir. Dans l'étude présentée à Kiel en 2010[293], Cassen et ses auteurs, le corpus est complété, mais surtout, il est fait plus attention à l'architecture des tombes et à la nature du terrain. Si les orientations peuvent éventuellement abonder l'argument solsticial, les typologies, le modelé du site, les logiques propres de chaque construction viennent modérer cet argument.

> *« Par comparaison avec les classiques tombes à couloir du littoral sud-armoricain, sur lesquelles bien des calculs astronomiques ont été conduits pour rechercher un placement soumis aux lois solsticiales ou équinoxiales, on constate une distinction nette d'avec les tertres et tumulus à cistes ; un fait qui, à notre connaissance, n'a jamais été souligné. »*

Les auteurs indiquent en conclusion de cette partie que les véritables intentions des bâtisseurs « *nous échappent encore* ».

Pour conclure sur les débats ayant lieu autour de la question des alignements des mégalithes sur les astres, il faut noter l'extraordinaire héritage d'Alexander Thom. Si ses théories ont été débattues et combattues, elles fondent un marqueur, ou un index, à partir duquel, ou vers lequel tout le monde regarde. L'outil *Ngram* de Google[294], déjà utilisé, permet d'observer le développement des occurrences, en langue anglaise des publications faisant référence à Thom et les occurrences du terme *archeoactronomy*. Si les résultats ne sont qu'indicatifs, ils permettent néanmoins d'observer le dynamisme des citations après les années 80 et une forme d'essoufflement 10 ans plus tard.

[293] Cassen, S., Pétrequin, P., Boujot, C., Domínguez-Bella, S., Guiavarc'h, M., & Querré, G., Measuring distinction in the megalithic architecture of the Carnac region: from sign to material. third European Megalithic Studies Group Meeting. Kiel University, 2010

[294] https://books.google.com/ngrams

Alexander Thom lègue un corpus de plans et de relevés tout à fait considérable que l'on voit abondamment utilisé en archéologie. Il a intégré le contexte des sites de façon large cherchant à inscrire chaque monument dans son paysage. L'héritage, en revanche semble plus difficile à déterminer. En l'absence de démonstration déterminante concernant les orientations, le travail théorique de Thom risque de n'intéresser que les historiens des sciences. Le Yard mégalithique n'a, à ma connaissance, pas fait l'objet d'investigations poussées si ce n'est pour le contester comme on peut le voir dans l'article de 1979 de Ian 0. Angell[295] Il n'est peut-être que Richard Heath qui, avec son frère, continuent d'entretenir la flamme la recherche de rythmes sacrés visibles aussi bien à l'échelle du site qu'à l'échelle des gravures. Ce sont naturellement des spéculations encore plus difficiles à démontrer que les orientations astronomiques.

La simulation des courses solaires

Nous l'avons vu, les conjectures concernant la disposition des architectures mégalithiques en fonction du soleil, de la lune ou certaines étoiles, reposent essentiellement sur des résolutions d'alignements. Ces alignements sont de plusieurs natures : point d'observation, index, cible, ou point d'observation, portail, comme à Stonehenge et Groseck et cible. Si nous nous concentrons sur la course solaire, d'autres investigations peuvent être réalisées. Un simple Gnomon, c'est-à-dire, un simple piquet planté dans le sol, donnera avec l'ombre portée, des indications précise sur le moment de l'année pour peu que l'on enregistre régulièrement les résultats. De la même façon, un simple trou laissant passer les rayons solaires à une certaine heure permettra de déterminer le moment des

[295] Angell, I.O, Arguments against the Existence of the 'Megalithic Yard', in: Laflin, S. (ed.), Computer Applications in Archaeology 1979. Proceedings of the Annual Conference organised at the Computer Centre, University of Birmingham. Computer Centre, University of Birmingham, Birmingham, pp. 13-20, 1979.

solstices et des équinoxes par la lecture de l'analème. Ces dispositifs sont bien plus simples à mettre en place que ce qui donnera l'année métonique ou les points d'arrêt majeurs de la lune.

Retour à Crucuno

Nous l'avons vu, le site de Crucuno connait une importante diffusion dans la littérature savante et moins savante, comme exemple remarquable, tant pour sa disposition supposée être pensée en fonction de la course solaire que pour la régularité de son tracé, évoquant, pour Thom, le rectangle de Pythagore aux proportions 4 :3, ce qui correspond aux proportions des panneaux d'affichages publicitaire dans la rue, aux anciens écrans de télévision ou encore à l'écran d'Ipad. Ce site n'est pourtant pas unique, on évoque parfois également parfois Kerlestan comme possédant des propriétés proches.

Cette notoriété, du point de vue épistémologique, donne également à voir comment les documents graphiques sont utilisés, renouvelés et interprétés au fur et à mesure du développement des études.

Analyses des plans *existants*

Le site de Crucuno a-t-il été conçu comme l'a restauré Gaillard, ou ce dernier a-t-il régulé le tracé ? Dans le *Archaeologia Cambrensis*[296], il est dit que *« The Cromlech of Crucuno now, after being « très bien restauré et dégagé», consists of twenty-one menhirs arranged in a rectangle, 136 ft. long by 96 ft. broad. » (page 72).* Très bien, signifie-t-il fidèlement ? Outre les photos publiées par Gaillard, il « existe un plan établi par Muray Vicars en 1834, un relevé coté en 1867, visible au Musée de Guernesey, par Dryden et Lukis, puis un autre relevé, assez différent que l'on trouve daté de 1870 et parut avec une petite description dans *le Wiltshire Archeological and Natural History*[297] *n°13,* datant de 1872, comme déjà mentionné. Le plan suivant date de 1897, c'est celui de Gaillard que l'on trouve dans son Astronomie Préhistorique. Il faut attendre 1973 pour voir un nouveau relevé, c'est cela de Thom établi en 1973. En 2014, j'ai fait un relevé 3D qui sera présenté ensuite.

Pour établir une première comparaison, les plans historiques ont été recotés afin de vérifier les proportions. Pour recoter les plans, le dessin est importé dans un logiciel de CAO, dans le cas présent le travail a été fait avec Sketchup[298], une trame de base a été redessinée

[296] The Forty-Fourth Annual Meeting was Held In Brittany during the Fortnight Commencing August 12th, 1889, excursions being made from Auray And Morlaix. President : M. Le Dr. Db Closmadeuc, Président De La Société Polymathique Du Morbihan, in Archaeologia Cambrensis, Cambrian Archaeological Association, 1890, pp.43-80

[297] Lukis, W. C., On the stone avenues of Carnac, *Op.Cit*.

[298] http://www.sketchup.com/fr

à partir des cotes indiquées sur le plan, puis le plan a été remis à l'échelle et placé en fonction de la trame.

Voici le plan de Lukis de 1867 :

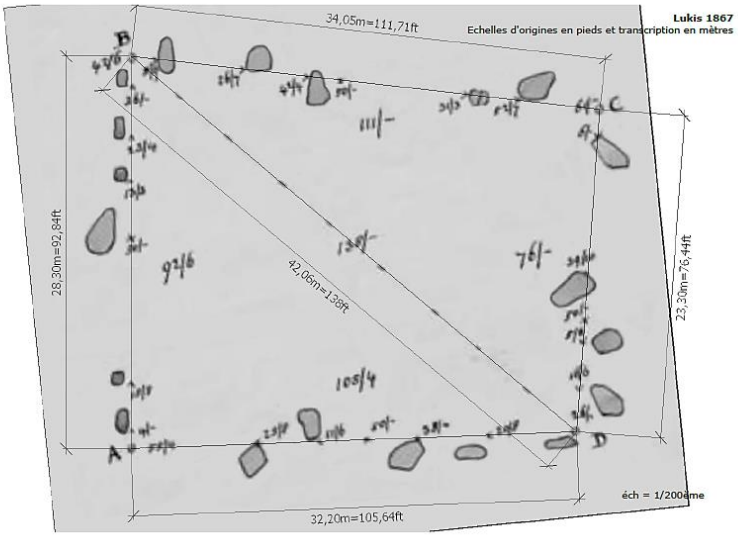


Figure 27- Crucuno Lukis1867

Ce plan montre les menhirs dressés et couchés, les cotes correspondent en proportion.

Le plan suivant de 1870 possède plusieurs problèmes. La cotation montre une déformation du dessin. Les cotes reprisent ne correspondent pas aux valeurs indiquées.

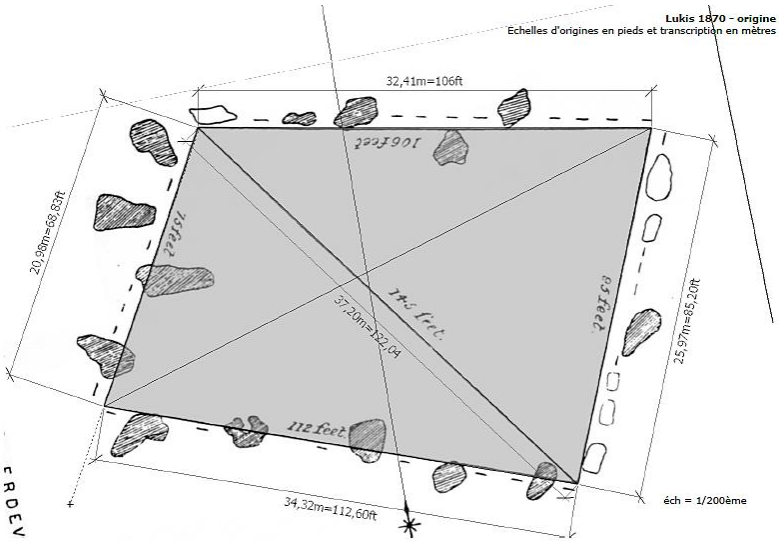


Figure 28 - Crucuno Lukis 1870

Si l'on redresse le dessin pour faire correspondre les cotes écrites avec le tracé, on obtient cette forme.

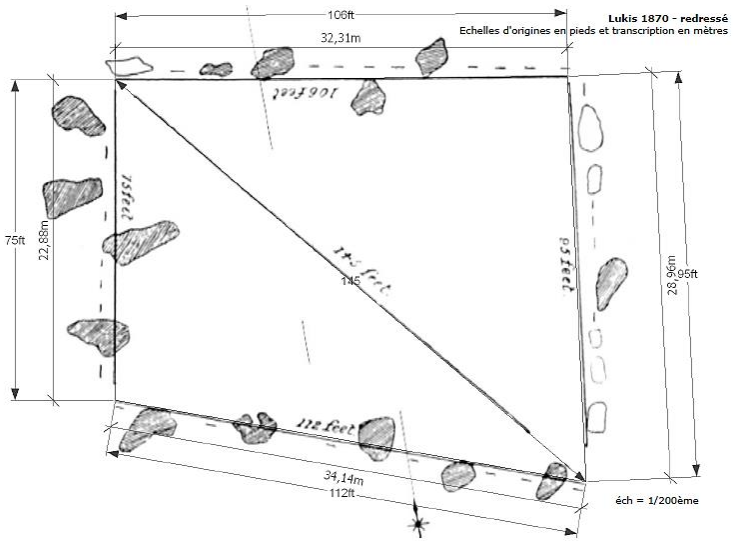


Figure 29 - Crucuno Lukis 1870 redressé

Qui semble beaucoup plus régulière. Il y a en revanche des menhirs qui manquent ou qui semblent très déplacés. Nous pouvons soupçonner à ce stade que le plan est inversé.

Le plan de Gaillard de 1897 : les cotes vérifiées sont justes.

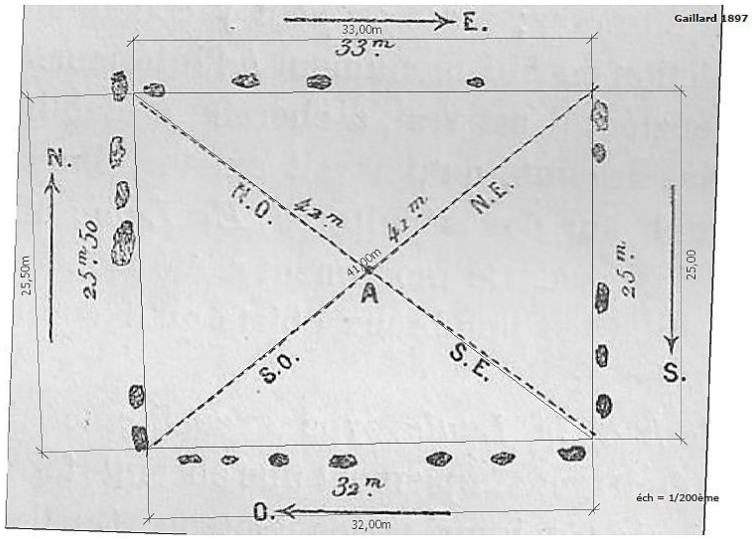


Figure 30 - Crucuno Gaillard 1897

Le plan de Thom de 1973, les cotes sont bien entendu justes.

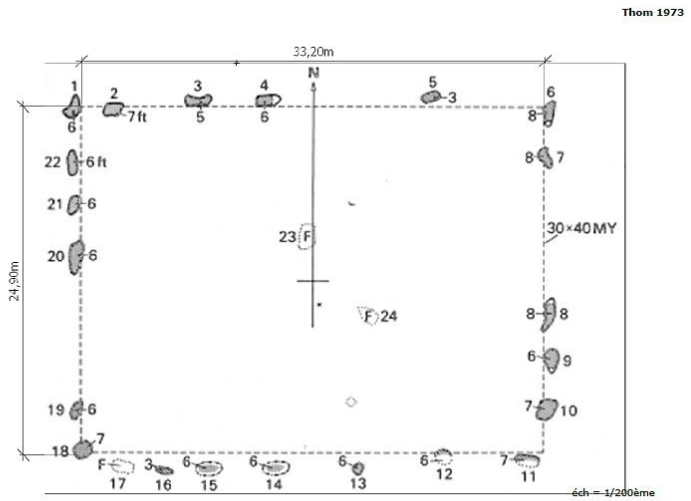


Figure 31 - Crucuno Thom 1973

Le relevé 3D de 2014 donne ceci :

Figure 32 - Crucuno, nuage de points

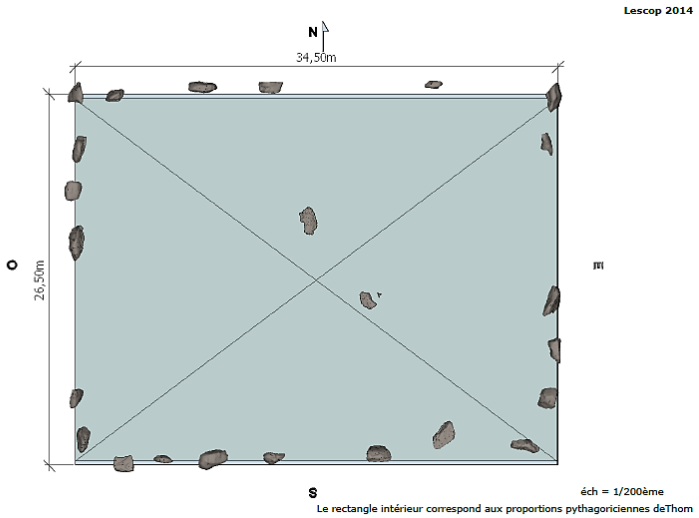


Figure 33 - Crucuno Lescop 2014

Le récapitulatif :

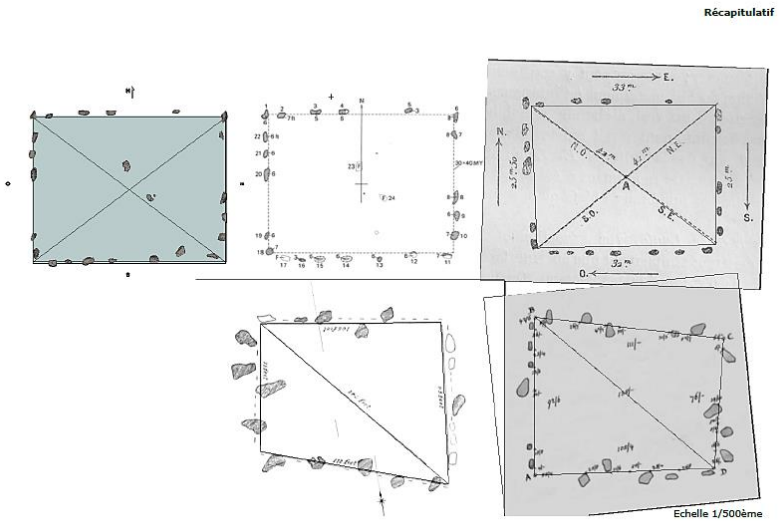


Figure 34 - Crucuno, comparaison des plans d'origine

De fait, chacun des arpenteurs a tracé sur son plan des informations sensées aider à la lecture, dans un premier temps, pour consolider les mesures, c'est le rôle des diagonales, puis, pour Thom, pour affirmer les proportions 4 :3 et les distances en Yard Mégalithique exactes. Ce sont autant d'éléments qui conditionnent la lecture. Si l'on retire ces informations et que l'on dessine les menhirs sans surcharges, on obtient des tracés bien moins différents :

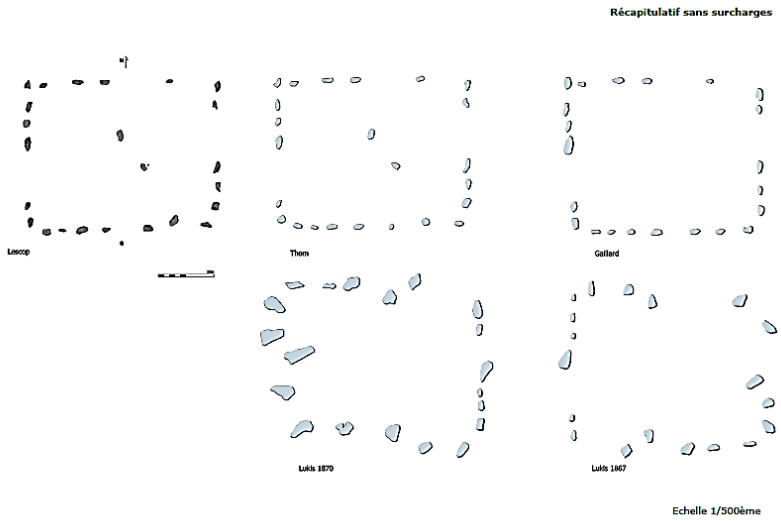


Figure 35 - Crucuno, comparaison des plans sans surcharges

Le plan de 1870 pourrait avoir été inversé. Pour évaluer cette hypothèse, nous pouvons superposer ce plan avec le relevé 3D.

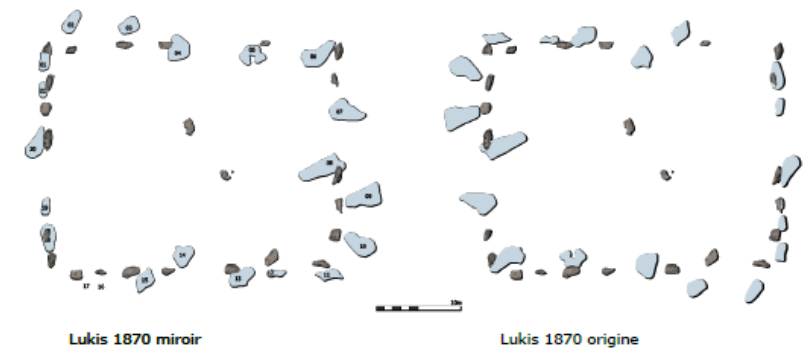


Figure 36 - Crucuno, hypothèse d'inversion du plan de 1870

Avec un relevé 3D, nous avons les élévations, il est donc possible de comparer les pierres couchées et leurs élévations actuelles.

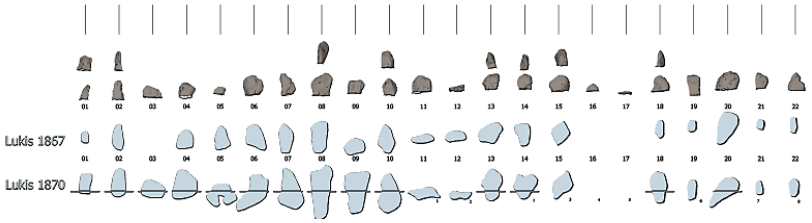


Figure 37 - Crucuno, comparaison des élévations

Nous constatons en effet, que le modèle inversé fonctionne mieux avec une meilleure correspondance des silhouettes des pierres couchées et des élévations du relevé 3D.

Le relevé 2014

Le relevé 3D a été effectué en décembre 2014, le détail de la procédure figure dans le cahier technique. Pour obtenir une 3D rapide et économique, chaque menhir a été relevé en photogrammétrie, ainsi que l'ensemble du site. Le calage des orientations, de la géoposition et des proportions a été assuré par un relevé laser complémentaire ne comprenant qu'une seule station placée au centre du quadrilatère. Cette station a enregistré toutes les faces des menhirs, ce qui a été largement suffisant pour ensuite recaler l'ensemble des géométries. Le Nord a été assuré au GPS pour obtenir le Nord vrai et confirmé par l'enregistrement de l'ombre portée au midi solaire.

Figure 38 - Crucuno, relevé laser et vérification du nord géographique

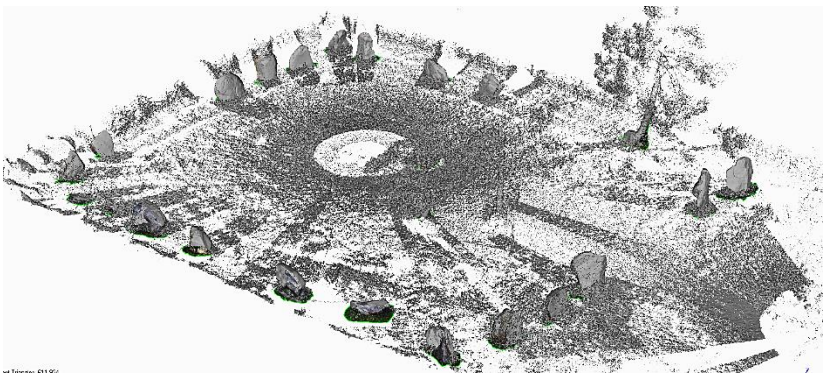


Figure 39 - Crucuno, nuage de points

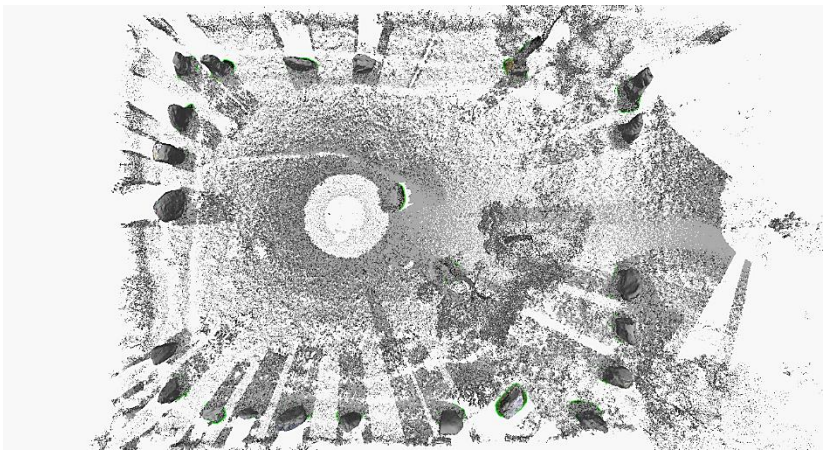


Figure 40 - Crucuno, nuage de points - vue en plan

Figure 41 - Crucuno, photogrammétrie – étape nuage de points

Figure 42 - Crucuno, photogrammétrie – étape nuage de points

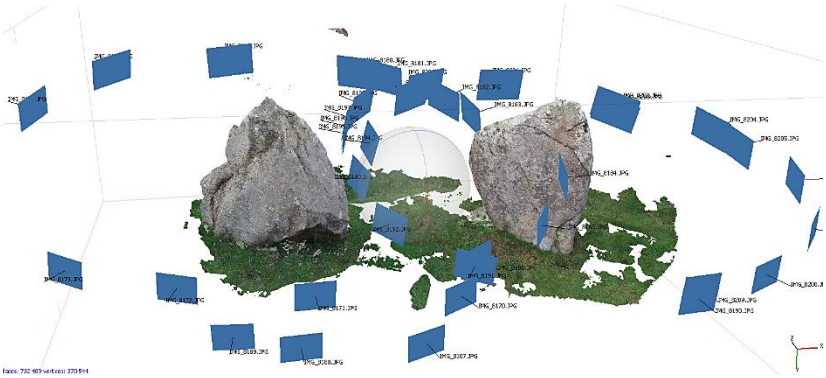


Figure 43 - Crucuno, photogrammétrie, maillage et textures

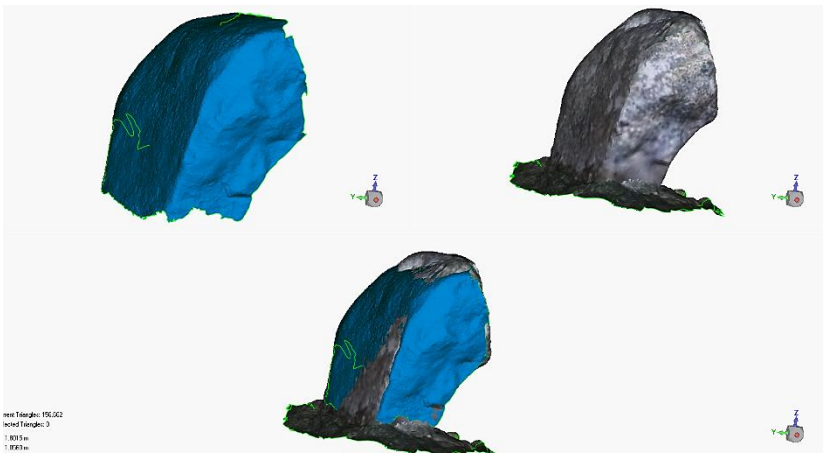


Figure 44 - Crucuno, calage maillage photogrammétrie et maillage laser

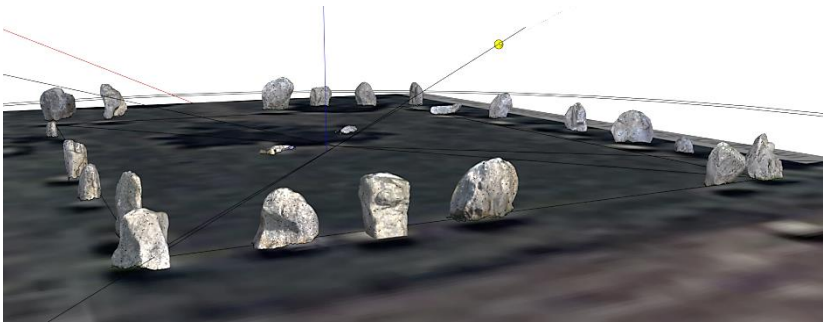


Figure 45 - Crucuno, modèle 3D maillé et texturé avec le sol.

La transcription 3D du plan de Lukis.

Pour réaliser la transcription 3D du plan de Lukis, le relevé de 1870 a été mis à l'échelle. Les menhirs couchés ont été isolés et mis en correspondance avec celui supposé être le même dans le relevé 2014. Le menhir pouvant être couché sur n'importe quelle face, il a été nécessaire de tester toutes les faces dans la géométrie 3D pour que la silhouette issue du plan corresponde.

Une fois cela fait, un menhir a été sculpté à partir des deux bases : la silhouette du plan de 1870 et le volume du relevé 2014. La silhouette 1870 a servi pour déterminer la partie invisible en 2014.

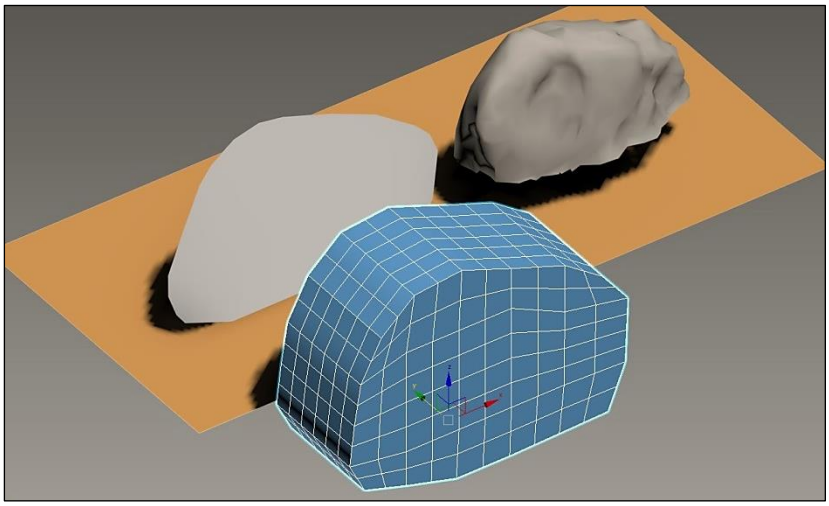


Figure 46 - Crucuno, étape préparatoire, la silhouette en blanc cassé, le menhir 3D relevé en 2014 et la géométrie qui va être sculptée pour correspondre à l'un et à l'autre.

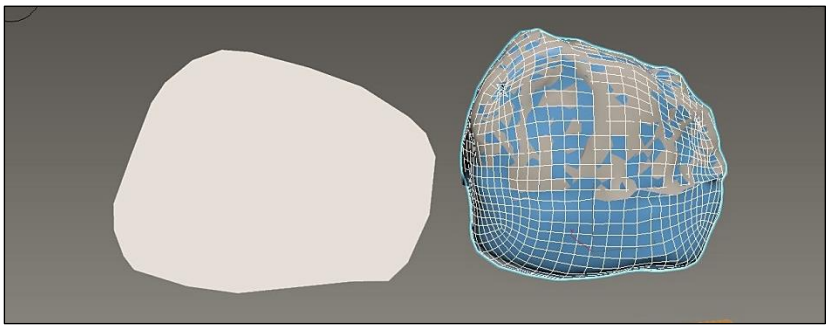


Figure 47 - Crucuno, affinage de la sculpture et correspondance.

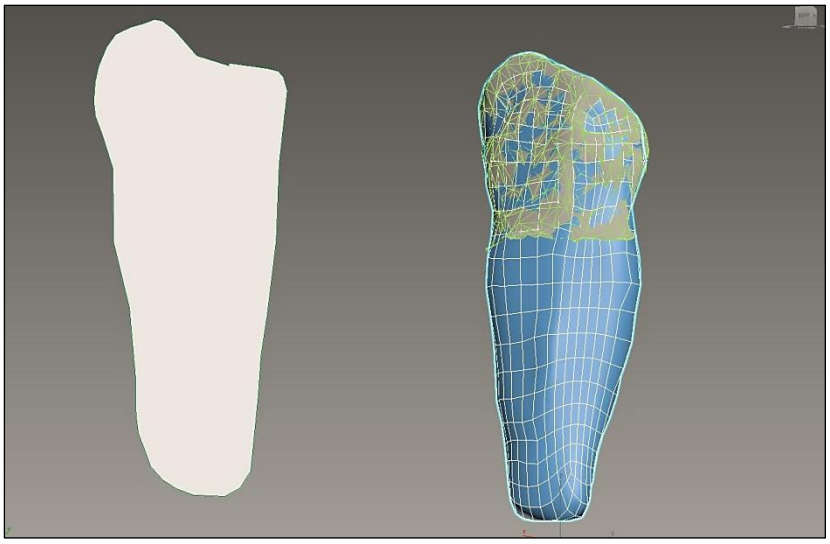


Figure 48 - Crucuno, extrapolation d'une silhouette particulièrement longue, laissant penser à un très grand menhir.

L'assemblage des deux géométries.

Figure 49 - Crucuno, extrapolation et modélisation du plan Lukis 1870 et superposition avec le relevé 2014

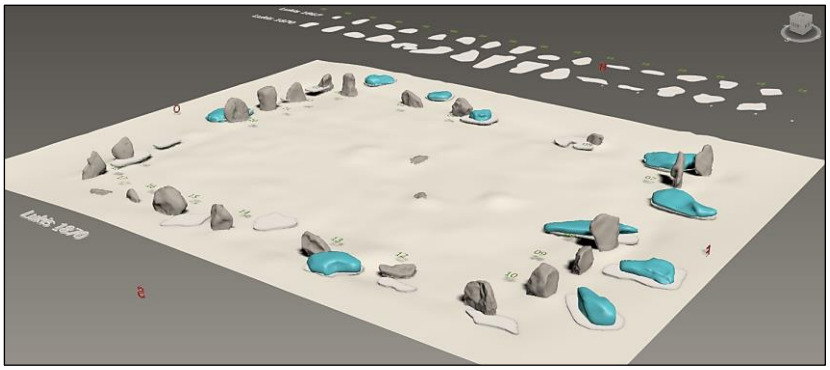


Figure 50 - Crucuno, extrapolation et modélisation du plan Lukis 1870 et superposition avec le relevé 2014, en bleu les menhirs couchés avant restauration.

Bien entendu, seul le verdict des fouilles permet de valider et la formes des menhirs et leur emplacement sur le terrain. Cette

procédure peut néanmoins être exploitée ou servir de base pour des situations où les emplacements sont moins sujet à caution.

La simulation solaire.

La simulation solaire est préparée telle qu'indiquée dans le cahier technique. Dans un premier temps, il a été nécessaire de paramétrer les outils pour être certain de pouvoir obtenir des résultats les plus justes possibles. Les contraintes se trouvent sur plusieurs niveaux :

1. Posséder un modèle 3D du site qui soit précis et bien orienté
2. Posséder un modèle 3D de l'environnement immédiat
3. Posséder les données de la course solaire à la date donnée
4. Exploiter les données solaires pour les opérer avec le modèle de site
5. Représenter graphiquement les résultats.

Pour être complet, il faudrait les données de température, mais en même, c'est entrer dans un niveau de précision qui ne signifie plus rien. Au départ, c'est la date de -3700 avant jc qui était utilisée pour les calculs. La raison en est qu'elle avait fait l'objet d'un calcul préliminaire de la part de l'Institut de Mécanique céleste et de calcul des éphémérides (IMCCE[299]) servant ainsi de référence. Car en fait, la simulation pour des périodes aussi reculées est plutôt complexe, il n'existe aucun outil permettant de réaliser l'ensemble de la procédure.

Les outils 3D, disponibles dans les applications pour architectes ou pour l'image de synthèse, ne remontent au mieux que 400 ans en arrière pour 3dmax (année 1583). Les autres ne dépassent que rarement une centaine d'années. Il existe des applications pour le calcul astronomique qui remontent plus en arrière, par exemple Solarium, permet d'atteindre la date voulue. Le problème est qu'on n'obtient qu'une image alors qu'il nous faut soit des valeurs, soit de la 3D. Le site de IMCCE, permet d'obtenir des valeurs, mais pas pour des dates aussi reculées sans demander un service particulier. La solution a été trouvée en identifiant le logiciel Almsun[300] de l'astronome polonais Rafał Tomasik qui permet de réaliser toutes les opérations voulues grâce à l'exploitation des bases de406, de422 et de431 de la NASA (voir cahier technique). Le logiciel produit des tableaux de valeurs qu'il faut ensuite pouvoir convertir en géométrie 3D. Une fois cela fait, la géométrie solaire 3D, peut être associée à la géométrie 3D du site et même combinées aux images de Solarium, à la fois comme vérification et comme animation de l'arrière-plan ou repérage des étoiles en fonction des azimuts.

[299] http://www.imcce.fr/langues/fr/presentation/
[300] http://almsun.webd.pl/en/index.html

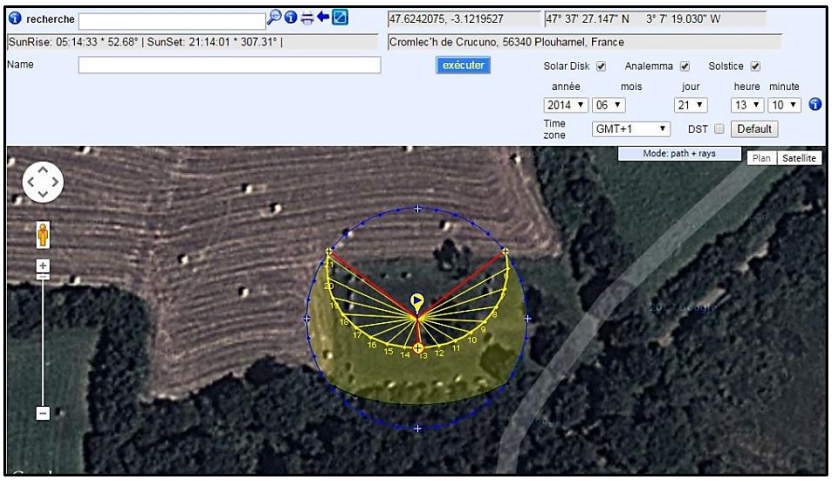


Figure 51 - Crucuno, vérification du solstice d'hiver pour 2014 avec Sunearthtools.

Une fois calculé toutes les positions dans Almsun, on obtient des tableaux de valeurs qui donnent les coordonnées, toutes les heures en azimut et en élévation, ce, en degré décimal. Nous pourrions avoir en degré, minutes, secondes, mais le post-traitement est plus facile en degré décimal.

Les tableaux sont ensuite importés comme données dans *Grasshopper* qui est un module paramétrique du logiciel *Rhinoceros*. Les valeurs en degrés sont traduites en radiant et l'on peut donc déterminer chaque point de la course solaire grâce à l'intersection de l'arc des azimuts et celui des élévations.

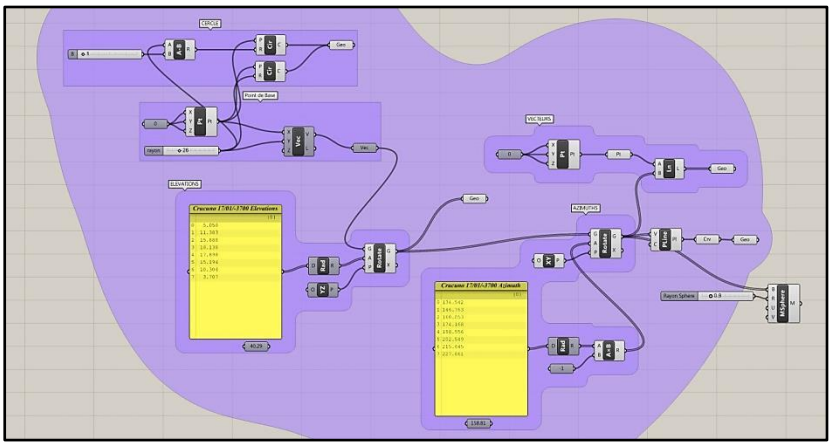


Figure 52 - Grasshopper, câblage de la simulation de la course solaire

Les points sont ensuite raccordés pour créer des arcs plus faciles à lire, et à chaque point, on fait correspondre une sphère pour figurer le soleil. L'ensemble est ensuite exporté dans un logiciel comme Sketchup ou 3Dsmax afin d'ajouter le modèle 3D du terrain. Une fois assemblé, l'on obtient la course solaire, au jour voulu dans l'environnement choisis.

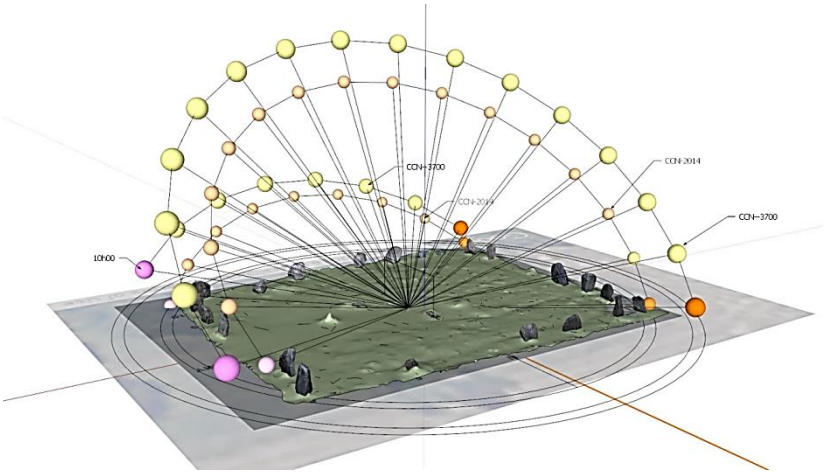


Figure 53 - Crucuno, courses solaires aux solstices d'hiver et d'été pour 2014 et -3700 avec un pas de temps d'une heure.

La méthode est très souple et relativement rapide, changer la date, le pas de calcul, ne présente pas de contraintes particulières. De nouvelles données peuvent être facilement incorporées comme la température exacte. Les difficultés se jouent maintenant plus dans la traduction graphique des résultats. Jusqu'à présent, les seules images que nous pouvons voir dans le corpus littéraire, ce sont des schémas en 2 dimensions, soit en élévation, sont en plan. La 3D traduit de façon plus claire, l'angle d'incidence, mais la lecture pour un non expert de la 3D peut être malaisée.

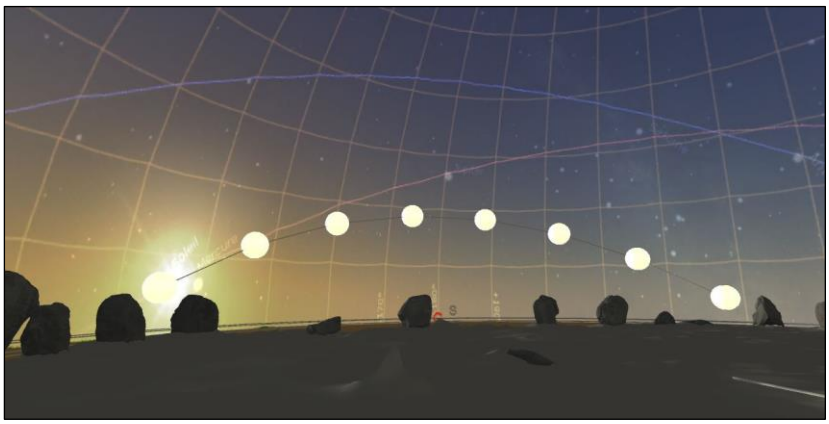


Figure 54 - Crucuno, course solaire pendant le solstice d'hiver + position des étoiles

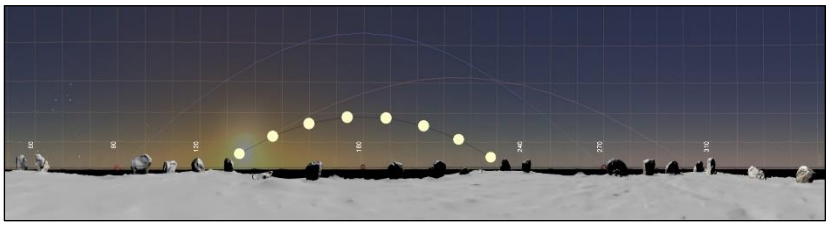


Figure 55 - Crucuno, développement à 360° de la scène avec course solaire.

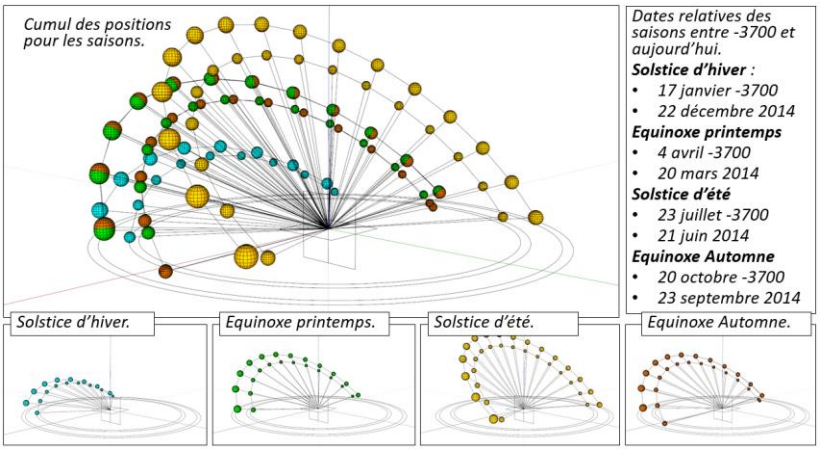
L'évaluation d'autres sites

La méthode mise en place pour réaliser l'évaluation des courses solaires peut désormais être appliquée très rapidement pour peu que

l'on possède ou réalise la maquette 3D. Les trois exemples suivants sont réputés pour être alignés au solstice d'hiver.

Gavrinis

Le site de Gavrinis ayant fait l'objet d'un relevé laser précis, tel que décrit plus haut, la simulation de la course solaire a pu être testée. La réputation du site sur l'alignement au solstice



Scènes mégalithiques

Les hypothèses astronomiques sont souvent évoquées, par les archéologues, soit avec condescendance, soit avec une prudence mesurée du fait de l'attrait que ces thèmes dans les milieux ésotériques. Pour ce qui concerne le néolithique, nous avons vu qu'il existe dans les études proposées une mise en commun du corpus britannique et du corpus breton. Cette parenté, due principalement aux auteurs d'outre-manche pour ce qui concerne ce sujet, permet de tenter la construction d'une « théorie » générale avec un cadre opérationnel commun. Comme l'avait déjà remarqué Baudouin, le cadran d'ouverture des architectures mégalithiques varie suivant les régions et hors de Bretagne, les orientations peuvent être tout à fait autres. De même, Burl le note que le cadran azimutale varie de Sud/Sud-Ouest pour l'Ecosse à Sud/Ouest pour le sud de l'Irlande.

Si l'on prend d'autres modèles de culture, on remarque que la maîtrise de l'astronomie ou d'une proto-astronomie s'accompagne de représentation des astres, principalement du soleil et de la lune. C'est ce que l'on a bien voulu reconnaitre dans le disque de Nebra. On serait donc en attente de tels indices dans le monde mégalithique, pour faire le lien entre une disposition relatant les courses solaires et/ou lunaires et leur transposition graphique. Par exemple à Knowth en Irlande une série de figurations en croissants et en cercles est interprété comme un calendrier lunaire[301]. Guillaume Robin dans sa

[301] Brennan M., The Stars and the Stones: Ancient Art and Astronomy in Ireland, Thames & Hudson, 1984

thèse[302] fait un inventaire comparé des gravures pariétales autour de la mer d'Irlande et indique un corpus de signes ayant été traduits comme des figurations du soleil, couchant ou au zénith ou de la lune à différentes phases (page 58). Toutefois, en l'absence d'interprétation stabilisée, la nomenclature que l'auteur a adoptée reste une description géométrique : arc radié ou semi circulaire radié.

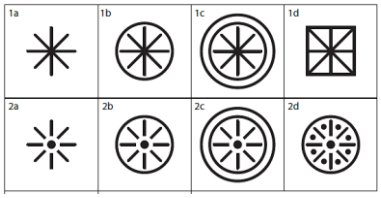


Figure 56 - G.Robin, typologie des signes circulaires radiés (extrait)

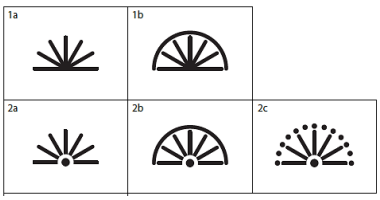


Figure 57 - G.Robin typologie des signes semi-circulaires radiés (extrait)

Robin conclu ainsi son paragraphe consacré au sujet :

> *« Quand bien même elle paraît séduisante, cette interprétation des gravures et des monuments est très difficile à soutenir. De plus, comme l'interprétation anthropomorphe, l'interprétation astronomique n'explique qu'une partie seulement des gravures et le modèle s'impose difficilement dans la plupart des compositions autour de la Mer d'Irlande. Il est possible que les astres ou le thème du cycle en général aient été présents dans la cosmologie des néolithiques mais l'hypothèse d'une science ou d'un culte astronomique demeure spéculative. Il semble en effet plus probable que la nature de l'art et de l'architecture soit davantage symbolique que « scientifique » » (page 59)*

En Bretagne, il est difficile de trouver un corpus de signes équivalents. Dans son article *Le Mané-Lud en mouvement*[303], Serge Cassen montre que l'univers des signes gravés renvoie d'avantage à l'univers de la mer, avec les figures remarquables de bateaux et de baleines. Les autres signes distinctifs fortement présents comme à Gavrinis par exemple, sont les haches, les crosses, les oiseaux, les animaux à

[302] Robin G., L'art pariétal des tombes à couloir néolithiques autour de la Mer d'Irlande, Iconographie et organisation spatiale, Thèse de doctorat, Université de Nantes, 2008

[303] Cassen S., Le Mané Lud en mouvement. Déroulé de signes dans un ouvrage néolithique de pierres dressées à Locmariaquer (Morbihan), Préhistoires Méditerranéennes [En ligne], 2 | 2011, mis en ligne le 26 mars 2012, http://pm.revues.org/582

cornes et les serpents. Les arcs radiés n'ont pour l'instant pas de dénotation figée. En même temps, il faut se méfier de la recherche de transcription littérale, Cassen montre ainsi dans *Le Mané Lud en images*[304], que comme dans beaucoup de civilisations, le bateau est associé à la lune dans la symbolique du voyage mortuaire (page 231).

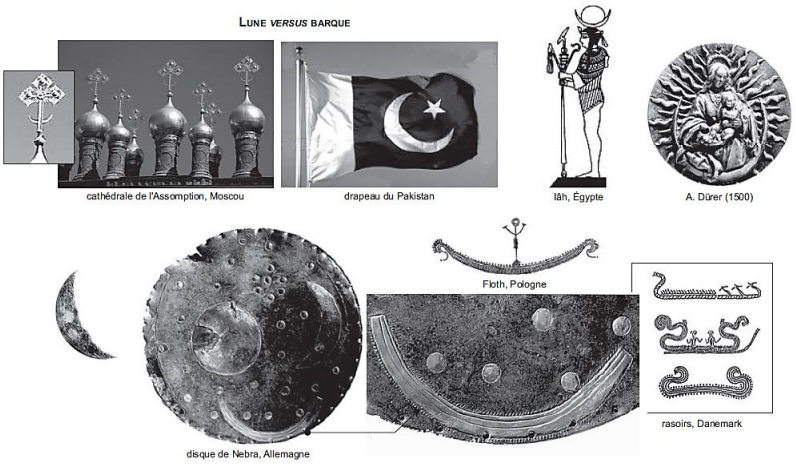


Figure 58 - S.Cassen, Représentations de la lune et de l'embarcation

Concernant la nomenclature, Félix Gaillard signale dans son relevé de Grah-Niol[305] que plusieurs pierres portent le nom de soleil :

> *« Le nom du monument présente un autre intérêt relativement caractérisé, étant donnés ceux.de monuments voisins. Le Grah' Niol doit se traduire par l'éminence ou la butte du soleil ; or, dans les environs, on retrouve à Sarzeau, à la pointe Saint-Jacques, un haut menhir isolé, c'est le Men Niol, la pierre du soleil ; à l'ile aux Moines, parmi les dolmens explorés et décrits en 1877 à la Société polymathique par notre honoré collègue, M. le Dr Mauricet, se trouvent le dolmen du Niol et les deux dolmens de Pen Niol, la pointe du soleil. » (page 673)*

La toponymie reste en réalité peu explicite. Niol, reste en Bretagne assez rare, le soleil se dit *Heol* en breton, *houl* en vieux breton et l'on trouve dans le Catholicon, la forme *heaul*. Le Catholicon premier dictionnaire trilingue breton, français, latin, rédigé par Jehan Lagadeuc en 1464 et imprimé en 1499 à Tréguier[306]. Grah-Niol peut être *grah en heol*, ou colline au soleil, mais une exploration plus détaillée et experte est nécessaire.

[304] Cassen S., Le Mané Lud en images, Interprétations de signes gravés sur les parois de la tombe à couloir néolithique de Locmariaquer (Morbihan), Gallia Préhistoire CNRS éditions, 49, 2007, p. 197-258
[305] Gaillard F. Le dolmen de Grah' Niol, à Arzon (Morbihan). In: Bulletins de la Société d'anthropologie de Paris, IV° Série, tome 6, 1895. pp. 672-683
[306] http://tijohan.free.fr/catholicon/telechargement/catholicon.pdf

Temps et espaces

Ce dernier exemple, celui de la lune et du bateau, plaide pour une approche qui se développe en parallèle de *l'archéoastronoie* et qui l'est *l'ethnoastronomie* et nous nous souvenons que l'article de Baity, commenté plus haut, plaidait également cette cause. En l'absence de textes décrivant l'intentionnalité des bâtisseurs, nous ne pouvons que conjecturer sur chacun des objets, constructions, gravures quant à leur signification et leur usage. Ce n'est que par comparaison et lecture des grandes tendances inter civilisationnelles que les chercheurs spécialisés peuvent construire des hypothèses solides. Plus qu'une démarche pluridisciplinaire, c'est une démarche qui sait construire une cohérence dans une multitude de données. La complexité relevée par Pierre Erny dans un article titré *Comment situer l'ethnoastronomie*[307] est que dans un premier temps :

> *« 1. L'astronome n'a rigoureusement aucun besoin de l'ethnologue pour le développement de sa science (alors qu'il a besoin du mathématicien, du physicien, du chimiste, etc...).*
>
> *2. L'ethnologue ne peut absolument pas se passer de données astronomiques, non certes au plan de la théorie, mais dans la pratique du métier ». (page 5)*

Cela étant dit, il faut pouvoir, malgré tout, détecter dans chaque culture et peut-être par approche comparative dans la culture mégalithique, la façon dont chaque peuple dialogue avec son environnement. L'observation des astres peut être spécifique et faire l'objet d'un culte particulier. L'observation et l'interprétation peuvent être dévolu à un seul personnage ou faire partie des compétences partagées de l'ensemble de la population, cette observation peut être quotidienne et banale, ou faire l'objet d'un enregistrement cherchant à anticiper les évènements à venir. Enfin, il n'est pas obligatoire que les astres soient isolés d'un corpus plus large de phénomènes climatiques comme les vents et leurs directions, la fréquence des pluies, la température ambiante et la typologie des végétaux. Nous pouvons donc entrevoir soit une approche spécifique, soit une approche corrélée avec tout le gradient intermédiaire.

Le propos archéoastronomique défend inconsciemment, l'idée d'un temps continu, basé sur des cycles que les formes géométriques des sites, comme les cercles de pierres, illustrent. Or, la notion de temps vécu peut être très différente selon les cultures. Si les indiens Hopis, comme les autres peuples de la région, possèdent des connaissances

[307] Erny P., titré Comment situer l'ethnoastronomie, European Meeting On Archeoastronomy & Ethnoastronomy, Observatoire Astronomique de Strasbourg, Novembre 1992, pp.1-16

développées dans l'observation des astres[308], Edward T. Hall[309] n'en montre pas moins que c'est une culture basée sur un découpage discret du temps avec des intervalles à durée variable. Et c'est peut-être cette notion temporelle qui serait la plus féconde à introduire comme méthodologie d'observation. Nous avons en effet vu, dans la première partie de ce mémoire, que la prise en compte de la dimension temporelle nous a permis de saisir une partie de la complexité de la perception et de sa retranscription sous la forme de récits. André Leroi-Gourhan dans *Le geste et la parole*[310], rappelle que le temps d'avant celui dans lequel nous sommes actuellement, était un temps « *élastique* », en triple accord « *avec la nature, l'individu et la société* ». On peut imaginer que le solstice indiquera le basculement de l'hiver, mais on peut tout aussi bien imaginer qu'un faisceau d'indices participe à l'établissement de cette date, d'autant que, il faut le noter, nos climats ne rendent pas tous les jours favorable, une observation fine. La date de Pasques si elle a été, dans son principe, établie au Concile de Nicée 325 de notre ère, n'a-t-elle pas fallut attendre encore plus de mille ans pour stabiliser la date ?

Le temps se heurte également à la notion du faire. L'érection des menhirs, leur préparation, la gravure, nous semblent être hors du temps humain. Le cerveau peine à percevoir les grands nombres, l'incommensurable. Déplacer une pierre de plusieurs tonnes d'un point à un autre semble relever d'un effort colossal, d'où, à la base, des difficultés d'appréhension du sujet. Or, c'est juste une question de ratio de temps. Si l'on pense qu'une goutte qui tombe de son robinet est une toute petite chose, c'est 1/20 de millilitre, mais à la fin de la journée cela représente plus de 4,3 litres d'eau. Nous avions vu dans la première partie que la notion de *chronotopie* permet de saisir l'espace et le temps en un mouvement commun. En assimilant les architectures mégalithiques à des indicateurs temporels, on s'approche de l'idée d'un temps spatialisé, d'une lecture du temps par l'espace. Paulo Eduardo Arantes tourne cette idée, dans son livre *L'ordre du Temps, Essai sur le problème du temps chez Hegel*[311], de façon féconde et inspirante :

> *« Etant donné tout cela, quoi d'étonnant alors dans le fait que Hegel ait pu concevoir le concept du temps comme le résultat du développement du concept de l'espace? Entre-temps il convient de signaler qu'une sorte de mutation est en train de se produire dans le régime du concept de temps et par voie de conséquence dans celui d'espace; c'est du moins ce qui transparaît dans certaines formules de Novalis et du premier*

[308] Kelley, exploring ancient skies*, Op.cit*, p.411
[309] Hall E.T., Le langage silencieux, Seuil, 1984
[310] Leroi-Gourhan A., le geeste et la parole, Op.cit. p.146
[311] Arantes P.E., L'ordre du Temps, Essai sur le problème du temps chez Hegel, (thèse de doctorat présentée à l'Université de Paris X 1973), L'Harmattan, 2000

> *Schelling et qui baignent dans une nouvelle atmosphère spéculative. On pourrait à ce propos relever quelques propositions dans l'Encyclopédie de Novalis: "le temps est la puissance de l'espace" ; "l'espace devient temps, comme le corps devient âme" ; "l'espace comme précipité du temps - comme conséquence nécessaire du temps" ; "l'espace est du temps solide - le temps est de l'espace fluide"; et dans le System de Schelling où nous est-il dit que la substance n'est rien d'autre que le temps lui-même "fixé", et que nous pouvons définir l'espace comme "le temps figé", le temps comme "l'espace fluent". »(page 18)*

Dans *Exercice de Stèle*[312], Serge Cassen lit la figure générale des alignements de menhirs comme des figures rythmiques, comme celle de la répétition. Cette répétition qui fait aussi société, comme l'indique Leroi-Gourhan, par la mise en harmonie des gestes, des récurrences, du vivre ensemble. Dans le paysage, la répétition du même objet, le menhir, crée un écho visuel infini et structure un plein avec du vide. Dès lors, précise Cassen, tout est dans la position du corps. En suivant les menhirs, on pense voir des lignes qui désignent les étoiles[313], mais en se tournant à 90°, les lignes séparent deux territoires tout en offrant des points de passage. On peut voir une situation similaire avec le fantôme du mur de Berlin par exemple. J'avais noté dans un article concernant le point de passage Checkpoint Charlie[314] que le mur, absent peut décrire deux dimensions : en le longeant, c'est la dimension spatiale, on longe la trace pour en éprouver la longueur, les méandres, ce trait qui ne reconnait pas la structure de la ville et qui passe à travers les maisons, passe d'un trottoir à l'autre, se moque de l'espace privé ou de l'espace public. Si on franchit ce qui a été le mur, perpendiculairement donc, c'est un saut temporel, c'est passer d'une époque à l'autre, de celle où le passage était interdit à celle où il est autorisé, facile. La forme absente, est telle que « *l'on peut s'empêcher de la voir* », rappelle Jean-Michel Morel, dans la préface du livre de Gaetano Kanizsa[315], et ce, « *même s'ils (les sujets) peuvent vérifier, matériellement, directement, que leur perception les trompe* ».

Le plein dans la répétition ou dans le vis-à-vis est aussi ce qui annonce la suite, ce qui permet au cerveau le lire temporellement ce que l'espace lui propose. C'est ce que décrit dans *Sur l'image qui manque*

---

[312] Cassen S., Exercice de Stèle, *Op.cit.*

[313] Maucherat A., Les Alignements du Menec Carnac, Morbihan, Interprétation et Datation, Actilia Multimédia, 2008

[314] Lescop L., « À la recherche de la frontière effacée : le mur de Berlin. Le palimpseste CheckpointCharlie », in « Frontières oubliées, frontières retrouvées », Michel Catala, Dominique Le Page et Jean-Claude Meuret, PUR, 2011, pp.365-378

[315] Kanizsa G.,La grammaire du voir, Diderot multimédia, 1999

à nos jours[316], Pascal Quignard, la fresque montre l'instant d'avant et c'est l'instant d'après que nous comprenons, que nous nous illustrons mentalement. Pour la civilisation occidentale, l'entredeux est un vide qu'il faut réussir à combler d'espace et de temps. En langue japonaise, c'est le *ma*, 間 qui signifie intervalle. Toutefois cet intervalle ne décrit ni un vide ou une séparation entre deux entités, mais le lien qui unit ces deux entités. Contrairement aux apparences, c'est un concept relativement récent[317] inspiré autant de la culture japonaise que de la philosophie phénoménologique allemande et particulièrement Heidegger. Le *Ma* décrit un ensemble spatio-temporel puisqu'il dit la distance, l'espace et la durée. Le Ma est la durée juste qui permet de franchir un espace. Le *Ma* s'écrit avec un kanji qui montre un soleil entre deux portes. Le soleil se présente sous la forme d'un rectangle vertical séparé en son milieu. Dans sa forme cursive première, l'évocation du soleil était plus explicite puisqu'il s'agissait d'un cercle avec un point en son centre : ⊙

S'il n'existe pas de deuxième objet pour créer un intervalle, peut-être pouvons-nous proposer le concept d'*aura* d'un objet dressé remarquable. Pensons à une tour haute et isolée dans une ville, comme la Tour Bretagne à Nantes ou la tour Montparnasse à Paris. Un nantais ou un parisien dira que cet objet, très haut, dominant est visible en tous lieux de la ville. Or, ce n'est pas vrai, Marc Morin avait montré par exemple dans son diplôme d'architecte[318] que la visibilité de la Tour de Bretagne est très intermittente en ville et finalement que rarement visible. Toutefois, son *aura*, le fait de savoir qu'elle est émergente, inscrit sa présence continue dans notre esprit. Pour Alexander Thom[319] le Grand Menhir brisé a pu jouer ce rôle. Il était certes visible de tous points, mais surtout, par sa présence, aurait organisé l'espace. Nous l'avons évoqué, cette hypothèse se heurte à la datation des points en vis-à-vis, mais l'idée d'avoir un objet totem tel que celui-ci mérite attention. Peut-on dès lors évaluer le rayon de cette aura, jusqu'à quelle distance elle agit ? Dans un premier temps, il est possible d'évoquer la distance maximale au-delà de laquelle il n'est plus possible de voir l'objet. Le calcul n'est pas trop compliqué, puisque la rotondité de la planète en fait une distance finie. Il fait intervenir le rayon de la Terre, la hauteur de l'observateur et la hauteur de l'objet, pour obtenir la distance qui les sépare.

[316] Quignard P., Sur l'image qui manque à nos jours, Arléa Editions, 2014
[317] Lucken Michael, « Les limites du ma » Retour à l'émergence d'un concept « japonais », Nouvelle revue d'esthétique, 2014/1 n°13, p. 45-67
[318] Morin M. Lecture de la Tour Bretagne; développement d'un outil de lecture de la ville: simulation de l'accessibilité visuelle. TPFE - Ecole Architecture de Nantes, 1995
[319] Thom A.&Thom A.S., Megalithic Remains in Britain and Brittany, OUP Oxford, 1978

Soit *a* la distance, à obtenir, *h* la hauteur du sujet et R le rayon de la terre, on obtient par simple Pythagore :

$$a^2=2Rh+h^2$$

Si nous prenons le rayon de la Terre R = 6378000m, h est négligeable, mais disons pour avoir un ordre de grandeur que notre distance maximale pour voir à l'horizon est de 4,6km. Si un objet émerge, comme le Grand Menhir par exemple et que quelqu'un monte au sommet, il pourra voir à presque 17km. Si l'on prend un adulte, qui du sol chercherait à voir le Grand Menhir, alors il pourrait le voir à plus de 20km de distance.

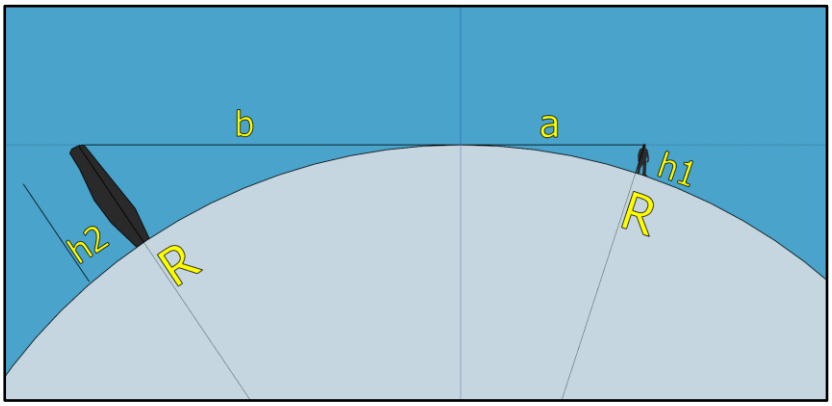


Figure 59 - Calcul de la zone de visibilité

Pour calculer la distance maximum à laquelle le Grand Menhir peut être vu, considérant que le terrain est presque plat est a+b = 4,66+15,97=20,63 km. Si l'on regarde la coupe du terrain, nous voyons que sur les hauts points d'Arzon, la visibilité peut être encore meilleure, mais cela n'influe pas sur la distance maximale.

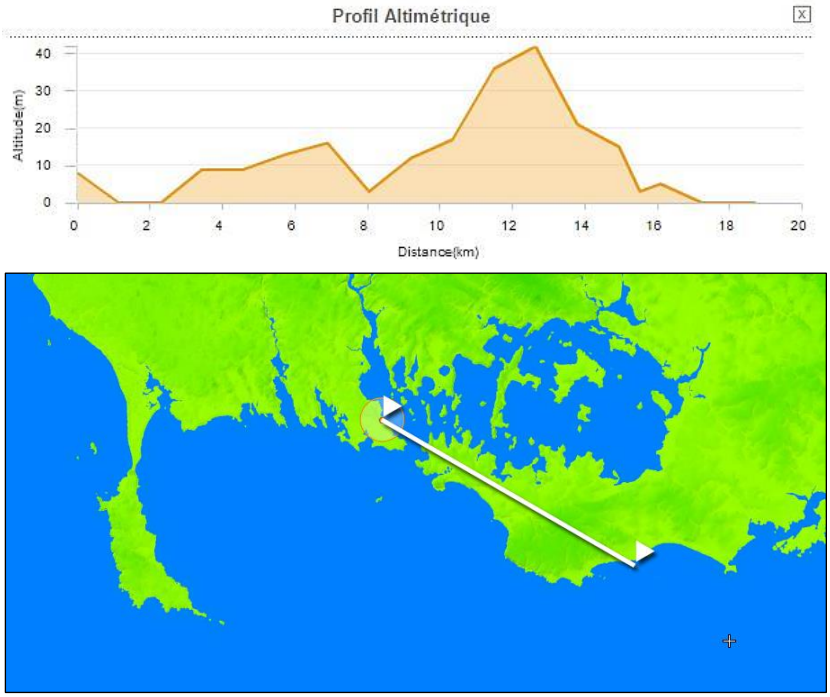


Figure 60 - Profil altimétrique

On peut donc parler d'un bassin de visibilité d'un rayon de 20km, ce qui sur la carte donne ceci :

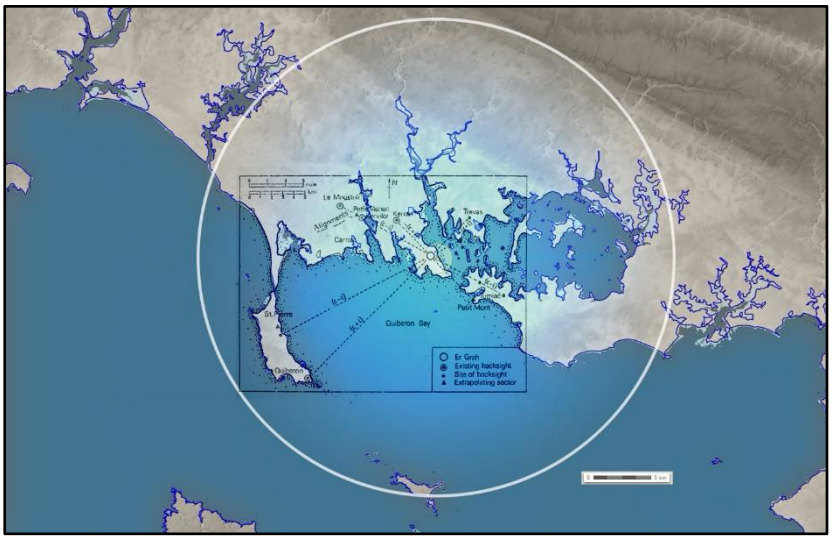


Figure 61 - Rayon simplifié de visibilité du Grand Menhir + croquis des correspondances de Thom

Si l'on prenait un menhir de 2m de haut, la distance maximum de visibilité sur terrain plat serait d'un peu plus de 9m. Ces explorations encore embryonnaires travaillent sur les effets et non sur les causes. Les causes font l'objet de théories comme celles de Thom, impliquant une mesure, le Yard Mégalithique, nous l'avons vu et une maitrise, des longueurs et des angles, qui reste assez conjecturale. Si géométrie, il y a, il faut, dans un premier temps, explorer les conditions d'une géométrie affine. La géométrie affine est en effet un

premier stade de complexité qui reconnait les points, les parallélismes et les intersections. Le mathématicien Olivier Keller a investigué ces questions dans différents articles et deux ouvrages, *Aux origines de la géométrie : Le Paléolithique*[320] et *Le Monde des chasseurs-cueilleurs et Une archéologie de la géométrie : Peuples paysans sans écriture et premières civilisations*[321], rappelant qu'il faut avancer avec prudence sur ces questions.

Nous évoquions les causes, voyons les effets. Ces derniers sont les expériences spatiales que l'on peut éprouver, passant d'une approche ontologique du monument mégalithique à une approche phénoménologique que l'on peut imaginer, ou croire, être assez similaire maintenant qu'elle a pu l'être au néolithique. Christian Norberg-Schultz s'interroge ainsi sur la forme qui devient figure, qui crée des tensions entre le construit et son environnement, ce, par la morphologie. Ces questionnements sortent du diptyque habituel Fonction / Symbole qui accompagnent généralement les commentaires sur les architectures mégalithiques[322]. NorbergSchultz écrit[323] :

> *« Dans deux courts traités consacrés aux premières constructions méditerranéennes et eurasiatiques, il (Guido Kaschnitz-weinberg) montre que les cultures majeures se sont fondées sur des structures qui fixaient les tensions de la présence dans des « corps » correspondants, opération qui leur permettait de comprendre l'effrayant et le non maîtrisable. Dure et pérenne, la pierre était le matériau tout désigné pour remplir cette fonction. Dans le monument mégalithique, elle est tout d'abord menhir ou « stèle », dolmen ou « caverne », trilithe ou « portail », puis enceinte cyclopéenne. Ces formes incorporent l'énergie nécessaire à la construction en pierre. Ici, la tension n'est jamais dissociée de l'homme, comme elle le sera par la suite. Le menhir est un symbole phallique et le dolmen le symbole de la féminité ; le trilithe indique les points cardinaux et les cheminements définis dans la zone ; le mur, enfin, a une fonction limitative et protectrice. Ces quatre figures symboliques concrétisent ensemble une puissante image du monde. Parfaitement claire à Stonehenge, cette image confirme que les hommes ont tenu compte dès l'aube des temps des significations que j'ai présentées dans les chapitres sur l'usage et la compréhension. Il est passionnant de constater que l'architecture naît de*

[320] Keller O., Aux origines de la géométrie : Le Paléolithique, Vuibert, 2004

[321] Keller O., Le Monde des chasseurs-cueilleurs et Une archéologie de la géométrie : Peuples paysans sans écriture et premières civilisations, Vuibert, 2006

[322] Cassen S., Exercice de Stèle, *Op.cit*, sur la question du « temple » mégalithique.

[323] Norberg-Schultz C., l'Art du lieu, *Op.cit.*

> *l'union du menhir masculin et du dolmen féminin (*hierosgamos *ou mariage divin), qui érige par exemple un pilier porteur au centre d'une caverne, ou articule le dans des interactions de verticales et d'horizontales. » (pp. 155-156)*

Scènes mégalithiques.

Du passé au présent, l'hypothèse solaire demande à être redéfinie non pas seulement comme scansion temporelle mais comme mise en scène de moments marquants. Ceci est avancé avec beaucoup de prudence, mais nous pouvons travailler autour de cette hypothèse. Imaginons Crucuno comme étant un gnomon ou un repère avec un point de visée lointain, était-il accessible à chacun ? Passait-on de temps en temps pour vérifier l'heure comme aujourd'hui on regarderait se montre constatant qu'il faut encore attendre 2 lunes ou 3 pierres pour que l'hiver se termine. Cela semble peu probable et c'est bien ce point qu'il faut investiguer.

Les espaces mégalithiques doivent être considérés comme des espaces architecturaux et fonctionner comme tels. En architecture, un espace, que ce soit une pièce, une habitation ou une place publique fonctionne toujours dans l'articulation d'un espace servi par un espace servant. Généralement l'espace servi est traité de façon plus prestigieuse que l'espace servant, mais ce peut être aussi une illusion. L'escalier de la bibliothèque Laurentienne de Michel-Ange est un espace servant d'une qualité exceptionnelle, tout entier dédié à la mise en condition du visiteur. Les exemples pourraient être multipliés à loisir que ce soit dans des réalisations prestigieuses que des exemples puisés dans le commun. Nous l'avons vu dans la première partie, la pratique de l'espace déploie un récit dont une majeure partie fonctionne dans l'anticipation. L'espace servant conditionne cette anticipation, la canalise et lui donne un sens. Serge Cassen montre dans son article *Sites de passage (2), le modèle carnacois des pierres dressées à l'épreuve des steppes et des légendes*[324], comment les récits et pratiques génèrent de grandes barrières de stèles dont les organisations ou orientations ne doivent rien aux courses astronomiques ni à la construction de lignes de visées. Elles seraient l'expression d'un marquage territorial, d'un obstacle cognitif. En extrapolant, l'on retrouverait presque l'idée de Borges[325] d'une carte à échelle réelle ou celle de Philémon rencontrant les lettres du nom Atlantique alors qu'il ère sur ce même océan[326]. Ces exemples de fiction et ceux donnés par Cassen, invitent à chaque fois à poser la question du point de vue. L'obstacle cognitif conditionne-t-il une vision aérienne du paysage que l'on ne conçoit

[324] Cassen S., Sites de passage (2). Le modèle carnacois des pierres dressées à l'épreuve des steppes et des légendes *in*, Préhistoires Méditerranéennes, Colloque | 2014, mis en ligne le 18 décembre 2014, consulté le 04 juin 2015. URL : http://pm.revues.org/1184

[325] Borges J.L., L'Auteur et autres textes: El Hacedor, Gallimard, 1982

[326] Fred, Philémon, Le Naufragé du A, Dargaud, 1972

généralement qu'à partie de la révolution galiléenne ? Ou bien est-ce donné par un arpentage que l'on associe à un temps de parcours comme la lieue qui est la distance que l'on peut parcourir en une heure ? Sont-ce des outils de représentation en ce qu'ils dénoteraient un territoire ?

Pour réfléchir à ces questions, certains concepts liés à la mise en scène, à la scénographie donc, peuvent être convoqués car il va s'agir de définir et qualifier la position spatiale, d'une personne (mieux nommer cette personne est ici difficile) par rapport à un dispositif qui retient son regard, conditionne son attitude corporelle et envahit son imaginaire cognitif, autant de notions évoquées dans la première partie. La ligne de stèle peut empêcher le franchissement, mais quelle est la distance, l'aura évoquée plus haut, qui épaissit cette ligne ? Le cercle de pierres (ou le quadrilatère) cerne un espace, mais était-il possible d'y pénétrer ? Etait-ce permis à tous ou à quelques personnes (ou animaux) choisis parmi les autres. Nous avons de nombreux exemples d'enceintes interdites. L'enceinte peut être aussi arène dont la circonscription peut se faire de façon extrêmement ténue. Pensons, par exemple, à la figure du duel dans les films de Sergio Leone. Dans *Pour quelques dollars en plus*, le cercle où les antagonistes vont s'affronter à mort, est clairement défini, ce sont deux arcs non jointifs, dont l'un est un peu plus haut, là où se trouve le futur vainqueur. Dans le film suivant, *Le bon, la brute et le truand*, l'arène de l'affrontement final est la place centrale d'un cimetière. Le sol pavé en donne la surface et un muret très endommagé en trace un vague contour. Les tombes distribuées tout autour figurent des spectateurs. Dans *Il était une fois dans l'ouest*, le film qui vient après, l'arène du duel final n'a plus besoin d'être définie, elle se devine d'une collection hétéroclite d'objets placés dans un vague cercle.

Etre dans le dispositif ou en dehors, n'implique pas forcément une présence physique, le point de vu n'est pas lié à la position réelle du corps, ce que nous verrons ensuite dans le chapitre lié à l'immersion. Bachelard le montre très bien dans la *poétique de l'espace*, la conscience de l'espace, le grenier, la cave, construit en nous une perception pleine des propriétés réelles et symboliques que l'on leur attribue. Ce point est particulièrement important pour ce qui concerne le rôle éventuel de l'orientation des tombes à couloir en fonction des orientations solaires. En effet, dans la plupart des démonstrations, ce que j'ai fait également, on prouve l'orientation des tombes par le fait que le rayon solaire vient frapper le fond de la chambre. Or, cela implique bien entendu, si telle était la volonté des bâtisseurs d'alors, de laisser libre le passage pour que l'effet se produise. L'archéologie a cependant montré que les couloirs étaient fermés, ce qui oblitère de fait cette hypothèse. Trois solutions se présentent donc interrogeant à la fois l'archéologie et l'ethnographie si l'on imagine que la course solaire a pu jouer. Soit un gnomon a permis de tracer l'axe principal du plan, comme on oriente le chevet

d'une église sans qu'il n'y ait autre volonté d'usage. Soit, il y a exhumation[327] et l'on peut imaginer que la cérémonie doit attendre les rayons du soleil éclairent directement la tombe pour que la cérémonie se déroule dans de bonnes conditions. Soit les tombes à couloir possédaient un oculus ou une imposte, à la manière de celle proposée à Newgrange par laquelle devaient passer les rayons solaires à certains moments de l'année. On retrouve cette idée dans certains édifices religieux comme la cathédrale de Strasbourg et son fameux rayon vert ou à l'Abbaye de Saint-Pierre-sur-Dives.

On comprend mieux l'aspect scénographique de l'érection des mégalithes en suivant et observant des pratiques qui se réalisent encore de nos jours. En Indonésie à Sumba, à Nias, à Toraja et en Inde à Angami Naga, des transports de mégalithes ont été observé et documentés jusqu'à très récemment. Les cérémonies, filmées et disponibles sur la chaine Youtube[328], montrent à la fois l'engagement physique et festif que ces déplacements occasionnent. Cela décrit parfaitement ce que l'on peut appeler un lieu, en faisant de nouveau référence à Marc Augé, en réunissant trois caractéristiques indispensables : **identification, relation, historicité**. La cérémonie débanalise l'espace le *n'importe où* devient *quelque part*. Cette opération est réalisée par la mise en relation des individus au service d'un projet, se crée ainsi un lien. Les traces persistantes, telles que les pierres levées, portent l'histoire de ces évènements. Créant ainsi les récits, les histoires. C'est cela que nous pouvons encore ressentir de nos jours et que l'on peut même chercher à reproduire, comme l'a fait Duncan Lunan, en construisant lui-même à Glasgow, un cercle de pierre, le Sighthill Stone Circle, en fonction des axes stellaires[329].

Finalement, la question réside dans le bon point d'observation révélant cette « *dimension cachée* » qui caractérise les usages humains[330]. L'obstacle cognitif ne fonctionne que s'il est aperçu depuis la bonne distance, comme c'est le cas des panneaux routiers, qui anticipent le moment d'après, l'image absente de l'accident à venir. Ce réglage de distance, nous l'avons vu, s'exprime dans le dessin de la perspective d'ambiance, c'est le point où l'objet construit

[327] Tillier A.M., L'homme et la mort : L'émergence du geste funéraire durant la Préhistoire, CNRS, 2013

[328] - à Viswema : https://www.youtube.com/watch?v=4otc05TpdM0
à Kigwema : https://www.youtube.com/watch?v=O3bmQIPvghw
à Maram Naga : https://www.youtube.com/watch?v=NEFRAob_Sgk
https://www.youtube.com/watch?v=Lcjv70gaZpY
https://www.youtube.com/watch?v=UzL4VNb8NJc
En Indonésie :
- sortie de la carrière : https://www.youtube.com/watch?v=CiCPz41_pAw
- transport : https://www.youtube.com/watch?v=XrPmb3Fkhkc
- transport et érection : https://www.youtube.com/watch?v=azLryEQiCDE

[329] Lunan D., The Stones And The Stars: Building Scotland's Newest Megalith, Springer, 2012, http://www.duncanlunan.com/index.asp

[330] Hall, E.T., La dimension cachée, Seuil, 1971

dénote. L'invention du paysage est passée par la détermination d'un point d'observation, puis d'un cadre qui focalise le regard. L'artiste Ashley Jackson[331] pose ainsi un cadre vide dans la lande du *Marsden Moor Estate* dans le Yorkshire au Royaume Uni. Il révèle ainsi le paysage comme objet construit. Le même principe est mis en œuvre au Bosworth Battlefield[332] dans le Leicestershire, pour cadrer le lieu de la bataille sans qu'il n'y ait recours à un quelconque artifice numérique. Peter Greenaway a lui proposé ce que nous pourrions qualifier de stèles d'observation avec son projet *Stairs*. Ce sont des emmarchements étroits fermés par un mur de 2 mètres environ. Le paysage urbain se découvre soit par un oculus, soit par la focalisation du point de vue dans une direction donnée. L'installation a été déployée à Genève[333] et à Munich[334]. Pour qu'un lieu signale, son usage, sa fonction, son esthétique, il faut être au point donné et souvent à un moment donné. Tel est le cas du Parthénon à Athènes comme l'ont bien décrit Bloomer et Moore dans *Body, Memory, and Architecture* évoqué dans la première partie, comme la place Saint Pierre à Rome, dont la colonnade dessinée par le Bernin ne se comprend que d'un emplacement particulier, comme le skyline de New-York qui fait autant mur de défense que portail du nouveau monde pour les arrivants venant de la mer.

Aujourd'hui, dans un étonnant syncrétisme symbolique que l'on appelle aussi *postmoderne*[335], les druides viennent aux solstices célébrer la nature et la communion avec les astres. Ainsi le collège druidique de Guidel Oaled Drwized Kornog a-t-il proposé à des druides de venir désacraliser Gavrinis[336] dans le cadre d'une cérémonie qui « *émane de la culture celte*[337]. » A Crucuno, la scène mégalithique est occupée très régulièrement grâce aux activités de l'association Acem (Association pour la connaissance et l'étude des mégalithes) qui organise pour les solstices des « visites/conférences ». Par ces manifestations, on retrouve, comme dans beaucoup d'autres lieux patrimoniaux, du signifié vers le signifiant, des lieux représentés deviennent des lieux de représentation et, dans le cas de Crucuno, des lieux en représentation. Le quadrilatère devient une scène et le spectacle de

---

331 http://www.ashley-jackson.co.uk/blogs/news/13250037-first-framing-the-landscape-frame-is-installed-on-marsden-moor-national-trust-estate

332 http://www.bosworthbattlefield.com/

333 Greenaway P., The Stairs: Geneva the Location, Merrell Publishers Ltd, 1995

334 Greenaway P., The Stairs: Munich Projection. Merrell Publishers Ltd, 1996

335 Jencks C., Le Langage de l'architecture postmoderne, Denoël, 1979

336 Le Télégramme - http://www.letelegramme.fr/local/morbihan/vannes-auray/cantonvannes/larmorbaden/croyance-un-solstice-d-ete-druidique-a-gavrinis-26-06-2012-1752586.php

337 Ouest-France : http://www.ouest-france.fr/des-druides-ont-fete-le-solstice-dete-gavrinis-1378083

la nature[338] vient s'y produire procurant de grandes émotions à un public préparé par quelques mises en ambiance associant les savoirs perdus, la communions avec la nature et parfois, quelques participations financières.

338 http://www.letelegramme.fr/local/morbihan/vannes-auray/quiberon/plouharnel/solstice-le-soleil-se-donne-en-spectacle-18-06-2010-960523.php

Acte 3 : Immersions et dispositifs

> *« **Immersion** : c'est le moment où un astre tel que la lune, les satellites de Jupiter entrent dans l'ombre. On distingue le commencement de l'immersion, c'est-à-dire, le moment où ils touchent l'ombre, & l'immersion totale, qui est le moment où ils y sont entièrement plongés. L'émersion est le moment de la sortie de l'ombre. On distingue également le commencement de l'émersion & l'émersion totale. Ce sont des phénomènes des éclipses.[339] »*

Immersion

La première partie a cherché à associer images et récits comme condition de leur intelligibilité, particulièrement pour ce qui concerne les ambiances. La deuxième partie a montré à travers un cas particulier que le point d'observation va probablement déterminer la compréhension que l'on peut avoir d'un dispositif spatial. Ce dispositif fait récit et son explication, sa transmission ou encore sa médiation, se fait par le texte, mais également par les images. Le problème qui se pose désormais concerne ***les conditions de diffusion de ces images****. La multiplication des supports de diffusion est spectaculaire offrant une infinie variété de qualités et de formats. De l'affiche à la toile du peintre, de l'écran de cinéma au cadran de la montre, de la vidéo-projection au mapping de façade, ce sont des quantités invraisemblables de solutions qui se présentent aux concepteurs pour porter et transmettre un message. Toutefois, dans la valorisation patrimoniale, comme en art ou dans le spectacle, la recherche de l'émotion chez le spectateur amène à proposer des solutions dites immersives. Ce sont ces solutions que nous allons interroger dans cette dernière partie, en tant qu'elles utilisent explicitement ou non, les principes identifiés dans le chapitre consacré aux ambiances et diffusent des contenus tels que ceux constitués dans la deuxième partie.*

La notion d'immersion est souvent investiguée par le biais des dispositifs numériques. Dans le court métrage World Builder[340] *de Bruce Bannit, un personnage en bleu de travail manipule virtuellement des volumes qui peu à peu formeront un quartier de type toscan. Il détermine la forme et l'aspect du bâti, règle la lumière solaire et déclenche une douce brise. A peine pense-t-il avoir fini, qu'une femme en chemise de nuit sort de nulle part pour s'enivrer les sens de parfums, de sons apaisants, du souffle caressant du vent. Mais bien vite elle repart, le décor de désintègre en millions de pixels. Le personnage regagne la réalité, c'est une chambre d'hôpital où la jeune femme est dans un coma profond. Ce court métrage représente*

[339] Bailly J.S., Histoire de l'astronomie moderne depuis la fondation de l'école d'Alexandrie jusqu'à l'époque de 1730. Tome 3, de Bure, 1785, p.740
[340] Bannit B., World Builder, 2007, US

la quintessence de l'immersion dans un monde virtuel, où tous les sens sont transposés dans une nouvelle réalité de substitution.

L'immersion est ce plongeon baptismal après lequel l'on émerge en étant autre. Durant cet engloutissement, l'ensemble des sens est partiellement coupé de la réalité précédente qui n'arrive que par sensations lointaines et déformées. L'immersion telle qu'on l'entend ici nécessite une ***disposition*** *et un* ***dispositif*** *que nous allons maintenant explorer. Ainsi que cela a été abordé dans la première partie, la disposition est la façon dont les éléments en jeu sont disposés dans l'espace et le dispositif est l'élément mécanique qui permet au sujet (spectateur, utilisateur, usager) d'interagir. En distinguant disposition, dispositif, nous allons pouvoir comprendre comment fonctionne le processus d'immersion et ce qu'il implique pour le sujet qui l'expérimente.*

On peut considérer la caverne de Platon comme l'un des premiers dispositifs immersifs décrit en détails.

> *« Figure-toi des hommes dans une demeure souterraine, en forme de caverne, ayant sur toute sa largeur une entrée ouverte à la lumière; ces hommes sont là depuis leur enfance, les jambes et le cou enchaînés, de sorte qu'ils ne peuvent bouger ni voir ailleurs que devant eux, la chaîne les empêchant de tourner la tête; la lumière leur vient d'un feu allumé sur une hauteur, au loin derrière eux; entre le feu et les prisonniers passe une route élevée; imagine que le long de cette route est construit un petit mur, pareil aux cloisons que les montreurs de marionnettes dressent devant eux, et au-dessus desquelles ils font voir leurs merveilles.*
>
> *Je vois cela, dit-il.*
>
> *Figure-toi maintenant le long de ce petit mur des hommes portant des objets de toute sorte, qui dépassent le mur, et des statuettes d'hommes et d'animaux, en pierre, en bois, et en toute espèce de matière; naturellement, parmi ces porteurs, les uns parlent et les autres se taisent.*[341] *»*

Nous avons bien la disposition, une caverne ouverte à la lumière, la façon dont les hommes sont placés et la position du muret. Nous avons aussi le dispositif : des objets sont produits dans la lumière pour que leur ombre se projette sur l'écran du fond.

Même si les hommes pensent que les ombres sont la chose et non la chose elle-même, ils doivent avoir, dans cette configuration, la

[341] Platon, La République Livre VII, traduction de Robert Baccou, Garnier Flammarion, 1987, p. 273-276.

conscience qu'ils assistent plus qu'ils ne participent[342]*. Comme au théâtre, la disposition des spectateurs par rapport à la scène décrit un rapport mettant en contact, sans jamais les mélanger, le lieu du récit, du lieu de la réception de ce récit. Le lieu du récit, sera ici appelé* ***l'espace diégétique****, empruntant à Genette*[343] *son terme qu'il utilise pour la littérature. Entre l'espace diégétique et là où se tiennent les spectateurs, se trouve une frontière, un voile, invisible s'il s'agit du théâtre, matérialisé par l'écran s'il s'agit du cinéma par exemple. Or, tout l'enjeu de l'immersion est de faire passer le spectateur de son espace réel à l'espace diégétique qui lui est proposé. Au théâtre, par exemple, la disposition frontale va être interrogée pour, au début du XXème siècle proposer des formes permettant d'être plus immergés dans le spectacle. Les architectes du Bauhaus comme Andor* Weininger qui proposera le *Kugeltheateer* (1926/27) et surtout Gropius avec le *Total Theater* (1927) vont rompre dans ces projets utopiques la frontalité pour mettre le spectacle dans toute la salle, cette dernière étant elle-même mobile[344]*. Plus près de nous Jacques Poliéri, dans les années 70 et 80, va concevoir des projets de salles comme le Théâtre du Mouvement Total* à Osaka (1970), *où gradins et scène bougent, interagissent et plongent plus encore les spectateurs dans l'action*[345]*. Il faut, pour ce scénographe d'avant-garde, éprouver physiquement les émotions, agir directement sur l'ensemble de l'appareil sensoriel, d'une certaine manière, il annonce ce qui se fera dans l'art numérique quelques années après*[346]*.*

Par un jeu habile articulant disposition et dispositif, l'immersion va se faire selon trois modalités enchainées et progressives : l'enveloppement, la saturation et la participation. L'immersion réussie aura pour conséquence la transgression[347]*.*

Premier mouvement : l'enveloppement.

Au théâtre, dans une salle classique, au cinéma, le spectateur fait face au spectacle. C'est ce que l'on appelle une disposition frontale. Or la frontalité impose une direction de regard, droit devant. Note expérience perceptive quotidienne est tout autre, notre regard peut aller dans toutes les directions à la découverte de notre environnement. L'immersion dans un premier temps va donc chercher à imiter ce principe en proposant des dispositifs dans lesquels le spectacle se déroulerait partout où peut se porter le regard. C'est le principe du **panorama** inventé par l'irlandais Robert

[342] Zaborowski R., Sur une certain détail négligé dans la caverne de Platon, Organon 35, 2006, pp.206-246
[343] Genette G., Figures III, Seuil, 1972
[344] Rocher Y., Théâtres en utopie, Actes Sud Editions, 2014
[345] Polieri J., 50 Ans de recherches dans le spectacle, Adam Biro, 2006
[346] Corvin M., Polieri, une passion visionnaire, Adam Biro, 2000
[347] Lescop L., Dispositifs immersifs : la question de l'espace diégétique, conférence Les paradoxes du seuil, Université de Louvain (Louvain-la-Neuve, Belgique) 25-26 octobre 2012

Barker en 1787. Sa première réalisation est une immense toile représentant Edimbourg, développée à l'intérieur d'un cylindre au centre duquel se trouve le spectateur hissé sur une plate-forme. Louis-Jacques Mandé Daguerre ancien assistant de Pierre Prévot qui avait acheté le brevet de Barker, transforme le dispositif en y ajoutant du son et la lumière. Il rend ainsi spectaculaire ses reconstitutions de bataille napoléonienne dans ce qu'il nomme *Diorama*. Le succès est tel qu'il réunira assez de fonds pour financer et faire aboutir ses recherches sur la photographie. Mais ce n'est pas lui qui réalisera le premier panorama photographique que l'on doit à Girault de Prangeyqui. Ce dernier montrera en 1842, Rome depuis les collines du Palatin. L'histoire des panoramas est tout à fait passionnante et foisonnante, elle a été très bien documentée par François Robichon dans sa thèse[348] et Emmanuelle Michaux dans son livre sur le cinéma cylindrique[349], il faudrait évoquer Robert Fulton qui a obtenu également le brevet de Barker, Satler dont le panorama réalisé entre 1826 1829 est toujours visible à Salzburg en Autriche[350]. Les panoramas connaissent un véritable engouement à la fin du XIXème siècle et au début du XXème et se nourrissent des dernières avancées technologiques. Les frères Lumière déposent en 1900 un brevet pour la prise de vue à 360° sur une seule plaque, avec une image continue permettant un tour d'horizon. c'est le *Photorama*. Ils prolongeront également une invention de Grimoin-Sanson, le *Cinéorama*, qui permet aux spectateurs d'expérimenter un voyage virtuel en ballon. Six projecteurs synchronisés, projettent à l'intérieur d'un cylindre le film d'une ascension tandis que le public est sur une plate-forme construite à l'image d'une nacelle. L'ingénieur Raoul Grimois-Sanson avait conçu ce dispositif avec 10 projecteurs synchronisés. Le système est hélas très vite stoppé pour des raisons de sécurité dues au fort dégagement de chaleur. Plus fort encore, le *Méréorama*[351] crée l'illusion d'un véritable voyage en bateau. Les « passagers » embarquant sur le pont faisant 50 mètres de long sur 9 mètres de large, ressentent les effets de la houle. Le paysage est donné par un jeu de double toiles panoramiques faisant chacune 750 mètres de long pour 15 mètres de haut. Cette attraction, comme la précédente, est proposée pour l'Exposition Universelle de 1900 à Paris. Ce ne sont d'ailleurs pas les seules attractions immersives.

Les panoramas sont généralement des paysages de substitution, ils donnent à voir ce qui est loin, ce qui a disparu ou ce qui fait histoire

[348] Robichon F., Les Panoramas en France au XIXe siècle, Thèse de doctorat, Nanterre, 1982

[349] Michaux E., Du panorama pictural au cinéma circulaire: Origines et histoire d'un autre cinéma, 1785-1998, Editions L'Harmattan, 2000

[350] http://www.salzburgmuseum.at/panoramamuseum.html

[351] *www.worldfairs.info/expopavillondetails.php?expo_id=8&pavillon_id=2414*

comme le fameux panorama de Waterloo[352], peint par Louis Dumoulin en 1912 et toujours également visible en Belgique, sur le lieu de la bataille. On a construit pour les abriter, des *rotondes*, objets architecturaux conçus pour cet usage, sur lesquels nous reviendrons. Il a existé également des propositions plus étonnantes, comme des mappes-monde intérieures, des terres-creuses pour oser la référence à Edmund Halley, dans lesquelles les visiteurs vont découvrir une projection cartographique monumentale. C'est le Géorama de Charles Auguste Guérin (1840) qui se présente sous la forme d'une sphère de 10 mètres de diamètre à l'intérieur, la carte, elle, est au 1 : 770.000. Il y a aussi le Wyld's Great Globe, connu aussi comme le Wyld's Globe ou le Wyld's Monster Globe, conçu par James Wyld et installé au Leicester Square à Londres entre 1851 et 1862. Les panoramas restent aujourd'hui encore une attraction très prisée, qu'il s'agisse d'installations gigantesques comme les *panomètres* d'Azizi, principalement en Allemagne, que ceux peints en Pologne, en Chine en Hollande ou à peu près partout dans le monde.

Au cours du XXème siècle, les améliorations ne cesseront de s'opérer afin que la sensation d'immersion soit plus puissante encore. Un travail sur les ambiances lumineuses a été tenté avec le *Néorama* de Jean-Pierre Alaux en est en quelque sorte la première tentative d'animation d'une perspective intérieure. Cette idée de rendre le mouvement, de suivre l'action partout où se porte le regard se retrouve dans le projet du Napoléon d'Abel Gance, réalisé en 1927. En fait, une seule séquence a bénéficié de la projection sur trois écrans. Le système *Polyvision* mis au point par Émile Vuillermoz possédant un aspect ratio de 4:1 s'est révélé trop complexe à mettre en place et à maintenir, il a fini par être abandonné. On va toutefois voir se développer des projets de projets multi écrans qu'il serait ici trop long d'énumérer, mais on peut avoir en tête le *Vitarama* (1939, 11 caméras), le *Cinérama* (1952, 3 caméras), le *Circlorama* (1958, 11 caméras), *l'Hexiplex* (1992, 6 caméras) [353]. Chez Disney, c'est le *Circarama* qui offre aux visiteurs une rotonde immersive avec onze écrans disposés en couronne[354].

Le numérique relance l'intérêt pour le panorama. L'assemblage des images et leur projection devient de plus en plus facile et l'on va trouver des dispositifs de projection cylindriques tels que ceux de l'artiste australien Jeffrey Shaw[355], directeur fondateur du *ZKM* à Karlsruhe et utilisés par des artistes tels que Bernd Lintermann, Joachim Böttger, Torsten Belschner pour *Globorama* ou Jean-Michel Bruyère pour *CaMg(Co3)²* ou encore le *Wooster Group* avec *There Is*

[352] http://waterloo1815.be/index.php?page=le-panorama
[353] Michaux E., *Op.cit*
[354] http://www.waltdisney.org/blog/plussing-disneyland-1955
[355] http://www.jeffrey-shaw.net / et http://www.icinema.unsw.edu.au/

Still Time . . Brother (2007)[356] pour des installations où le spectateur explore le panorama à travers un judas virtuel[357]. La *Spherecam*[358], assemblage génial utilisée pour ces créations permet la réalisation d'un panoramique animé, ce qu'une *GoPro* fait maintenant très facilement[359]. On a un peu perdu sa trace, mais l'un des premiers dispositifs immersif cylindrique est l'*Hemispherium* construit en 1999. L'écran est un dôme de 6 mètres de large monté verticalement, donnant un authentiques 180° d'ouverture dans les deux plans verticaux et horizontaux. Le dôme enveloppant, outrepassant le champ de vision, imitant la voute céleste est naturellement la figure des planétariums. Celui de Moscou a ouvert ses portes le 5 novembre 1929. Le bâtiment, d'une architecture avant-gardiste, a été conçu par les architectes Mikhaïl Barch et Mikhaïl Siniavski. La salle principale possède une coupole de 17 mètres, elle a été utilisée dans les années 1980, pour jouer *le Théâtre fantastique*, où des spectacles adaptés d'œuvres de célèbres écrivains de science-fiction ont été représentés. Les dômes consacrés à la projection se répandent dans le monde, pensons à la *Géode* dans le parc de la Villette à Paris, construite par l'architecte Adrien Fainsilber et l'ingénieur Gérard Chamayou, inaugurée le 6 mai 1985. Son écran hémisphérique fait 26 m de diamètre et 1 000 m2 de superficie. Les exemples sont nombreux, mais on peut retenir à Montréal, le *Satosphère ou Sensorium*[360] de la *Société des Arts Technologiques* (SAT) à Montréal qui vient occuper un ancien bâtiment industriel en bordure du Quartier des Arts et l'Elbe Dôme de Magdeburg, installation du Fraunhofer, mais il existe bien d'autres systèmes encore et à toutes les échelles.

Figure 62 - Stonehenge, l'écran panoramique du centre d'interprétation.

L'écran panoramique, puis le dôme, contribuent à l'effet d'immersion par le fait que le regard est continuellement dans l'image. C'est l'effet

[356] http://thewoostergroup.org/blog

[357] Pour les relations dispositifs immersifs et théâtre voir : Marcel Freydefont, Les contours d'un théâtre immersif (1990-2010), Revue Agon, http://agon.ens-lyon.fr/index.php?id=1559

[358] http://www.icinema.unsw.edu.au/technologies/spherecam/project-overview/

[359] http://www.360heros.com/

[360] http://sat.qc.ca/fr/satosphere

d'enveloppement. Mais cet effet d'enveloppement n'est pas forcément donné par l'image projetée, il peut se produire également par le son et par l'imagination. Nous l'avons vu, dans un dispositif théâtral classique ou au cinéma, le lieu de l'action, l'espace diégétique, est contenu par un cadre qui impose une direction de regard. Tous les évènements visuels ou sonores proviennent de ce cadre. Mais avec l'arrivée du son stéréophonique puis spatialisé au cinéma, il y a eu un premier effet de débordement. Michel Chion[361] d'abord très critique, pense que le son qui jaillit hors du cadre de l'image, finit par créer des ruptures entre les évènements produits à l'écran et ceux identifiés dans la salle.

Ainsi s'installe la notion de **hors-champ**. Le hors-champ est le prolongement de l'action, de l'espace diégétique hors de la vue du spectateur. Dans la partie consacrée à la représentation, nous avons vu que le récit favorise la constitution du contexte et donc de l'appréciation correcte de ce qui est proposé. Encore faut-il qu'il y ait adhésion. Si, à la vision d'un film, le hors-champ prolonge l'action, la mise en place technique suppose trois catégories d'espace, comme l'explique le réalisateur Eric Rhomer dans sa thèse[362] portant sur Faust. L'espace vu à l'écran est tout d'abord conçu comme une image. Sur cette surface à deux dimensions, sont disposés les éléments signifiants du récit : les acteurs, les éléments de décors avec lesquels ils interagissent, les effets d'ambiances. Cet espace est ensuite construit dans les limites que donne le cadre, à savoir la position de la caméra. C'est un espace réel à trois dimensions dans lequel agissent les acteurs. Son rapport de ressemblance au réel peut être très complexe, tant il reste un espace de représentation. Enfin, l'espace complet, est fait d'un assemblage, que réalise le montage. Le spectateur reconstitue cet assemblage et lui donne une cohérence, une continuité qu'il n'a pas dans son processus de fabrication, ni dans sa géométrie, ni dans sa temporalité.

L'enveloppement se réalise donc en joignant deux stratégies, une image qui cherche à occuper tout le champ visuel du spectateur et lorsque l'image est bloquée par des impératifs de construction, de structure, le débordement continue en hors-champs, porté par le son et par l'imaginaire du spectateur.

Continuer à référencer et énumérer l'ensemble des dispositifs serait fastidieux tant ils sont toujours plus nombreux. Il est possible néanmoins de les classer dans quatre familles : le **plan** (l'écran ou la surface de projection), le **cube** (quatre écrans perpendiculaires

[361] Chion M., L'audio-Vision : Son et image au cinéma, Armand Colin, 2005
[362] Rhomer E., L'organisation de l'espace dans le Faust de Murnau, Ramsay, 1999

comme le fameux dispositif *Cave*[363]), le **cylindre** et la **sphère**. Cette énumération ne sera pas sans rappeler la catégorisation d'Etienne Souriau[364]. Pour ce dernier, le cube coupe une fraction de réel alors que la sphère crée un espace sans limites.

Deuxième mouvement : la saturation.

L'enveloppement ne va être suffisant pour réussir l'immersion, il faut pouvoir focaliser toute l'attention du spectateur, que l'ensemble de son système sensoriel soit mobilisé pour la proposition qui lui est faite, que l'adhésion soit totale. Nous avons vu dans la première partie, que l'attention portée va être déterminante. Cette attention portée peut être aussi décrite à l'aide de la **fonction conative** appartenant au schéma de Roman Jakobson et que nous allons interpréter géométriquement. Pour rappel, le schéma de communication verbale de Jakobson[365] pose un message partant d'un destinateur vers un destinataire, portant contexte, un contact et un code. Cela correspond aux six fonctions du langage. La fonction conative décrit l'implication du destinataire qui va exercer sur lui-même une influence pour recevoir le message et éventuellement l'enrichir de ses propres affects. Il serait dès lors envisageable de proposer le schéma suivant :

Le dispositif produit des sollicitations sensorielles, le spectateur produit des affects. A la rencontre des deux, il y a immersion. Mais, en réalité, le schéma ne s'équilibre pas ainsi. On va plutôt trouver cette situation :

Ce cas va se retrouver dans un cinéma plus introverti, ce que l'on appelle la *mini-intrigue*[366], ou dans certaines pièces cherchant à travailler les émois profonds des spectateurs dans le but dans les immerger, justement, plus encore dans le récit[367] avec une forme de

[363] Cruz-Neira C., Sandin D., DeFanti T., Kenyon R. & Hart J., The CAVE: Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment, ACM, vol. 35(6), 1992, pp. 64–72.
[364] Souriau E., Le cube et la sphère, *in* André Barsacq, Etienne Souriau et al, Architecture et Dramaturgie, Bibliothèque D'Esthétique, Flammarion, Paris, 1950
[365] Jakobson R., *Op.Cit.*
[366] McKee R., Story : contenu, structure, genre, Les principes de l'écriture d'un scénario, Dixit, 2000
[367] Voir par exemple la Charte des membres du GK : http://www.mezzaninespectacles.eu/IMG/pdf/infogkthch.pdf

radicalité. Christian Biet[368] et François Lecercle[369] interrogent cette question autour de la figure de la violence au théâtre et de l'impact qu'elle peut avoir sur le spectateur si l'affect est trop sollicité. Christian Biet pose la notion d'*hyper-présence* qui « *donne une force de percussion, d'immersion et de persuasion incomparable, puisque, très directement, les corps vivants, figurés et réels, apparaissent pour souffrir et montrer qu'ils souffrent, ici et maintenant sur l'échafaud du théâtre*[370] ».

A l'inverse, on peut imaginer une immersion fonctionnant sur une forme de blocage des affects, où le spectateur ne serait plus en mesure d'analyser les informations qu'il reçoit du fait de leur intensité et de leur densité, dans une forme de saturation de l'ensemble des sens. Il y aurait une forme de substitution d'un conscient qui perçoit avec la conscience de ce qu'il vit, d'un conscient entièrement sidéré par les sollicitations qui lui sont envoyées.

« *…la saturation produit du plaisir (…), et le plaisir devient en lui-même une esthétique*[371] » La saturation fonctionne en paliers : paliers de confort, d'acceptation, de douleur, cela a été évoqué dans la première partie. Pour le son, le seuil de douleur s'établi à 120dB, niveau en dessous duquel il faut se situer pour respecter la loi, et qu'il s'agit toujours d'aller tutoyer lors des concerts par exemple. A de tels niveaux, le monde n'est plus qu'une pression appuyant avec force sur les tympans, rendant une sensation proche de cette de l'immersion à grande profondeur.

La saturation provoque un sentiment de sidération et il n'est pas étonnant de la voir associée aux drogues ou même à des armes offensives non létales comme les Grenade à Saturation Sensorielle (GSS). L'esprit est submergé par les influx et se détache littéralement de la réalité pour se laisser envahir par les sollicitations extrêmes. Comme souvent la douleur rejoint le plaisir créant incidemment un effet de manque lorsque les signaux cessent. Les flux sonores et lumineux viennent comme percer le voile de l'espace diégétique, le son multidimensionnel, surgissant de tout autour, l'image en relief et même des simulations de vent, d'odeurs, de mouvement viennent donner au spectateur le sentiment que le spectacle jaillit littéralement vers lui.

[368] Biet C., Discours et représentation : la violence au théâtre, in Littératures classiques, N°73, 2010, pp. 415 - 429
[369] Lecercle F., La violence de la représentation, in, Spectacle de la violence, Comparatismes en Sorbonne, n°2, 2011
[370] Biet C., *Op-cit.* p.419
[371] Leboucq B., L'environnement sonore, Études, 2006/9 Tome 405, p. 231-241

Au Futuroscope de Poitiers, on va ainsi avoir pour l'attraction *Arthur et les Minimoys* un argument prétendant que l'on va être « *totalement immergé* [372]», la 4D représentant le mouvement en plus de l'image en relief et son enveloppant. Assis dans son bolide virtuel, de subtils souffles d'airs refont croire que l'on traverse une toile d'araignée ou que le rase un obstacle de trop près. Les images, très colorées, frénétiques, accompagnent une bande son utilisant l'ensemble du spectre : de l'infra basse perçu par conduction osseuse aux fréquences les plus élevées.

La question de la synesthésie se pose dès lors. Est-il possible de suggérer par le visuel ou par le sonore ce qui est communément capté par les autres sens ? L'argument des concepteurs des Minimoys semble dire qu'il faut saturer l'ensemble des sens pour que l'immersion soit « totale ». Les travaux sur les ambiances vont référencer des dispositifs accompagnant des machines à fabriquer du virtuel cherchant solliciter les sens autrement que par la vue ou l'oreille. Suggérer le son, le vent ou les odeurs peut se faire par association visuelle. Cela passera, comme au théâtre et au cinéma, par la création d'effets, c'est-à-dire de figures archétypiques revoyant à l'idée du son, du vent ou des odeurs, comme cela a été exposé au précédent chapitre. Une personne se bouchant les oreilles, voyant son parapluie se retourner ou respirant une belle rose donnera visuellement les indices nécessaires.

Mais comment le dire sans passer par l'image ? Différentes tentatives ont été réalisées dans un cadre scientifique et donc quelque peu éloignés des films en odorama[373], c'est ce que l'on appelle les approches multi sensorielles. Nobuyoshi Yabuki et son équipe [374] ont ainsi proposé un système low-cost : le *VRATE System*, afin de reproduire des sensations de vent et de chaleur. Un avatar de l'utilisateur est entouré d'un nuage de particules représentant les mouvements aérauliques et leur composante thermique. Pour peu que l'on accepte de se voir représenter ainsi, le système à la vertu de montrer l'invisible.

S'écarter de la suggestion visuelle, c'est tenter de reconstruire la réalité sans la réalité, c'est construire un environnement maitrisé, contrôlé, pour distiller à des cobayes bienveillant des stimuli censés être la reproduction de cette réalité. *WindCube* de Moon et Kim[375] reproduit ainsi la sensation d'être dans le vent. Kosaka propose avec

[372] http://www.arthur-futuroscope.com/

[373] Par exemple le film Polyester de John Waters, réalisé en 1981, US

[374] Yabuki N., Onoue T., Fukuda T. & Yoshida S., A heatstroke prediction and prevention system for outdoor construction workers, Visualization in Engineering 2013, 1:11,

[375] Moon T., Kim G.J., Design and evaluation of a wind display for virtual reality, VRST '04 Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology, 2004, Pages 122-128

le *Winddisplay*[376] le même objectif, mais l'utilisateur reste assis tandis que Le *Treadport Active Wind Tunnel*[377] de Sandip Kulkarni alliera un large écran à de généreuses turbines à air.

Antérieurement, d'autres systèmes ont été proposés : le *Sensorama* (1961) de Morton Heilig[378] est une cabine équipée d'un écran stéréoscopique grand-angle, d'un siège dynamique et vibrant, d'enceintes stéréo et de neuf ventilateurs soufflant du vent qui pouvait être parfumé. Les brevets de Morton Heilig sont disponibles sur le site *www.mortonheilig.com* et sont une source inépuisable de surprises et d'admiration pour ce qui présenté maintenant comme les premiers dispositifs de réalité virtuelle.

A l'inverse les cellules perceptives de James Turrell[379] ou *Stimuline*[380] de Lynn Pook et Julien Clauss viennent isoler un sens particulier, la vision pour le premier l'écoute interne pour les seconds. James Turrell fait entrer un visiteur dans une petite cabine possédant un hémisphère dans laquelle il faut passer la tête. L'intérieur de cet hémisphère est projetée une couleur faisant disparaitre tout repère géométrique. On se retrouve littéralement immergé dans la lumière et la couleur. Lynn Pook et Julien Clauss proposent une expérience *audio-tactile.* Les volontaires sont équipés de transducteurs posés sur le corps, puis leurs oreilles sont bouchées et ils sont plongés dans le noir. L'écoute de la musique se fait par conduction osseuse, le son passe par le corps et non plus par les tympans. La focalisation sur un sens qui, saturé d'informations, construit une perception sensorielle totale. C'est finalement assez proche d'une expérience que chacun peut mener facilement avec une simple écoute au casque dans une pièce noire, ce que l'on appelle communément : s'enfermer dans sa bulle.

La mise en angoisse du spectateur est la limite ultime, le dernier seuil à franchir pour des œuvres ou spectacles lui faire éprouver le danger. Si le spectateur a le sentiment que son intégrité physique est en jeu, alors la sensation s'immersion dans l'espace diégétique devient irrésistible, avec, d'une certaine manière l'addition d'une mobilisation d'affects maximum et une saturation sensorielle empêchant d'analyser sereinement la situation. C'est ce que propose *Cinétose / PROJET EVA*[381] du collectif canadien emmené par Etienne Grenier et Simon Laroche aux machines et Stéphane Barbeau à la

[376] http://www.kosaka-lab.com/kosaka_laboratory/2008/11/wind-stage.php

[377] Kulkarni S. et al, Wind Display Device for Locomotion Interface in a Virtual Environment, Third Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems Salt Lake City, UT, USA, March 18-20, 2009

[378] http://www.mortonheilig.com/InventorVR.html

[379] http://jamesturrell.com/artworks/by-date/#section-1990-1999

[380] http://www.lynnpook.net

[381] http://www.projet-eva.org/

lumière. Le collectif propose de placer les spectateurs sous un plafond qui descend, par plaques à des vitesses différentes. D'une performance à l'autre, le seuil de sécurité est descendu, réduisant au minimum l'espace de contact entre l'espace diégétique et l'espace vécu, entre le plafond et le sol. Le spectateur n'a jamais l'assurance que le système est fiable à 100%, ce qui augmente d'autant la mobilisation des peurs que chacun abrite.

Ces derniers exemples montrent qu'en termes d'immersion, le lieu, la salle, l'écran, la frontière n'est plus utile. Le spectacle peut se donner dans l'espace public, se diffuser, se vaporiser dans la ville. C'est ce qu'opère le théâtre de rue et des compagnies comme *la Machine*[382] ou *Royal de Luxe*[383]. C'est comme l'appelle Marcel Freydefont : du « *théâtre infusé*[384] ». Car finalement, il peut y avoir renversement. Si l'immersion se fait par le récit et par la fonction conative, il suffit dès lors, de créer un contexte pour que cela fonctionne. Il devient alors possible d'entrainer, même sur un temps long, un public, la population d'une ville dans une fiction habillant un réel plus clivant, moins onirique comme cela a été le cas à la Roche-sur-Yon. Face aux oppositions potentielles que pouvaient soulever l'aménagement de la Place Napoléon au centre de la ville vendéenne, le concepteur Alexandre Chemetoff, suivant son expérience nantaise sur l'Ile de Nantes, fait accompagner son projet du développement d'un spectacle permanent de la compagnie la Machine, offrant ainsi aux habitants la possibilité d'une réalité alternative[385].

[382] La Machine est une compagnie de théâtre de rue fondée en 1999 et dirigée par François Delarozière. http://www.lamachine.fr/

[383] Royal de Luxe est une compagnie de théâtre de rue fondée en 1979 par Jean-Luc Courcoult, Véronique Loève et Didier Gallot-Lavallée : http://www.royal-de-luxe.com/fr/la-compagnie/

[384] Freydefont M., Un théâtre infusé, Le théâtre et ses publics : la création partagée, Colloque international Prospero, Liège, 26-29 septembre 2012,

[385] Gabilleau C., La narration dans l'aménagement urbain: le cas du réaménagement de la place Napoléon et "Les animaux de la place" à La Roche-sur-Yon, mémoire de maîtrise, Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes, 2013

Figure 63 - Nantes, l'éléphant de bois de la compagnie la Machine

Bien évidemment, cette expérience ressemble à du *storytelling*[386] même si l'élégance et la qualité artistique du projet urbain et des réalisations de François Delarozière rendent le tout acceptable. Des artistes néanmoins lancent des alertes contre ces formes de communications institutionnelles ou marchandes. C'est le cas du collectif *0100101110101101* qui a lancé une fausse campagne signée de la célèbre marque de sport Nike. Le projet *nikeground* visait à débaptiser les plus célèbres places urbaines en Europe et dans le monde, pour les renommer *Nikeplace*. Ainsi, la fameuse *Kalsplatz* de Vienne serait devenue la *NikePlatz* ! Paris, Rome, Londres, New-York ou Tokyo étaient également dans la liste ainsi que d'autres villes encore[387]. Les viennois, pensant l'affaire conclue, les viennois ont fortement réagi montrant que, s'ils concédaient d'être les ambassadeurs passifs d'une marque en portant chaussures et vêtements siglés Nike, ils n'acceptaient pas qu'il en soit ainsi pour leur ville.

Le théâtre de rue et toutes les formes de récits prenant comme lieu et décor un environnement réel, nonobstant les cas de *storytelling* flagrants, proposent et permettent une expérience partagée trans-générationnelle qui reste un bien précieux dans le développement urbain. A l'inverse d'autres pratiques sont plus segmentantes. Le monde vidéo-ludique s'est également emparé de la ville comme support du récit, comme terrain de jeu immersif pour développer des intrigues impliquant du réel et de l'imaginaire. C'est ce qu'on appelle le *jeu en réalité alterné* ou en anglais *ARG* (alternate-reality game[388]). Le temps du jeu est le temps réel, celui du quotidien. Les organisateurs du jeu utilisent Internet pour diffuser des indices, tandis que les jours en équipe ou en concurrence, vont explorer leur environnement pour progresser vers la résolution. Plus qu'un jeu de piste, c'est un monde alternatif, parallèle qui se développe, que nous pourrions croiser sans y prendre garde. Cela induit la pièce manquante de la construction immersive, à savoir la participation.

Troisième mouvement : la participation active.

La participation devient dès lors l'objectif clé de l'immersion. Dans le film *Musée Haut, Musée Bas*[389], les visiteurs du musée idéal de Jean-Michel Ribes, piégés dans une salle d'exposition, deviennent eux-mêmes les objets à regarder. Dans *access* de Marie Sester[390], les

[386] Salmon C., Storytelling : La machine à fabriquer des histoires et à formater les esprits, Editions La Découverte, 2008

[387] http://0100101110101101.org/files/nikeground.com/

[388] Borland J., Blurring the line between games and life, http://www.cnet.com/news/blurring-the-line-between-games-and-life/ , 2005

[389] Ribes JM., Musée haut, musée bas, 2008, Fr

[390] http://www.accessproject.net/

passants se font prendre dans un faisceau lumineux dont ils ne peuvent s'échapper. Pris au piège, les uns dansent, les autres tentent de fuir, chacun nourrissant un petit spectacle impromptu et involontaire. Le spectateur devient acteur, le fameux *spect-acteur*[391], et nourri l'illusion de pouvoir contrôler la narration qui lui est proposée. A l'échelle des arts, la question peut sembler rhétorique, à l'échelle urbaine, de l'aménagement et du développement des villes, les enjeux sont beaucoup moins triviaux. La *multidimentionnalité* de notre environnement renouvelle et déplace les enjeux de la ville comme scène de la vie quotidienne : aux dimensions spatiales et temporelles, il faut ajouter les dimensions informationnelles, que Franck Cormerais énonce comme étant *l'hyperville*[392].

Mais la fonction de participer possède deux niveaux. On utilise souvent la formule *participer à un spectacle* pour signifier que l'on y assiste avec ferveur, dans ce cas, on peut considérer que l'espace de narration n'est pas seulement sur scène (ou sur écran), mais qu'il comprend également le lieu de diffusion et les spectateurs. C'est le cas des parades de Royal de Luxe évoqué plus haut et de la présence des animaux mécaniques de la compagnie la Machine[393]. Pour les dispositifs immersifs, ceux que l'on range dans la catégorie de la *réalité virtuelle*, la notion de participation renvoie d'avantage aux Interfaces homme / Machine ou IHM[394]. L'interface se fait généralement par le biais de périphériques qui sont soit des extensions de l'utilisateur, soit des excroissances de la machine que l'on va pouvoir actionner. Il existe en gros trois familles : les interfaces d'acquisition, comme la souris ou le clavier, les interfaces de restitution, comme les écrans et les interfaces combinées, ce que nous voyons se développer actuellement avec les écrans tactiles. Quelques interfaces se construisent autour de la notion de *skeuomorphisme*[395], c'est-à-dire l'imitation d'un objet réel dans le virtuel. En design, cette tendance tend maintenant à se ringardiser.

Décrire ou lister les interfaces ne ferait que rappeler que les nouveautés d'aujourd'hui sont les regrets de demain, surtout pour les conservateurs de musées, comme nous le verrons plus tard. L'engouement des *Google Glass,* par exemple, qui allaient révolutionner l'immersion contraste violement avec le quasi abandon

[391] Pierre Barboza. Fiction interactive "métarécit" et unités intégratives, *in* L'image actée : scénarisations numériques, L'Harmattan, 2006, pp.99-121

[392] Cormerais F., L'Hyperville et les enjeux d'un design territorial contributif, Journée Devenirs Urbains GRICO, Mines Paris Tech & La Poste, 30 JANVIER 2015, http://www.grico.fr/wp-content/uploads/2015/02/Cormerais30janvier2015GRICO.pdf

[393] Gangloff E., Quand Les Machines mettent la ville en scène, in Place Publique #48, 2014, pp.51-53

[394] Beaudouin – Lafon M., 40 ans d'interaction homme-machine : points de repère et perspectives, https://interstices.info/jcms/c_23015/40-ans-d-interaction-homme-machine-points-de-repere-et-perspectives , 2007

[395] Skeuos = outil et morphos = imiter

du projet[396]. Il n'en reste pas moins que contrôler le déroulement de la fiction, c'est entrer dans l'espace diégétique via un instrument de contrôle. De collective, l'expérience devient dès lors individuelle. Dans un premier temps, il s'agit de maitriser où porte le *regard*, le spectateur devient libre de son point de vue. Ensuite, il y aura liberté de *mouvement* et possibilité de *déplacement et d'exploration*. Enfin, il y aura possibilité *d'interaction*, d'action/réaction sur l'environnement.

Au-delà du seuil, la transgression.

Tout cela a favorisé le développement d'applications et de spécialisations autour de l'idée du récit immergé dans une situation réelle, c'est le *Serious Game*[397], que l'on peut qualifier de jeu de rôle virtuel. Mais les applications observées pour le moment font peu appel à la qualité spatiale. En revanche, l'intérêt le plus important de la participation est la **transgression**. Immergé dans un monde qui donne toutes les illusions d'être réel, en parfaite expérience individualiste, l'utilisateur va chercher à franchir les interdits. Comme dans le bien nommé « F_ck You » de Lily Allen[398], la rue devient un terrain de jeu dans lequel tout est permis. Pour les joueurs des mondes vidéo-ludiques, c'est ce pouvoir de transgression qui motive l'implication. Traverser le temps, franchir des distances incommensurables et surtout être autre.

Marqueur important, le jeu vidéo *GTA*[399] (Grand Theft Auto), dont le premier opus date de 1997, a eu un succès considérable dans un premier temps par la rupture de tous les codes de morale, puis, et surtout, par la possibilité de quitter le récit prédéterminé par les développeurs et d'avoir la liberté d'explorer les moindres recoins d'une ville gigantesque, d'y utiliser tous les véhicules présents, d'interagir avec les habitants, d'expérimenter les contraintes climatiques. La possibilité de transgression offerte par l'immersion est d'aller au-delà du point de non-retour. Dans le cadre des mondes virtuels, les principes mêmes de la vie et des lois physiques sont débordées. La gravité terrestre, la matérialité des objets peuvent être *désactivées* pour franchir les limites de l'espace diégétique. C'est la recherche de l'envers du décor, mais un envers qui ne serait pas une continuité cachée de la scène, mais un monde négatif, où règne surtout le néant. La mort y est normalement bannie, les possibilités de renaissance sont infinies quelques soient les brutalités de d'exécution virtuelle du joueur. L'immortalité est même la plus grande transgression que l'on puisse attendre d'un univers immersif. On peut dès lors observer avec un grand intérêt un évènement qui a stupéfait la planète début octobre 2012 : des milliers de personnages

[396] http://www.google.com/glass/start/
[397] http://journal.seriousgamessociety.org/index.php?journal=IJSG
[398] Allen L. F_ck You, album It's Not Me, It's You, 2009
[399] http://www.rockstargames.com/grandtheftauto/

virtuels ont été massacrés dans le jeu en ligne World of Warcraft[400]. Des milliers de cadavres couvraient les espaces du jeu renvoyant les utilisateurs à une réalité que la fiction ne devait permettre : mourir virtuellement et ne pas renaitre.

Dans le clip musical du groupe A-Ha, *take on me*[401]une lectrice de bande dessinée se trouve accidentellement aspirée dans l'espace diégétique de l'image qu'elle détaillait. A l'intérieur du récit animé, elle tente de sauver le héros qui ne doit son salut qu'au franchissement inverse, le faisant accéder à notre monde. Le réalisateur, Steve Barron, exprime habilement la frontière diégétique, ici l'épaisseur de la feuille de journal, en déplaçant sa caméra d'un côté à l'autre. Dans le film *Panic sur Florida Beach*[402] de Joe Dante, un réalisateur de séries Z cherche à effrayer plus encore son public en utilisant des dispositifs mécaniques comme des fauteuils tremblants, des infrasons, des fumées dans la salle, allant jusqu'à jouer des passages du film directement dans la salle. Si le franchissement du seuil entre l'espace diégétique et l'espace vécu est un fantasme puissant, sa réalisation pose toujours problèmes. Dans la *Rose pourpre du Caire*[403], dans *PleasantVille*[404], dans *Last Action Hero*[405] le passage à travers l'écran, le franchissement du dernier interdit, même si cela ouvre à la réalisation des rêves les plus secrets, est toujours vécu comme une expérience traumatique.

L'ultime pouvoir du spectateur est de se dégager du spectacle, soit en coupant le flux, soit en quittant la salle. Ce pouvoir et ce droit à l'interruption est la dernière limite, le dernier seuil que ne doivent franchir les créatures de fiction.

Les dispositifs immersifs favorisent les conditions du récit des ambiances en faisant agir pleinement la fonction conative, autrement dit, l'implication et l'adhésion du spectateur. La question est de savoir maintenant comment ils s'intègrent non plus dans le contexte d'un spectacle mais dans celui de la recherche scientifique, en tant qu'objet d'étude et objet de médiation de la recherche scientifique pour elle-même et vis-à-vis du grand public.

Recherche, médiation et immersion

En 2010, à l'initiative de Serge Cassen, archéologue, directeur de recherche au CNRS, une grande étude a été lancé sur le site de Gavrinis, en Bretagne, afin de rafraichir les données géométriques et

[400] http://obsession.nouvelobs.com/hacker-ouvert/20121008.OBS4966/le-massacre-virtuel-des-joueurs-de-world-of-warcraft.html

[401] Barron S., Take on Me, clip vidéo réalisé en 1986 de la chanson du groupe norvégien A-ha écrite et composée par Morten Harket, Magne Furuholmen, et Pål Waaktaar-Savoy en 1985 au label Warner Bros. Records

[402] Panic sur Florida Beach (Matinee), Joe Dante, 1993

[403] La Rose pourpre du Caire (The Purple Rose of Cairo), Woody Allen, 1985.

[404] Pleasantville, Gary Ross, 1998.

[405] Last Action Hero, John McTiernan, 1993

graphique du prestigieux site néolithique. Le programme[406], développé sur une période de trois ans pour les acquisitions numériques (photos et 3D) et une petite dizaine d'années pour le traitement complet de la masse d'informations accumulées, cherche à ouvrir de nouvelles voies sur la façon d'articuler la connaissance en train de se constituer et la médiation auprès du grand public. Pour cette dernière, les enjeux principaux consistent à ne pas trahir le discours scientifique par une communication simplificatrice.

Figure 64 - Gavrinis, façade du cairn

Gavrinis est l'un des sites les plus prestigieux du monde néolithique. C'est un cairn, autrement dit un amas de pierre qui recouvre un couloir constitué de stèles dressées en parois verticales et des dalles constituant le sol et le plafond. A l'extrémité du couloir, une chambre presque carrée est couverte d'une spectaculaire dalle de couverture d'au moins de 23 tonnes[407].La rusticité de la description traduit mal la majesté des lieux. Situé sur une ile du Golfe du Morbihan, le cairn domine les lieux et impose une présence majestueuse. C'est une impression que chaque visiteur ressent le faisant alterner de perception sensibles à interrogations perplexes : le quand, le comment, le qui et le pourquoi. Ce sont ces réactions qu'il nous faut prendre en charge pour tenter d'apporter des réponses et des hypothèses valides sans éteindre notre propre émotion esthétique, pour pouvoir raconter *« l'histoire sensible d'un phénomène[408] ».* Le discours concernant le Néolithique est assez complexe à produire. Période historique peu connue du grand public, elle est souvent confondue avec la période celte qui ne survient que 3000 ans plus tard. La scène du druide effectuant des sacrifices sur des dolmens est encore présente dans l'imagerie populaire ainsi que celle d'Obélix et son menhir, ce qui montre l'inertie dans la diffusion des connaissances. A cette confusion temporelle, il faut ajouter un malentendu stylistique. Les mégalithes sont perçus comme un assemblage maladroit de pierres grossières fort éloignés de la rigueur

[406] Cassen S., Lescop L., Grimaud V., Gavrinis, A la recherche des représentations d'une tombe à couloir du IVe millénaire (1), 2011

[407] Voir le cahier technique pour le calcul de la masse de la dalle de couverture.

[408] Cassen S. Exercice de Stèle, une archéologie des pierres dressées, réflexion autour des menhirs de Carnac, Editions errance, 2009, P.7

formelle des constructions de que l'on identifiera comme les premières villes. Pourtant, ainsi que cela peut être apprécié dans certaines restaurations, les constructions font preuve d'une technique maitrisée, ce que transmettent difficilement les blocs ruinés qu'il nous reste. C'est pourtant une architecture savante, révélant le déploiement de très importants moyens techniques et humains. Les constructions que l'on retrouve et que le public connait le mieux, sont dédiées au funéraire, les habitations, construites avec des matériaux non durables sont plus difficiles à identifier. La première approche que nous pouvons avoir de l'homme du néolithique, par les restes que nous avons, passe par la mise en scène de la relation à la mort. Les grottes ornées du paléolithique semblent, à l'inverse, renvoyer immédiatement à des scènes de vie quotidienne telles que la chasse et donc à du vivant. Toutefois, les musées révèlent des objets du vivant dont le raffinement provoque immédiatement l'empathie. Les histoires à raconter sont moins nombreuses, moins spectaculaires et plus complexes si l'on reste dans la rigueur scientifique et que l'on se garde d'intégrer les explications ésotériques qui elles, sont fort présentes. Toutefois, la masse des monuments, leur place dans le paysage, le dialogue qu'ils entretiennent avec la géographie des lieux, sont autant de facteurs de fascination et d'intérêt pour tout un chacun.

La ville, les champs et les alentours se sont structurés avec, malgré et contre les mégalithes. Il en résulte ce curieux paysage breton où les pierres semblent plus être tombées du ciel que placées là par main d'homme. Elles bloquent une bordure de chemin, s'appuient sur un mur, poinçonnent un champ ou émergent à peine des eaux. Les mégalithes ont toujours été présents, à la fois dans le paysage et dans l'imaginaire collectif[409]. Le brutalisme des stèles les fait comparer par Elie Faure à de *« sombres bataillons de pierre, menhirs, dolmens, cromlechs*[410] ». Les traces du néolithique, pensées comme celtes en ce début de XXème siècle sont perçues comme stériles :

> « *rien de ce qu'on a ramassé sous les dolmens, qui abritent aussi des haches de silex, quelques bijoux, (…) rien ne rappelle la forme animale, rien ne rappelle la forme humaine. Il y a bien, dans l'Aveyron, un menhir sculpté qui représente, avec une puérilité terrible, une figure féminine, il y a bien, à Gavrinis, dans le Morbihan, sur d'autres menhirs, des arabesques remuantes comme des rides à la surface d'une*

[409] Pierre-Rolland Giot et Philippe Soulier, le temps des pionniers, *in* Claude Masset (Sous la direction de), Allées couvertes et autres monuments funéraires du néolitique dans la France du Nord-Ouest . Allées sans retour , Errance, 1995

[410] Élie Faure, Histoire De L'art, Tome I : L'art Antique, 1909, Le Livre de Poche, 1985

eau basse, ondulations, tremblements d'algues, qui doivent être des signes de conjuration ou de magie[411].»

Figure 65 - Gavrinis, gravures du couloir, détail de R4

Sites et perception

La prise en compte des nouveaux supports numériques interroge la scénographie des sites patrimoniaux. Le premier réflexe, nous l'avons déjà évoqué, est de mettre des écrans, tactiles, multimédia, pour aller dans la réalité virtuelle ou augmentée. De nombreuses expériences, desquelles le site de Cluny est le pilote, ont été menées avec de tels dispositifs. Si l'on donne à voir *plus*, l'on ne donne pas toujours à voir *mieux* et surtout, à ressentir les choses. Déconnecter sensation et prise de connaissance, ouvre de nouvelles pistes scénographiques impliquant l'échelle du site et la temporalité des visites.

Si un élément commun peut définir et lier les différents sites patrimoniaux, c'est la magie du lieu, le ***Genius Loci***[412]. Une impression sensorielle et sensuelle s'empare des visiteurs que les années, l'histoire, les symboles, l'échelle viennent activer et animer. S'abandonner au lieu, se laisser imprégner, est aussi une expérience patrimoniale intense. Norbert-Schultz[413] partant de la posture heideggérienne, le décrit ainsi comme *l'Art du lieu*, comme une expérience phénoménologique profonde et unique. Peut-on dès lors vivre cette expérience et s'adonner à une pratique instrumentale déréalisante ? Comment articuler connaissances et émotions ? Dans quel ordre, sur quels lieux, dans quelle temporalité, avec quels dispositifs ? D'un point de vue pratique, la préservation des sites ne permet pas toujours l'ajout de dispositifs numériques. Dans des cas toujours plus nombreux, le site ne devrait même plus être ouvert au public.

Les solutions passent donc par distinction nette de l'objet et de son attirail informationnel. De nombreuses solutions existent, passant

[411] Elie Faure, *ibid,* p.64
[412] Norberg-Schulz C., Genius loci: Paysage, ambiance, architecture, Mardaga, 1997
[413] Norberg-Schulz C., L'Art du lieu, Op.Cit.

souvent par la réalisation d'un centre d'interprétation, et éventuellement la reproduction de l'objet, à l'identique comme à Lascaux et maintenant Chauvet[414], ou avec une légère déformation homothétique comme la réplique de Gavrinis dans le musée de Bougon[415], à plus de 300 km du site morbihannais.

Echelles et temps.

La tendance actuelle à fusionner culture et tourisme impacte directement la question de la valorisation et de la médiation principalement sur la question de la temporalité. La constitution de la connaissance s'installe dans des durées longues et, entre le moment de la découverte à la généralisation de la diffusion, une à plusieurs décennies peuvent être comptées, plus encore si l'on compte une imprégnation totale, cela a été évoqué avec la question des menhirs et des celtes. On va généralement identifier six catégories de d'acteurs dans le processus de médiation :

1. *« Les propriétaires (owners) s'intéressent à la valeur économique et au capital culturel que leurconfère leur patrimoine.*
2. *Les gouvernements (governments) font du patrimoine national un outil de prestige et de légitimité.*
3. *Les visiteurs (visitors) obéissent à la logique de l'«Edutainment» mot valise qui recouvre deux motivations, le patrimoine comme lieu d'apprentissage (Education) et de loisirs (Entertainment).*
4. *Les universitaires (academics) développent une approche cognitive et experte du patrimoine, visant au contrôle des discours sur celui-ci.*
5. *Les médias (media) s'intéressent à l'aspect évènementiel et spectaculaire du patrimoine.*
6. *Les acteurs locaux (insiders) s'intéressent finalement au patrimoine comme reflet de l'identité de la communauté et de ses secrets.*[416] *»*

A cette liste, il serait peut-être bon d'ajouter le site lui-même en tant qu'entité produisant sa propre ontologie, ce que le chercheur et souvent le médiateur, cherchent à saisir. Chacun de ces acteurs fonctionne sur des temporalités différentes qu'il conviendra d'identifier. Pour schématiser la chose, on peut s'inspirer de la proposition de Stewart Brand dans le compte rendu du projet

[414] http://www.cavernedupontdarc.fr/

[415] http://www.deux-sevres.com/deux-sevres/Institutionnel/Tourisme/Lemus%C3%A9edestumulusdeBougon.aspx

[416] http://www.encatc.org/pages/fileadmin/user_upload/supervisors/FONTEVRAUD_REPORT_FINAL_FR.pdf , p.11

d'Horloge du Long Maintenant[417] *(The Clock of the Long Now*[418]). L'horloge du Temps Long est un argument de prise de conscience des temporalités auxquelles nous sommes confrontés en tant qu'humain et dont nous devons prendre conscience en tant qu'acteur de l'espace. Il faut imaginer des cercles concentriques en rotation, la couche supérieure allant plus rapidement que la couche en dessous et ainsi de suite.

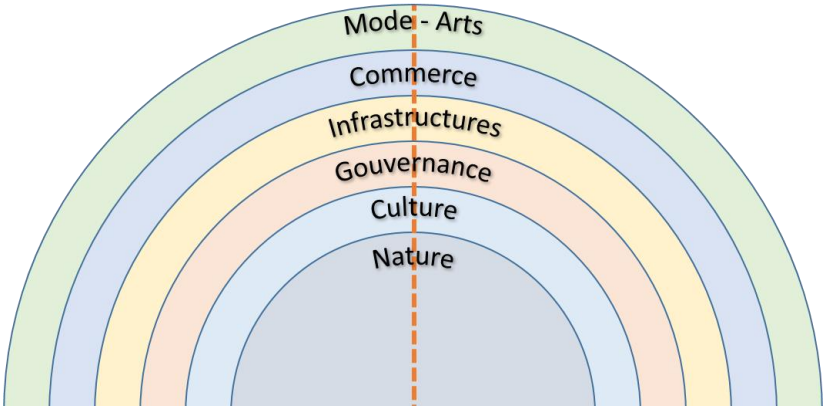


Figure 66 – Temporalités : synchronisation

A chaque couche on peut affecter un acteur temporel : la mode et les médias pour la couche la plus rapide, puis le commerce, les infrastructures, la gouvernance, la culture et la nature. On voit par cette figuration que le temps de la décision est plus longue que celle de la mise en place d'infrastructures qui accueilleront les lieux de diffusion mercantile de la connaissance, qui elle est encore plus longue à se constituer. La conséquence est que le temps de la décision peut conduire à une obsolescence rapide des produits culturels proposés.

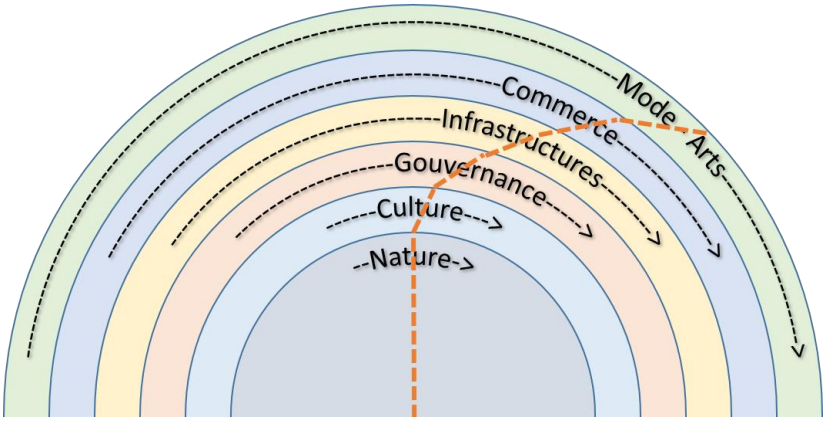


Figure 67- temporalités : désynchronisation

En mettant le modèle en mouvement, il est facile de constater qu'un sujet, que l'on pourrait voir traversant, va petit à petit subir des

[417] Stewart Brand, L'horloge du long maintenant : L'ordinateur le plus lent du monde, Tristram, 2012
[418] http://longnow.org/clock/

distorsions, des déphasages. Comment dès lors développer et rendre cohérent un projet en prenant en compte l'intérêt qu'il suscite à un moment donné, l'inscrire dans des infrastructures, lui donner une gouvernance et le relier aux racines culturelles auxquelles il se rattache. Cette question de temporalité et de patrimonialisation est au cœur de l'ouvrage de Jean Davallon, *Le don du patrimoine*[419], en ayant en ligne de perspective la question du fonctionnement symbolique ouvrant à la logique du don. C'est un défi extraordinaire, alors que, rappelons-le, tourisme et culture tendent à fusionner, comme c'est le cas à Nantes, sous une direction commune. Mais des jugements trop hâtifs nourriraient mal le débat.

Alain Roger dans Nus et Paysages, démontre que ce qu'il appelle *l'artialisation* [420] favorise l'appropriation, le beau donne à aimer : il faut rendre le sujet d'étude, le beau et désirable, non seulement pour se délecter de sa vision, mais également pour le comprendre et se l'approprier, c'est franchir le seuil de l'indéfini pour aller vers un paysage composé. La tendance actuelle est de déléguer aux outils numériques cette mission *d'artialisation*. Présenté comme une nouvelle rupture culturelle semblable à celle de l'invention de l'écriture, le numérique interroge les pratiques classiques, les ringardisant parfois. Toutefois, il s'agit de rester prudent : en rendant belle la pratique marchande, les applications informatiques dédiées au patrimoine font trop souvent passer la vente pour de l'expression artistique ou une posture inscrite dans la mode.

La question de la médiation passe donc immanquablement par la question de la représentation. La représentation est le support d'une pensée, d'un discours et est donc intimement lié à sa technique de réalisation, son support et à l'idéologie qui l'accompagne[421]. L'infusion du numérique dans le domaine de la culture et du patrimoine ouvre d'immenses possibilité pour le recueil de l'information, son traitement, la conservation des sources et la médiation auprès du public. Après une période de résistance, un emballement peut être constaté, afin de rendre disponible l'information à tout le monde et à tous moments. La prise en compte du territoire dans sa géographie et sa temporalité, de la préservation parfois opposée à l'exposition et surtout la compréhension de la poétique de l'espace opposée à sa traduction instrumentale sont autant de thématiques qu'il faut parcourir.

L'étude d'un site, sa protection et sa médiation demandent de concevoir des dispositifs particuliers, que le seul musée ne peut plus

[419] Davallon J., Le don du patrimoine : Une approche communicationnelle de la patrimonialisation, Hermes Science Publications, 2006
[420] Alain Roger, Nus et paysages, Aubier Montaigne, Nouv. Ed., 2001
[421] Cassen, S., Le Mané Lud en mouvement. Déroulé de signes dans un ouvrage néolithique de pierres dressées à Locmariaquer (Morbihan). *Préhistoires Méditerranéennes* 2, 1-58, 2011

remplir. Toutefois, la constitution de ce que nous appellerons le *musée vaporisé*, s'il favorise la diffusion, ne peut être envisagée que dans une dynamique territoriale impliquant à la fois les structures et les représentations de la ville : géographiques, humaines, symboliques et temporelles. L'inscription du triptyque Etude – Préservation – Médiation ne se fait donc pas forcément sur l'objet lui-même mais peut s'envisager sur son halo d'influence, préservant ainsi des scénographies d'information et des scénographies d'émerveillement. C'est donc une approche associant *l'ontologie* de l'objet, en ce qu'il est et produit comme connaissances, et la *phénoménologie* de l'objet en ce qu'il génère de perceptions et de récits à travers les générations.

La question de l'ontologie de l'objet est plutôt bien documentée car elle accompagne maintenant les démarches de relevés et ce qu'il faut enregistrer comme informations pertinentes. Ces informations sont organisées dans des bases de données qui doivent être interopérables[422]. La dimension phénoménologique est plus complexe à produire car elle demande d'embrasser un horizon beaucoup plus large foisonnants d'informations diverses qu'il faut savoir décrypter. *Exercice de Stèle*[423] de Serge Cassen en est un exemple appliqué au site de Carnac dans le Morbihan.

Quelques dispositifs immersifs dédiés à la recherche.

Nous avons évoqué quelques dispositifs immersifs développés pour le monde des arts, mais il existe de très nombreux exemples de systèmes dédiés à la recherche. On peut les répertorier dans des typologies allant du plan à la sphère. L'association *Clarté*[424] à Laval possède par exemple une salle collaborative avec écran de projection possédant, par la taille et l'interaction des caractéristiques proto-immersive. L'écran peut être couché et devenir table collaborative comme le développe l'équipe de *Archéovision*[425] dirigée par Robert Vergneux à Bordeaux. La société Immersion[426] décline ces plans immersifs à différentes échelles et formats que l'on utilise avec des interfaces restituant le relief et/ou permettant d'interagir avec le contenu. La PRI *Design'in* à Nantes donne accès à un système de deux surfaces de projection[427], l'une frontale, l'autre au sol restituant le relief grâce à des lunettes traquées, tandis qu'à Rennes, ce sont trois

[422] Szabados A.V., Letricot R., L'ontologie CIDOC CRM appliquée aux objets du patrimoine antique. 3e Journées d'Informatique et Archéologie de Paris - JIAP 2012, Jun 2012

[423] Cassen S., Exercice de Stèle, *Op.Cit.*

[424] http://www.clarte.asso.fr/realite-virtuelle.php/une-salle-pour-le-travail-collaboratif.html

[425] http://archeovision.cnrs.fr

[426] http://www.immersion.fr/projet-rd-2c3d-2c3d-collaboration-pour-la-conception-3d/

[427] http://www.designin-paysdelaloire.fr/articles_bloc/realite-virtuelle-usages-reels/

surfaces, frontal, sol, côté, qui caractérisent l'équipement de Immersia de *l'INRIA*[428]. Le SAS cube est un dispositif comprenant cinq surfaces planes de projection avec tracking intérieur et restitution d'une vision 3D grâce à des lunettes. On en trouve un exemplaire à *Clarté*.

Autre type, ce sont les écrans formés par des *portions de* cylindre ou de sphère. La salle de réalité virtuelle de *l'IRCICA*[429] (Institut de Recherche en Composants logiciels et matériels pour l'Information et la Communication Avancée) possède un écran courbe (portion de cylindre) de 5m de large fonctionnant avec deux vidéoprojecteurs. La SAT de Montréal, déjà évoquée, en accompagnement propose des demi-sphères immersives, les *Panoscopes360*[430], allant du sol à l'équateur, de tailles variables et équipées d'un seul projecteur. Avant-dernier exemple concernant les centres de recherche, mais bien d'autres pourraient être listés, l'Elbe-Dom[431] du Fraunhofer-Institut à Magdeburg qui fait 16 mètres de diamètre et 6.5 mètres de haut avec une surface de projection à 360° couvrant plus de 300 m². On peut trouver dans le monde du spectacle de très nombreux exemples de dômes immersifs. Terminons enfin afin avec la tour de contrôle éloignée (*Remote Tower*) du groupe Saab[432], qui est un écran panoramique cylindrique sur lequel est projetée l'image enregistrée de caméras positionnées auprès de la piste. Les avantages sont multiples, le premier étant de superposer des informations en réalité augmentée à l'image réelle.

Plus rare sont les systèmes immersifs nomades. La société *Elumenati*[433] propose des solutions dispositifs / projecteurs / logiciels adaptés à des besoins de salons ou d'évènements intérieurs / extérieurs. On peut citer l'étonnant *Virtusphere*[434] qui est une sorte de cage d'écureuil dans laquelle se place l'utilisateur équipé d'un casque de réalité virtuelle. En marchant, la sphère tourne résolvant ainsi le problème chronique de l'association d'une image dynamique à un mouvement réel. Terminons avec un projet de bulle immersive, *Imersive Cocoon* ou *I-Cocoon*[435], du collectif NAU et du designer Tino Schaedler. La bulle se présente comme une sphère noire, dans laquelle une personne interagit avec un environnement virtuel.

---

[428] http://www.inria.fr/centre/rennes/innovation/multimedia
[429] http://www.lifl.fr/pirvi/pirvi_salleRV.php
[430] http://panoscope360.com/
[431] http://www.vdtc.de/en/laboratories-vdtc/elbe-dom.html et http://www.domeprojection.com/360-elbe-dom-fraunhofer-iff-vdtc/
[432] http://saab.com/security/air-traffic-management/air-traffic-management/remote-tower/
[433] http://www.elumenati.com/products/domes/
[434] http://www.virtusphere.com/
[435] http://nau.coop/set-design/immersive-cocoon-2011/Shot05FG3B_00000_WEB/

Ces quelques exemples cherchent à montrer que les systèmes immersifs restent soit conditionnés dans des laboratoires de recherche, soit développés pour le jeu ou des applications ludiques, mais pas réellement pour des applications scientifiques à but patrimonial. Lorsque la question de l'immersion est posée pour la connaissance de lieux anciens, les réponses vont plutôt vers des tablettes pour des applications de réalité augmentée ou des lunettes immersives de type Occulus Rift[436], ce qui vient un peu en contradiction avec l'intérêt d'une visite sur site.

Cela pose une vraie question d'accessibilité du public à de tels dispositifs dans le cadre de valorisation patrimoniale alors que le sujet revient régulièrement dans l'argumentaire des équipements universitaires[437] et du rapport des sites à leur restitution virtuelle. C'est autour de cette question qu'a été développé le *Naexus*.

Le Næxus

Le Næxus – Virtual Space Scope est un dispositif de visualisation immersif développé à l'origine à la Hochschule Anhalt (FH) de Dessau et inscrit désormais en coproduction scientifique et technique avec l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, le laboratoire CRENAU. Il se distingue des systèmes équivalents par le fait qu'il soit démontable, transportable dans une fourgonnette parce qu'il fait moins d'une tonne et dont le système permet accepter tous types de contenus. C'est une solution quasiment inédite dans le corpus des dispositifs immersifs dédiés à la recherche ou à la valorisation.

Michael Walter, étudiant à la HochSchule Anhalt[438] de Dessau en Allemagne, a proposé pour son diplôme d'architecte en 2010, une bulle immersive pouvant être installée sur les sites archéologiques ou dans les musées. Cela impose un système nomade, ouvert, facile à monter et à démonter, utilisable par un opérateur pouvant appartenir à la structure d'accueil. La première réflexion a porté sur l'esthétique du dispositif, son aspect visuel doit être autant un appel qu'un signal. Généralement, les dispositifs immersifs sont des « cavernes » dans lesquelles on entre et dont on ne perçoit pas l'enveloppe extérieure. Dans le cas du *Næxus*, l'objet, impose sa présence au sein d'un environnement sans qu'il ne soit nécessaire d'imposer une scénographie. Une des références conceptuelle du projet est la lanterne magique dee par l'aspect cylindrique d'un objet cinétique animé par la lumière. Cela fait penser au *Praxinoscope*, invention brevetée en 1877 par Émile Reynaud ou au *Tachyscope*, inventé en 1887 par Ottomar Anschütz à Lissa.

Le Næxus a bénéficié d'un soutien très actif de la Hochschule Anhalt (FH) de Dessau et s'est inscrit en coproduction scientifique et

[436] https://www.oculus.com/en-us/
[437] http://www.irisa.fr/immersia/jna/
[438] http://www.hs-anhalt.de/

technique avec l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes et des laboratoires CERMA et GERSA maintenant fusionnés au sein du CRENAU. Deux exemplaires ont été construits, un en Allemagne et l'autre en France. Les développements faits sur l'un des sites bénéficie à l'autre et réciproquement. Le Næxus se présente sous la forme d'une bulle immersive équipée dans son espace intérieur d'un écran panoramique et d'enceintes pour la restitution d'un son tridimensionnel. A l'extérieur, la structure offre des surfaces d'exposition. Dans le modèle actuellement en service, le rayon maximal est de 6 m, l'utilisateur est au centre d'un cercle de 5 m de diamètre ce qui correspond à la présence d'une dizaine de personnes à la fois.

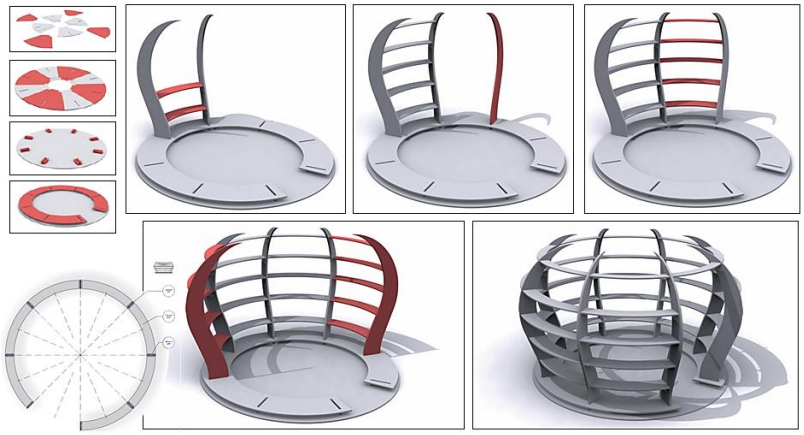


Figure 68 - Næxus, principe de montage

L'impression d'immersion est donnée par la couverture de l'ensemble du champ visuel. La projection se fait sur un écran courbé à 220° d'1 m 50 sur 15 mètres de long. L'image environne complètement l'utilisateur, lui procurant une forte sensation immersive. Techniquement, Næxus est équipé de 4 vidéoprojecteurs classiques de type Home cinéma, placés sur la partie haute de la structure. L'image projetée à l'écran est n'est produite que par une seule machine, qu'elle soit issue d'un logiciel 3D, d'un film ou de toute application contrairement aux systèmes équivalent demandant une machine par vidéoprojecteur. Les systèmes est donc parfaitement transparent pour l'utilisateur. Au sortir de l'ordinateur, elle est découpée puis répartie sur les vidéoprojecteurs et recomposée sans que les jointures ne se voient grâce à la technologie VIOSO[439].

Le support de l'écran est ce qui donne son aspect à l'objet. Il s'agit de six plateaux horizontaux pouvant servir de support à des objets exposés sur la face extérieure du Næxus. Ces six plateaux sont tenus par huit montants verticaux. L'ensemble est en bois, les plaques de 8mm ont été découpées par une machine à commande numérique

[439] http://www.vioso.com/

(CNC) à l'Ecole du Bois (ESB[440]) pour la version française. L'assemblage se fait par tenon et mortaise et visserie. La stabilité de l'assemblage est assurée par sa forme sphérique, une fois tous les éléments en place. Le montage se réalise en une journée avec une équipe de trois personnes.

Le Næxus travaille avec un son 3D. Cela signifie que, les yeux fermés, il est possible d'évaluer la distance à la source et sa position précise dans l'espace, ce qui n'est pas possible avec un système classique 5.1 et encore moins stéréophonique. Les enceintes sont placées dans une géométrie précise au centimètre, dans le cas de ce dispositif, c'est une sphère, avec une couronne à hauteur d'oreilles de 5 enceintes, 2 zénithales et 1 basse dans l'axe accompagnée de 2 caissons de basse en latéral. Le logiciel Bidule[441], construit la géométrie virtuelle de l'espace sonore. La carte MOTU[442] connectée par USB fait l'interface entre le système logiciel et les enceintes.

Figure 69 - Næxus, système de projection

L'écran, après avoir été longtemps translucide, est monté sur un contreplaqué fin divisé en 5 segments. La longueur impose les modules pour le transport et le nombre impair de segment est donné par la contrainte de ne pas avoir de jointure dans l'axe principal du regard, même si l'assemblage est quasiment invisible. L'écran est l'élément le plus complexe du dispositif, sa position, sa forme, son envergure conditionnent directement l'usage et le confort d'utilisation. Trop haut, les spectateurs se trouvent dans une position incommode, trop bas et les projecteurs produiront des ombres. Si l'écran est trop long, les visiteurs hésiteront à entrer dans le Næxus, s'il est trop court, l'impression d'immersion sera amoindrie pour ressembler à un écran cinématographique. A simple courbure, l'écran est économique et facile à fabriquer, à double courbure, il offre une

[440] http://www.ecoledubois.fr/
[441] http://www.plogue.com/produits/bidule/?lang=fr
[442] http://www.motu.com/index.html

impression de relief saisissante, mais le coût grimpe spectaculairement.

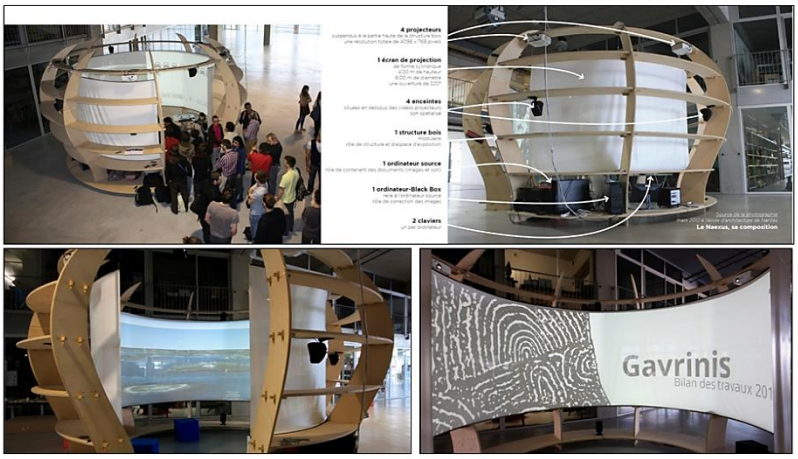


Figure 70 - Nœxus, aspect général

Le Nœxus est un compromis technique. C'est un compromis entre le prix, la souplesse d'usage, la qualité d'affichage et de diffusion sonore. C'est aussi un manifeste technologique cherchant à porter du contenu scientifique auprès du grand public, là où il se trouve. Les composants sont donc ceux du marché, les vidéoprojecteurs, les enceintes, les ordinateurs sont ceux des catalogues. D'un point de vue informatique, le Nœxus optimise à la fois les questions de réglages et les contraintes de formats. En opérant une image panoramique de 4096 pixels à partir d'une seule machine, nul besoin de convertir les données pour les faire accepter par le dispositif. Les images, films, diaporamas, visites virtuelles en temps réel, tout ce qu'un ordinateur classique fait tourner, fonctionnera dans le Nœxus. C'est un avantage indéniable, tant en contrainte de maintenance qu'en constitution de contenu.

Usages du Nœxus

Le Nœxus présente plusieurs atouts d'usage par rapport à des systèmes équivalents, parfois plus spectaculaires, mais moins souple dans leur utilisation. Le premier concerne le rapport à l'image. En permettant aux usagers de s'approcher de l'écran, de le toucher, de pointer du doigt ou de la main, on établit un rapport plus proche du tableau d'écolier que de la salle de cinéma. Cette distance annulée entre la main et l'image demande à l'usager de se déplacer, de s'approcher, de s'éloigner, d'attirer l'attention d'un côté puis de l'autre. La main joue le rôle d'un zoom alors que l'ensemble de l'image reste affichée. L'interaction peut se faire également via une interface telle que la Kinect. Dès lors, l'utilisateur commande à distance l'image ou les fonctions qui lui sont proposées.

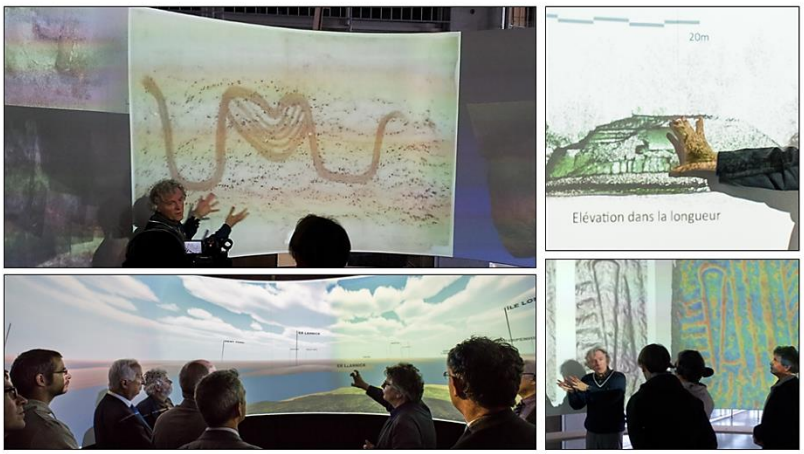


Figure 71 - Næxus, utilisation, le contact avec l'écran rend la médiation plus facile.

Pour les présentations au public, il a été toutefois nécessaire de prendre certaines précautions et répondre aux contraintes de sécurité. En tant que prototype, le Næxus n'est pas spécialement préparé pour un classement au feu dans le sens où il n'a pas de certificat, mais les matériaux utilisés sont M2 et le dispositif n'a pas de structure en surplomb du public, ce qui le met dans la catégorie des mobiliers, moins contraignante. Une restriction stricte du nombre de spectateurs simultanément et la présence d'un médiateur permet de voir le dossier accepté par les pompiers. De par sa conception, le Næxus, possède 2 unités de passage pour laisser entrer et sortir le public, il est donc conforme. Le poste de contrôle, lieu où se trouvent les ordinateurs et les écrans de contrôle doivent être hors de portée du public, ce qui est fait grâce à une régie mobile et déportée.

Création d'un contenu pour le Næxus

Même après sa fermeture vers 3400 av. J.-C., le monument de Gavrinis n'est pas oublié et conserve une présence dans la culture vernaculaire. Les explorations du XIXème siècle, en 1832 tout d'abord, puis entre 1884 et 1886 avec G. de Closmadeuc[443] donnent au site une notoriété dans les sociétés savantes et suscitent un vif intérêt. Les contours du cairn/tumulus enveloppant le couloir et la chambre ne sont restitués que dans les années 70, par le Service régional de l'archéologie de Bretagne dirigé par C.-T. Le Roux[444]. Le relevé des gravures date lui de 1981 grâce à Elizabeth Shee Twohig[445] et a été le seul utilisé depuis. Le projet déposé fin 2009 se proposait de réaliser un enregistrement complet du site, et de constituer une nouvelle base de connaissance destinée au travail d'interprétation

[443] Closmadeuc G. (de), L'Île de Gavrinis et son monument. Vannes : Imp. Lamarzelle, 1864

[444] Le Roux C.-T., 1984. À Propos des fouilles de Gavrinis (Morbihan). Nouvelles données sur l'art mégalithique, Armoricain. Bull. Société Préhistorique Française, 1, 8, 1984, p. 240-245.

[445] Shee Twohig E., The Megalithic Art of western Europe. Oxford : Clarendon Press, 1981

archéologique puis de réfléchir à un mode de diffusion complémentaire auprès du public.

Le site de Gavrinis porte en lui trois échelles imbriquées : l'échelle large du territoire impliquant la constellation des sites morbihannais, l'échelle du site avec son architecture et enfin l'échelle des gravures. La description de l'ensemble ne rend que partiellement compte de la compréhension que l'on peut avoir du sujet à chacune de ses échelles. Si ce que l'on appelle *l'image de restitution* possède trois composantes[446] :

1. la partie connue,
2. la partie reconstituée et
3. la partie complétée selon les faisceaux d'hypothèses

Il y a pour Gavrinis un obstacle particulier qui rend le travail de restitution infiniment complexe à présenter pour la médiation : l'architecture est irrégulière, ne répétitive et non prédictible. Autrement dit, les hypothèses visant à compléter le modèle sont largement spéculatives et exposées à d'importants débats. Lors de nos présentations au public, cet aspect se fait largement sentir occasionnant des réactions d'incompréhension comme si la prudence affichée était synonyme d'ignorance. Cela a conduit à créer un contenu restituant une démarche d'investigation plus qu'une restitution virtuelle telle qu'on peut les voir par ailleurs[447].

La visite virtuelle de Gavrinis

Le contenu de la présentation a fait l'objet de nombreuses discutions. Si le programme de recherche concernant Gavrinis inclut la problématique de valorisation, les délais impartis et l'adéquation avec le programme de publications ont demandé quelques ajustements. En effet, la rigueur scientifique demande à ce que les résultats proposés au public aient au moins déjà été discutés par les pairs dans le cadre de publications académiques. Ainsi ont été triés les résultats validés des résultats encore spéculatifs. Le Conseil Général du Morbihan a préparé et accompagné l'évènement de nombreux visuels et articles dans la presse. Les visuels devaient refléter à la fois la spécificité du dispositif tout autant que l'annonce du contenu. De nombreux aller/retour ont été nécessaires pour doser chaque élément.

[446] Golvin J.C., Signification Et Problèmes De Définition, *in* de la restitution en archéologie, Editions du Patrimoine, CMN, 2008

[447] Lescop L., Cassen S, Grimaud V., Naexus : dispositif immersif mobile pour la valorisation du patrimoine, Virtual Retrospect,Bordeaux 27/11/2013

Figure 72 - Næxus, préparation du contenu, les stèles de Gavrinis

La médiation a été organisée autour de deux pièces majeures réalisées par l'entreprise MgDesign dans le cadre du programme de recherche : la visite virtuelle et interactive du cairn et le détail de la chronologie de L6 sous la forme d'un film. Ce dernier se déclenche à volonté lorsque la visite virtuelle passe aux voisinages de la dalle. En introduction de la visite, des visuels contextualisent la période historique concernée puis mettent en évidence, lors d'une petite animation interactive, les relations visuelles entre les grands sites du Golfe du Morbihan, dessinant ainsi la densité des sites mégalithiques du Golfe.

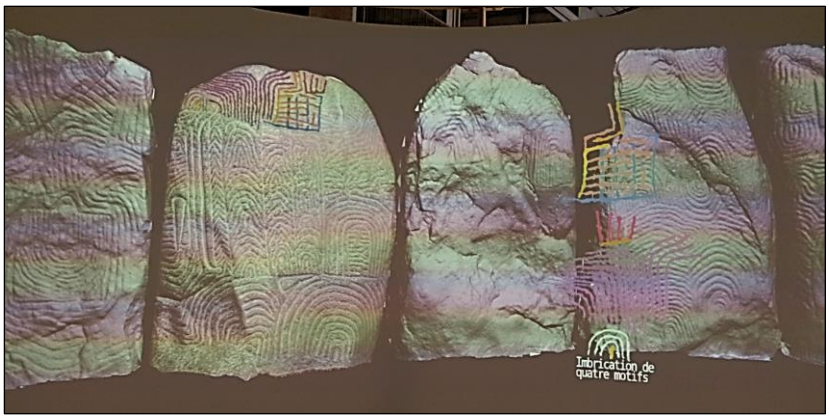


Figure 73 - Næxus, détail de la projection

La première partie expose des éléments de contextualisation concernant le néolithique, les mégalithes et les définitions des termes utilisés. Puis une visite sur le sommet du cairn de Gavrinis ouvre un vaste panorama sur les sites voisins et lointains mettant en correspondance visuelle ce qui aujourd'hui ne l'est pas, plus ou difficilement. La visite virtuelle, bien que libre pour répondre et réagir aux sollicitations du public, propose un travelling dans le couloir, puis une bascule à travers les stèles afin d'apprécier le couloir dans toute

sa longueur, puis passe au-dessus de la dalle de couverture pour admirer les gravures non accessibles au public.

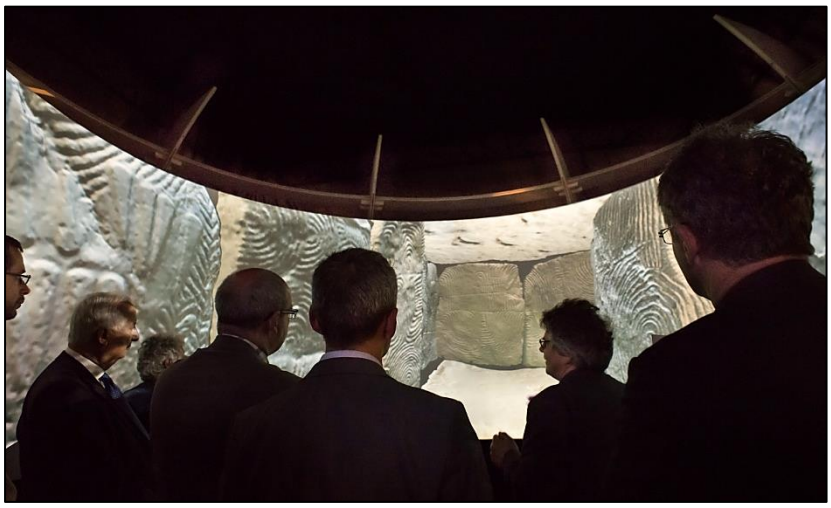


Figure 74 - Næxus, visite virtuelle de Gavrinis

Le film du L6 présente les différentes étapes de la chronologie des gravures et fait un point d'arrêt sur la question du bateau. Le film en HD fait 3 minutes et 53 secondes.

Figure 75 - Næxus, le film de la dalle L6

L'accueil du public a été particulièrement favorable, louant à la fois le principe de l'installation et le contenu proposé. Les réservations de la journée étaient complètes dès les premières heures du matin, ne dissuadant cependant pas les visiteurs de réclamer des visites supplémentaires.

Au-delà de l'évènement proprement dit, plusieurs enseignements ont retenu notre attention pour les actions à venir. Tout d'abord de nombreux visiteurs ont précisé qu'ils trouvaient dans la visite virtuelle les compléments d'information qui leur manquaient pour comprendre le site. Cela concerne en particulier l'organisation du monument, les positions relatives de chaque objet et bien entendu l'appartenance à la structure paysagère. La visite virtuelle les a fait considérer la visite sur site de façon différente, leur permettant de projeter des connaissances sur un fond réel. La visite virtuelle n'est jamais considérée comme une substitution à la visite réelle, mais bien un complément spectaculaire permettant de saisir les enjeux

complexes des constructions mégalithiques. Cela invite à penser que si un support numérique peut accompagner la visite réelle, il ne peut être qu'un élément utilisé ponctuellement au même titre que la lampe de poche, le classeur à feuillet ou la boussole. Il n'est pas envisageable d'imaginer la visite de Gavrinis derrière une tablette tant il est important de s'imprégner de la magie du lieu. En revanche, une visite virtuelle précédant ou concluant la visite réelle serait un atout considérable pour ajouter à l'émotion, la dimension pédagogique.

Le public a fait parfois le reproche de ne pas être assez affirmatif dans les hypothèses présentées et le rappel des doutes, des jeux d'hypothèses, des travaux complémentaires à effectuer a, de temps en temps, été considéré comme suspect, voir problématique. C'est une question à considérer avec attention, car la frontière entre le parc d'attraction et la valorisation scientifique peut être ténue voir floue. Ce sont des questions qui ne seront pas traitées ici, mais qui nourrirons nos futures réflexions.

Figure 76 - Næxus, accès au port de Vannes

Autres utilisation du Næxus

Scopitone / White Box

Purform : White Box / Næxus (Ca) est une co-production Elektra / École Supérieure d'Architecture de Nantes / Scopitone

Figure 77 - Næxus à Scopitone 2011, White Box

Présenté en version démo à Scopitone 2010, Næxus est dévoilé à cette occasion dans sa version finale. Le dispositif doté d'un écran panoramique et d'un son diffusé en multicanal est le fruit d'un travail de recherche mené par le Gersa et Cerma de l'Ecole d'Architecture de Nantes, en collaboration avec l'Université de Dessau en Allemagne.

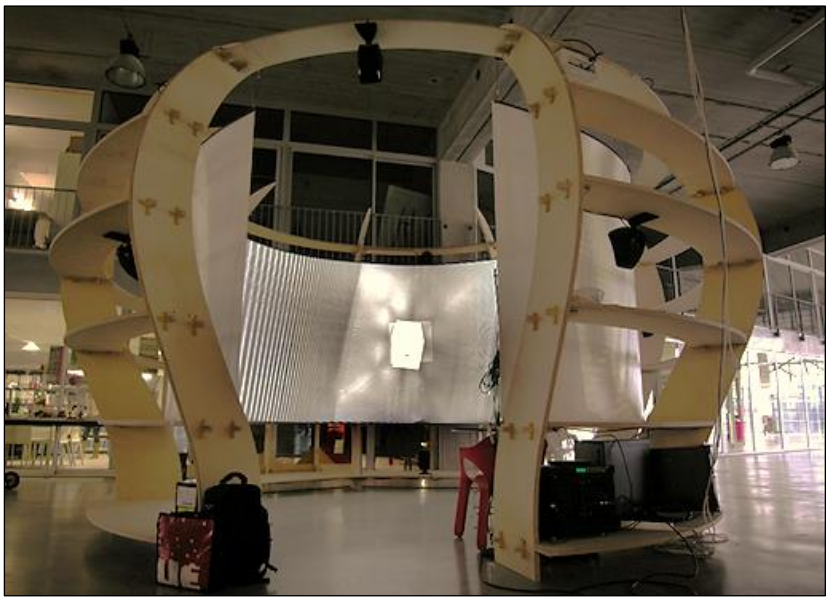


Figure 78 - Næxus Scopitone, White box

La collaboration avec Scopitone a permis d'y adapter la performance White Box[448] présentée à Stéréolux, afin de mener ce travail artistique au plus loin de son expérience immersive. La relation fusionnelle du son et de l'image y prend alors tout son sens. Des

[448] http://www.purform.com/white_box.html

conférences sur l'immersion visuelle et sonore ont été proposées à l'école nationale supérieure d'architecture le 11 octobre 2011.

Cette expérience a permis de montrer que l'approche figurative n'est nullement un aboutissement à des recherches sur l'immersion et la réalité virtuelle. Le jeu de trames de Yan Breuleux[449] produit autant de sensations visuelles, kinesthésiques et narratives qu'un univers dit réaliste.

Scopitone / ExplorNova

ExplorNova a été à l'affiche du festival transdisciplinaire Scopitone 2013, à Nantes, du 17 au 22 septembre 2013. ExplorNova a proposé, en association avec le laboratoire Arts et technologies de Stereolux et iRéalité - Capacités de l'Université de Nantes, deux moments:

- l'installation ExplorNova 360° : une découverte interactive immersive des observations du télescope spatial Herschel de l'Esa et des panoramas en haute définition du rover Curiosity de la Nasa.
- la table ronde sur les expériences sensibles de l'Univers: Que cache à nos sens l'obscurité de l'espace ? Quelles sont les vraies couleurs de Mars ? Peut-on donner une expérience sensible de l'univers et des instruments qui l'observent ? Et comment les arts, la création et les outils numériques peuvent-ils y contribuer ?

Partenaires ExplorNova 360° / Scopitone 2013 : Laboratoire AIM Paris-Saclay (CEA/Irfu), Laboratoire de Planétologie et Géodynamique de Nantes (Université de Nantes), CFV - Centre François Viète (Université de Nantes), iRéalité - Capacités (Université de Nantes), Stereolux - Laboratoire Arts & Technologies, Société d'astronomie de Nantes, Planétarium de Nantes, Ecole nationale supérieure d'Architecture de Nantes

[449] http://www.ybx.ca/

Figure 79 - Næxus, Scopitone 2013, ExporNova, vue du contenu

Figure 80 - Næxus, Scopitone 2013, ExplorNova, installation

Le Naexus 2.0 "light"

Le Naexus 2.0, dit "light", se compose de dix écrans HD montés en deux lignes pour une résolution maximale de 9600X2160. En fonctionnement classique, la résolution est divisée par deux pour atteindre 4800X1080. A titre de comparaison, le Naexus 1 affiche une résolution de 4096X768.

Figure 81 - Næxus 2.0, réglage de l'affichage

Les écrans sont enchâssés dans un mobilier permettant leur transport et leur protection. Les panneaux se referment, les composants se désolidarisent pour entrer en configuration “Flightcase”. Une fois assemblés, les meubles et écrans ouvrent un éventail de lumière. Les tests sont en cours. La configuration des écrans, leur résolution, les exigences de fonctionnement sortent des registres prévus par les fabricants. Il faut adapter, inventer, trouver des solutions inédites. Le monde des jeux vidéo procure des solutions adaptées aux besoins : permettre un affichage plein écran d’un bureau étendu sur l’ensemble des 10 écrans, le tout, en haute résolution.

Le Næxus 2.0 est présenté pendant le mois de mai 2015 au Kiosque de Vannes. L’Ecole Nationale Supérieure d’Architecture de Nantes et l’Ardepa (Association de Diffusion et de promotion de l’architecture) proposent deux dispositifs interactifs et immersifs et des contenus originaux pour aller à la découverte de l’histoire du Golfe du Morbihan.

Figure 82 - Næxus 2.0, installation au Kiosque de Vannes

Puis le Næxus a tourné durant l'été 2015 de Carnac dans la Chapelle des Congrégations puis à Arzon sur le port du Crouesty. Un contenu particulier a été réalisé pour l'occasion, un film *La stèle manquante* écrit par Marie-Anne Sorba et réalisé par Jean-Marc Cazenave pour Fred Hilgemann Films, est illustré des relevés numériques et images 3D que j'ai réalisé avec l'appui des scans laser de l'entreprise Morel Mapping WorkShop.

La configuration est moins immersive du fait des proportions de l'écran, mais offre les avantages de pouvoir être démontée et remontée en quelques heures et d'avoir bien moins de contraintes de hauteur.

Figure 83 - Næxus 2.0, installation à la Chapelle des Congrégations à Carnac

Conclusion de la Troisième partie.

Nous avons vu dans un premier temps que l'immersion pose la question des conditions du récit. L'immersion peut être décrite par la combinaison de trois mouvements : l'enveloppement, la saturation, la participation. Si l'utilisateur a le sentiment de franchir le seuil de l'espace diégétique, il peut développer une volonté de transgression avec laquelle nous pouvons travailler. La transgression peut être aussi le fait de proposer des vues, des assemblages ou des animations que le réel ne permet pas.

Dans un deuxième temps, s'est posée la question de la médiation et donc de la confrontation ou de la mise en cohérence de message scientifique et de la communication destinée au public. La dimension temporelle s'est révélée majeure, car, outre le fait qu'elle caractérise les lieux patrimoniaux, elle décrit surtout les risques de déphasages qui peuvent exister entre les systèmes à inertie lente comme la recherche aux systèmes à inertie rapide comme la mode ou les nouvelles technologies de communication. La gouvernance chargée de protéger et promouvoir un site patrimonial doit pouvoir prendre en charge cette contrainte. Du côté de la recherche, dans le cadre des relevés que nous effectuons, nous prenons garde à tendre une chaine

continue entre la constitution des données et leur exploitation en médiation. Cela évite la trahison du discours archéologique en n'exploitant que la source scientifiquement validée.

Dans un troisième temps, nous avons vu que pour faciliter la médiation, il peut être avantageux de travailler directement à proximité du site concerné. Les visiteurs passent dès lors d'une immersion sensible au sein du site réel, ils s'imprègnent de l'esprit du lieu et prennent la mesure du paysage, puis peuvent aller s'immerger dans une visite virtuel à l'aide d'un dispositif mobile, le Næxus, positionné non pas sur le site, mais non loin. Là, les visiteurs peuvent prendre connaissance, grâce aux technologies de réalités virtuelles des dernières recherches en cours. Le fait d'articuler une immersion réelle et une immersion virtuelle permet d'éviter, ce qui bien souvent proposé, de visiter un site ancien en le regardant à travers un écran.

La valorisation du site de Gavrinis, par exemple, se pense dans le contexte global de la géographie morbihannaise comme un des points clés d'une structure pensée de façon symbolique au Néolithique. Sans être trop spéculatif, on comprend qu'il a existé une organisation du territoire dans laquelle se retrouvent les notions de points de repère, de limites, de nœuds, de chemins et de zones, vocabulaire que nous pourrions emprunter à Kevin Lynch[450]. Si l'on fait temporairement l'économie de la chronologie fine et des nuances architecturales, les repères sont les cairns, émergeant dans le territoire en points hauts, les limites sont probablement celles définies par certains alignements, les nœuds sont les points de focalisations où l'on va trouver les dépôts d'objets socialement valorisés, eux-mêmes placés sur des chemins, d'anciens habitats ou des accidents topographiques, qu'il s'agit d'identifier. Enfin les zones correspondent à des ensembles structurés comme les ouvrages principaux de pierres dressées de Carnac, ou bien les dispositifs alliant emplacements funéraires ostentatoires et stèles ou bien plusieurs cairns pour ce qui est en tout cas de l'architecture de pierre.

[450] Lynch K., L'Image de la cité, Dunod, 1998

Conclusion générale : être-là

En 1943, un raid aérien des Alliés détruit complètement la maison de Walter Gropius à Dessau et endommage très sévèrement celle de László Moholy-Nagy. La maison de Gropius, celle de Moholy-Nagy et celle de Lyonel Feininger mitoyenne, forment avec celle de Georg Muche et Oskar Schlemmer et celle de Wassily Kandinsky et Paul Klee un ensemble remarquable que l'on appelle les Maisons de Maîtres. Située Ebertallee, non loin de l'école du Bauhaus, ce sont des architectures « *blanches, simples et cubiques* [451]» construites très rapidement en 1926. Après la Deuxième Guerre Mondiale, la maison de Gropius est remplacée par une maison typique de la Saxe Anhalt, sur les fondations de l'ancienne maison qui avaient résisté. Le style de cette nouvelle maison, contrastant violemment avec les concepts du Bauhaus, était aussi une façon, alors que le territoire était devenu Est-Allemand, de rejeter un modèle qui n'a jamais plu aux régimes autoritaires. Les autres maisons de Maîtres, restées intactes, ont été louées à des familles qui les ont transformées les rendant méconnaissables.

A la chute du mur, un effort de restauration a été entrepris aboutissant au classement en 1996 au patrimoine mondial de l'UNESCO. La maison de Gropius, désormais maison du médecin, est restées comme une trace de l'histoire mouvementée du site, et de nombreux débats ont opposé les partisans d'une restauration à l'identique à ceux d'une conservation des strates historiques. Symbolisant cette indécision, une structure métallique a été construite en avant de la maison du médecin pour figurer le gabarit de la maison de Gropius. Finalement, en 2014-2015, les prises de décision se sont accélérées pour détruire la maison d'après-guerre et la remplacer par une pure architecture conceptuelle.

La question de la maison de Gropius synthétise l'ensemble des points abordés dans ce mémoire. Ambiance en représentation, la maison du maître est un manifeste formel, une géométrie rigoureuse faisant dialoguer l'horizontalité et la verticalité, les pleins et les vides, les espaces de vie et les espaces de circulation. C'est aussi un manifeste de maîtrise climatique, avec de larges baies apportant de la lumière pour l'agrément et le travail, la thermique est régulée par de grands radiateurs s'intégrant dans l'épaisseur des murs. De larges terrasses embrassent le paysage, cadrent les vues, jouent des verticales des pins plantés tout autour[452]. L'hygiène est mise en avant et la cuisine

[451] Bauhaus, catalogue de l'exposition, Musée National d'Art Moderne, Ville de Paris, 2 avril – 22 juin 1969

[452] http://bauhaus-online.de/en/atlas/werke/masters%E2%80%99-houses

peut être un lieu à montrer, ce que fait Ise, la femme de Gropius, dans un film. L'atmosphère générale reflète les dogmes du Bauhaus, avec une forme d'ascétisme dans le mobilier et le blanc des murs. Les deux directeurs qui ont succédé à Gropius, Hannes Meyer en 1928 puis Ludwig Mies van der Rohe en 1930 ont également habité dans cette maison, Mies l'aménageant à sa convenance. Après la guerre, la reconstruction de la maison et la demi-maison de Moholy-Nagy n'a pas réellement été un enjeu. Sur la cave restée intacte de la maison, on a édifié en 1950 la maison Emmer, les autorités Est-allemandes insistant pour que cette nouvelle construction soit dans le style de l'Allemagne vernaculaire, d'où la présence du toit double pente. Pendant ce temps, les autres maisons ont été laissée à se dégrader. Ce n'est qu'en 1992, après le changement de régime que les Maisons de Maîtres ont été peu à peu rénovée, tandis qu'a commencé à se poser le problème du destin de la maison de Gropius.

Figure 84 – Meisterhäuser Dessau, László Moholy-Nagy réinterprétée et Lyonel Feininger restaurée

Nous sommes là au cœur d'une question de patrimoine et de représentation. Rénovées, les Maisons de Maîtres rétablissent l'image qu'elles pouvaient avoir au moment de leur gloire ; la maison Emmer, par le contraste violent qu'elle produit, donne à voir simultanément la violence de la destruction et la position du régime de la République Démocratique d'Allemagne vis-à-vis du Bauhaus en général et de ce patrimoine en particulier, l'école en effet, n'a pas été mieux préservée. La reconstruction à l'identique de la maison a été longuement discutée d'autant que, ces dernières années, d'autres cas ont de reconstruction à l'identique, ou quasiment, ont été réalisées comme la Frauenkirche de Dresde ou les châteaux de Berlin et Potsdam, ou encore le quartier médiéval du centre de Frankfort. Finalement, en 2012, le Ministre de la Culture du Land de Saxe Anhalt, Stephan Dorgerloh, a voté un budget de 200000 € avec l'obligation pour la ville de Dessau de participer au transfert de propriété vers la

Fondation du Bauhaus[453] (Stiftung Bauhaus Dessau). Plusieurs projets ont été proposés pour la maison Gropius : laisser les choses telles quelles, construire une réplique de la maison d'origine plus loin ou sous la maison Emmer ou encore réaliser une réplique en bois. Recenser toutes les propositions ferait un long catalogue. La question, comme dans tous cas similaires, se trouve être la même : faut-il conserver le *Genius Loci ou* est-il possible de se placer ailleurs, convient-il préserver la forme ou les volumes en jouant sur les matériaux, est-il préférable de jouer l'évocation sans pasticher la forme, est-il concevable de s'en remettre au virtuel pour retarder toutes décisions ?

Figure 85 - Maison Walter Gropius Dessau, réinterprétée par l'architecte berlinois Bruno Fioretti Marquez

La réponse donnée par le cabinet Bruno Fioretti Marquez Architects[454] basé à Berlin, est une réponse audacieuse car très cérébrale. Inspiré des écrivains Thomas Demand, Hiroshi Sugimoto, et Jorge Luis Borges, José Gutierrez Marquez a déclaré lors de l'inauguration à Dessau que *« notre mémoire vit de flou et l'imprécision » ("Our memory lives off blurriness and imprecision"[455]).* L'idée de la mémoire imprécise est traduite formellement par un gris très pâle uniforme intérieur et extérieur. Les baies vitrées sont translucides, de l'intérieur le paysage semble lointain et incertain, de l'extérieur, l'intérieur est inaccessible à l'introspection. Le volume bâti n'abrite plus une maison, c'est une coque vide qui enferme un vite à peine sculpté par quelques lignes en relief. Ce n'est plus une architecture, c'est une esquisse géométrique, pour laquelle la forme ne suit plus la fonction, elle est une sorte de moulage de la mémoire de l'ancienne bâtisse. Cette réinterprétation est iconoclaste, elle fuit le pittoresque, la fétichisation historique et l'asservissement à l'image. Pour reprendre les questions du premier chapitre, nous

[453] http://www.mz-web.de/dessau-rosslau/meisterhaeuser-dessau-weg-fuer-die-stiftung-bauhaus-geebnet,20640938,21748570.html
[454] http://www.bfm-architekten.de/
[455] http://www.uncubemagazine.com/blog/13113621

pouvons nous demander ce que cette construction dénote ? Certainement pas le Bauhaus, car on y retrouve ni les articulations spatiales, ni le jeu magnifique des ouvertures, ni même les détails techniques qui préservent les bâtiments de l'offense du temps. Peut-être dénote-elle d'avantage le travail sur la couleur de Lyonel Feininger, les gris et la lumière de László Moholy-Nagy. Elle configure en tout cas un extérieur qui ne prédit pas l'intérieur, la maison est récit jouant les discontinuités.

Figure 86 - Maison Walter Gropius Dessau, vue intérieure

Reconfigurations

La maison Gropius repose de façon complexe la question de l'imitation. La *mimesis* aristotélicienne que l'on comprend parfois rapidement comme l'imitation de la nature a été traduite à partir de la renaissance italienne par « représentation » sans pour autant résoudre la question de la relation entre représentant et représenté. L'imitation doit-elle capturer tout ce qui caractérise le sujet ou se garder une distance (ou une mise à distance) qui en permet le contrôle ? Jacques Athanase Gilbert rappelle que « *Diderot défend la distance représentative qui permet d'en contrôler la production, Rousseau récuse la césure de la représentation qu'il considère aliénante*. [456] »Si le déploiement de ce paradigme dans le domaine de l'esthétique est connu et bien référencée, il doit également être observé dans le domaine de la physique et de la compréhension des phénomènes de la nature. L'imitation de la nature, pour en anticiper les caprices ou les compétences, passe par la conception de modèles dont la qualité dénotent également la distance qu'ils entretiennent ce qu'ils sont sensé imiter. Ainsi, la représentation du système stellaire, relève pour Galilée d'une substitution d'un visible immédiat par une « visibilité calculée »[457].

L'imitation indécelable, celle qui tromperait suffisamment nos sens pour qu'ils ne puissent déceler l'artifice qui les dupe, est le fantasme de l'immersion parfaite. Cela présupposerait une imitation qui s'adresserait à chacun de nos sens via des dispositifs mécaniques afin qu'aucune trace de contexte ne puisse perturber l'expérience. Cela distingue donc un espace imitant, celui qui n'est pas réel, que l'on reconnait comme espace diégétique, de l'espace imité, qui est l'espace du vécu. L'immersion se doit de nous plonger complétement dans l'espace diégétique par tous nos sens. De fait, cette conception quelque peu naïve néglige les immenses capacités synesthésiques de notre attirail perceptif, apte, par compensation et substitution, de nourrir un sens par les informations d'un autre, ce, en faisant appel à la mémoire. Nous l'avons vu plus haut dans le texte en faisant référence à Goodman, la représentation procède du choix et si l'on cherche à imiter, l'on n'imite pas un tout, mais des éléments saillants, caractéristiques, qui font sens ou qui font sensation. La construction d'un espace immersif procède de même, si bien que la caractérisation de l'espace diégétique se fait par la mobilisation un jeu de références, à la première desquelles, l'ambiance.

Une ambiance est un espace dénoté. Cet espace est caractérisé par un certain nombre d'éléments qui le rapproche d'un ailleurs distant, existant ou non, avec lequel il établit des relations d'imitations ou de

[456] Gilbert J.A*., Environnements immersifs : écologie et esthétique du numérique*, Digital Intelligence 2014, Interactions #2, Nantes, 19 Septembre 2014.
[457] Gilbert, *Op.cit.*

ressemblance. Nous avons, dans le texte, identifié trois familles d'espace facilitant la dénotation : le topique qui est une configuration associée à une forme de banalité mais dont les composants et leur agencement se déploient un peu partout. Il y a ensuite les archétypiques qui renvoient à des formes extraordinaires mais facilement identifiables et la synecdoque d'ambiance que l'on peut comprendre comme un espace dont l'un des constituant seul permet l'identification pour tous les autres. Ce qui fait le lien entre une espace et un autre, ou exprimé autrement, ce qui fait ambiance, c'est le récit qui anime l'ensemble des constituants. Il y a mouvement, ce qu'Augustin Berque qualifie de « trajection », qui fait qu'il y a toujours au minimum deux lieux en un seul, celui qui est là et celui qui fait référence. Le récit active la *trajection* et permet donc l'immersion dans une ambiance. Pour l'immersion comme pour l'ambiance, il faut qu'il y ait engagement du sujet percevant.

Il est donc naturel qu'une mise en immersion réussie corresponde à une mise en ambiance réussie, à la différence près qu'une immersion est une substitution là où une ambiance serait une constitution. Au théâtre, au cinéma, dans les jeux, dans les expériences de réalité virtuelle, l'ambiance va être un vecteur d'immersion en créant des effets d'imitation. Dans la réalité, par exemple dans la recherche de distinction des villes les unes par rapport aux autres dans le cadre de leur compétition, des univers référencés se constituent, dont les représentations se font dans l'espace public. Se conçoivent alors des ambiances qui nous immergent dans des récits accaparant nos jugements et conditionnant nos conditions d'altérité.

Ces outils conceptuels dans le cadre des recherches présentées ici, dans les articles et dans le cahier technique, sont mis en œuvre, testés dans le domaine du patrimoine et plus particulièrement dans l'étude des sites néolithiques. En l'absence de traces matérielles, révélant l'intentionnalité des constructeurs des ensembles tels que Crucuno ou Gavrinis, qui ont été évoqués dans le texte, il est peut-être possible d'interroger le processus de relevé

La question du relevé qui traverse les études archéologiques peut être envisagée avec les mêmes outils conceptuels concernant la ressemblance. En effet, que ce soit la reconnaissance d'un artefact ou site historique ou la restitution ou reconstruction ou encore restauration d'un objet ou d'un ensemble construit, les mêmes questions du rapport à l'objet d'origine, au modèle, se posent. La *mimêsis* telle que définie par Aristote, les différences de définitions et de champs d'applications qui la distingue de celle de Platon, l'évolution du terme jusqu'à Goodman ou Gombrich déjà évoqués dans le texte, aident à construire une posture, qui ne remet en rien en cause la pratique des archéologues, mais vient l'interroger quand elle côtoie la pratique, par exemple, des architectes.

La *mimêsis* travaille donc sur la distance au modèle et sur la fonction qui peut être une fonction de ressemblance, de copie, de reproduction pour d'illusion. La fonction de ressemblance, liée à Aristote porte sur l'art pictural, celle de la représentation attachée à Platon, concerne le théâtre. La distinction peut s'exprimer autrement avec un objet qui peut être *effectué*, c'est-à-dire qu'il se donne à voir et à entendre en présence réelle, c'est le cas de la représentation au théâtre, ou *affecté*, c'est le cas de la peinture. Pour Aristote, la mimesis concerne l'imitation des actions humaines, la *mimêsis* poétique représente les personnages en action. Au fil des siècles et des interprétations des textes, des distinctions nouvelles se sont opérées, principalement au sujet de l'image et de la ressemblance. De l'idéal de la ressemblance parfaite, vient le problème de la transcription littérale de la nature ou de l'interprétation de l'idée qui la soutient. C'est l'exemple célèbre de Zeuxis rapporté par Pline, avec dans un cas, la peinture si parfaite des raisins que les oiseaux tentent de les manger, de l'autre l'expression de la beauté parfaite qui ne peut s'exprimer dans un seul modèle. Les idées, si l'on suit les traces de Descartes, peuvent faire images et dans les images, ne sont pas contenus tous les enjeux de la ressemblance. Ainsi convoque-t-il l'exemple de l'eucharistie : si le pain et le vin représentent le corps et le du Christ, ils ne leur ressemblent pas. Cela implique de travailler sur la nature des liens qui relient l'objet à son imitation, ce qui amène Goodman à évoquer la croyance permettant de lier l'un à l'autre, ce que Gombrich contestera en parlant de vraie ressemblance, s'appuyant sur l'expérience de la perception. Dans tous les cas, tout peut représenter n'importe quoi sans soucis de ressemblance, c'est la fonction de la métaphore. Le relevé en archéologie est donc le résultat d'une double imitation : la première imitation est celle du sujet naturel ou symbolique, la deuxième imitation se fait lors du relevé. La double imitation est donc une double distance par rapport au sujet d'origine. Le relevé est donc la recherche du récit, celui dont la destination est la traversée du temps.

Ces quelques orientations donnent la nature des travaux et recherches à venir : en interrogeant la chronotopie, en cherchant ce qui fait récit, se structure une approche guidant à la fois l'approche instrumentale et la fabrication des contenus.

Bibliographie

0100101110101101. (s.d.). *nikeground*. Consulté le 07 2015, sur 0100101110101101.org: http://0100101110101101.org/files/nikeground.com/

Achard, P. (1993). *La sociologie du langage.* PUF.

Adam, J.-P. (1975). *L'archéologie devant l'imposture.* Robert Laffont.

Adam, J.-P. (1988). *Le passé recomposé, chroniques d'archéologie fantasque.* Seuil.

Alexander, C. (1978). *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction.* OUP USA.

Allen, L., & Kurstin, G. (2009). F_ck You [Enregistré par L. Allen]. Sur *It's Not Me, It's You*.

Allen, W. (Réalisateur). (1985). *La Rose pourpre du Caire (The Purple Rose of Cairo)* [Film]. US.

Angell, I. O. (1979). Arguments against the Existence of the 'Megalithic Yard'. *Computer Applications in Archaeology 1979. Proceedings of the Annual Conference organised at the Computer Centre, University of Birmingham*, 13-20.

Anscombe, J.-C. (1995). *La théorie des Topoi.* Kimé.

Appelt, D., & Tournier, M. (1981). *Morts et résurrections de Dieter Appelt.* Herscher.

Arantes, P. E. (2000). *L'ordre du Temps, Essai sur le problème du temps chez Hegel.* L'Harmattan.

Archi.fr. (s.d.). *Historique de la Recherche architecturale en France*. Consulté le 07 2015, sur Archi.fr: http://www.archi.fr/RECHERCHE/historique.htm

Architectures(D'). (1997, 06 01). Le projet en représentation, Du Croquis A L'image De Synthèse. *d'Architectures*(75).

Aristidès dit Fred, F. O. (1972). *Le Naufragé du « A ».* Dargaud.

Arnold, M. (1984). Les théories sémiotiques suffisent-elles à décrire les phénomènes de signification en architecture ? Dans *Espace : construction et signification.* les Editions de la Villette.

ARTE. (2011, 03 31). *La collection "Architectures"*. Consulté le 07 2015, sur http://www.arte.tv/: http://www.arte.tv/fr/la-collection-architectures/2798026,CmC=2798770.html

AstroSim. (s.d.). Consulté le 07 2015, sur http://astrosim_en.7host.at/

Atlan, H. (2011). *Qu'est-ce qu'un modèle ?* Editions Manucius.

Augé, M. (1992). *Non-lieux.* Seuil .

Augoyard, J.-F. (1997). *Ambiances, du lexique...à l'épistémè, ,.* cours de DEA Ambiances architecturales et urbaines, Nantes / Grenoble.

Bachelard, G. (1957). *la Poétique de l'espace.* Quadrige, PUF.

Bachelard, G. (1985). *La psychanalyse du feu.* Folio.

Bailloud, G., Boujot, C., Cassen, S., & Le Roux, C.-T. (2009). *Carnac, Les premières architectures de pierre.* CNRS Editions.

Baity, E. C. (1973). Archaeoastronomy and Ethnoastronomy So Far. *Current Anthropology, Vol. 14, N° 4*, 389-449.

Barboza, P. (2006). Fiction interactive "métarécit" et unités intégratives. Dans P. Barboza, & J.-L. Weissberg, *L'image actée : scénarisations numériques* (pp. 99-121). L'Harmattan.

Barron, S. (Réalisateur). (1986). *Take on Me* [Film].

Bartczak, S. (2013, 01 26). *Faut-il interdire les écrans aux enfants ?* Consulté le 07 2015, sur Le Point.fr: http://www.lepoint.fr/sante/faut-il-interdire-les-ecrans-aux-enfants-26-01-2013-1620495_40.php

Barthes, R. (1970). *Mythologies.* Points Essais.

Baudouin, M. (1912). L'Orientation des mégalithes funéraires et le culte solaire à l'époque néolithique. Les Rochers à sabots d'équidés et la théorie de leurs légendes (sculptures vraies et dépressions naturelles). *Congrès International d'Anthropologie et d'Archéologie préhistorique, Compte-rendu de la XIVème session, Genève*.

Baudouin, M. (1913, 12). Technique de la détermination de l'orientation des dolmens. *L'homme Préhistorique , XIe Année, TOME XI*(12).

Baudouin, M. (1914). La Loi de Position des Menhirs périsépulcraux (Menhirs des Mégalithes funéraires). *Bulletin de la Société préhistorique de France, tome 11, N. 5*, 308-320.

Baule, V. d. (s.d.). *la plage de la baule-escoublac*. Consulté le 07 2015, sur www.labaule.fr: http://www.labaule.fr/la-plage-de-la-baule-escoublac

Beaudouin - Lafon , M. (2007, 04 17). *40 ans d'interaction homme-machine : points de repère et perspectives*. Consulté le 07 2015, sur interstices.info:

https://interstices.info/jcms/c_23015/40-ans-d-interaction-homme-machine-points-de-repere-et-perspectives

Beckett, S. (1952). *En attendant Godot.* Editions de Minuit.

Bergson, H. (1888). *Essai sur les données immédiates de la conscience.* Consulté le 07 2015, sur http://classiques.uqac.ca/

Bergson, H. (1939). *Matière et mémoire. Essai sur la relation du corps à l'esprit.* Consulté le 07 2015, sur http://classiques.uqac.ca/

Berque, A. (2008). *La pensée paysagère.* Archibooks.

Berque, A. (2014). *La mésologie, pourquoi et pour quoi faire ?* Presses Universitaires De Paris X.

Berthoz, A. (2009). *La simplexité.* Odile Jacob.

Berthoz, A. (2013). *Le Sens du mouvement.* Odile Jacob.

Bescherelle, L.-N. (1856). *Dictionnaire national ou Dictionnaire universel de la langue française, VII-1319-XI p.* Garnier frères.

Besnier, J.-M. (1996). *Les théories de la connaissance.* Flammarion.

Biet, C. (2010, 03). Discours et représentation : la violence au théâtre. *Littératures classiques*(73), pp. 415 - 429.

Binelli, M. (2013, 12). *How Light Pollution Clouds the Night Sky*. Consulté le 07 2015, sur men's journal: http://www.mensjournal.com/magazine/where-did-all-the-stars-go-20131115?page=2

Bloomer , K. C., Moore, C. W., & Yudell, R. J. (1977). *Body, Memory and Architecture.* New Haven, Yale University Press.

Bonnet, C., Camus, J.-F., Craddock, P., Gaonac'h, D., Guerrien, A., Nicolas, S., . . . Roulin, J.-L. (1998). *Psychologie cognitive.* Editions Bréal.

Bonta, J. (1979). *Architecture and its interpretation. A study of expressive systems in architecture.* . London, Lund Humphries.

Borges, J. (1965). Funes ou la mémoire. Dans *Fictions* (pp. 116-117). Folio Gallimard.

Borges, J. (1982). *L'Auteur et autres textes: El Hacedor.* Gallimard.

Borland, J. (2005, 02 28). *Blurring the line between games and life*. Consulté le 07 2015, sur www.cnet.com: http://www.cnet.com/news/blurring-the-line-between-games-and-life/

Boudon, P. (1993). *Introduction à l'architecturologie.* Bordas.

Boudon, P. (2003). *Sur l'espace architectural.* Parenthèses Editions.

Boudon, P. (2009). Complexité de la conception architecturale : Conception et représentation. *Synergies Monde*(6), pp. 105-110.

Boudon, P., Deshayes, P., Pousin, F., & Schatz , F. (2011). *Enseigner la conception architecturale : Cours d'architecturologie.* Editions de La Villette.

Bouguer, P. (1760). *Traité d'optique sur la gradation de la lumière.* impr. de H.-L. Guérin.

Bourdieu, P. (1982). *Ce que parler veut dire.* Fayard.

Brand, S. (2012). *L'horloge du long maintenant : L'ordinateur le plus lent du monde.* Tristram.

Branit, B. (Réalisateur). (2007). *World Builder* [Film]. US. Consulté le 07 2015, sur https://www.youtube.com/watch?v=QP3YywgRx5A

Branzi, A. (1985). *Le design italien, la casa calda.* Ed. L'Équerre.

BRAUP. (s.d.). Consulté le 07 2015, sur Ministère de la Culture et de la Communication: http://www.culturecommunication.gouv.fr/Politiques-ministerielles/Architecture/Formatio

Brennan, M. (1984). *The Stars and the Stones: Ancient Art and Astronomy in Ireland.* Thames & Hudson.

Briard, J. (1990). Les mégalithes de Bretagne et les théories astronomiques. Cent ans d'Interrogations. *Astronomie et Sciences Humaines, Vol.6, Publication De L'observatoire Astronomique De Strasbourg*, 15-33.

Briard, J. (1997). *Les megalithes esoterisme et réalités.* Editions Gisserot.

Broadbent, G. (1980). *The deep structures of architecture in Signs, symbol and architecture.* ed. by Broadbent, R.Bunt, Ch.Jenks, Chichester, Wiley.

Bronner, G. (2013). *Croyances et imaginaires contemporains.* éditions Manucius.

Bronner, G. (2013). *La démocratie des crédules.* PUF.

Brossard, C. (1901). *Géographie pittoresque et monumentale de la France.* E. Flammarion.

Bulletin de la Société archéologique du Finistère. (1936). *Actes, Volumes 63 à 65.* La Société.

Burl, A. (1993). *From Carnac To Callanish, The Prehistoric Stone Rows of Britain, Ireland, and Brittany.* Yales University Press.

Burl, A. (1995). *A Guide to the Stone Circles of Britain, Ireland and Brittany.* Yales University Press.

Burl, A. (1997). The Sarsen Horseshoe Inside Stonehenge: A Rider. *The Wiltshire Archaeological And Natural History Magazine, 90*, 1-12.

Burl, A. (2000). *The Stone Circles of Britain, Ireland, and Brittany.* Yale University Press.

Burl, A. (2008). *Prehistoric Astronomy and Ritual.* Shire.

Burl, A. (2008). *Prehistoric Stone Circles.* Shire.

Burton, T. (Réalisateur). (2005). *Charlie et la Chocolaterie (Charlie and the Chocolate Factory)* [Film]. EU/RU.

Cambrian Archaeological Association. (1890). The Forty-Fourth Annual Meeting was Held In Brittany during the Fortnight Commencing August 12th, 1889, excursions being made from Auray And Morlaix. *Archaeologia Cambrensis*, 43-80.

Carlson, J. B. (s.d.). *Archaeoastronomy: Selected readings.* Astronomy P.

Cassen, S. (2007). Le Mané Lud en images, Interprétations de signes gravés sur les parois de la tombe à couloir néolithique de Locmariaquer (Morbihan). *Gallia Préhistoire CNRS éditions*, 197-258.

Cassen, S. (2009). *Exercice de Stèle, une archéologie des pierres dressées, réflexion autour des menhirs de Carnac.* Editions errance.

Cassen, S. (2009). The First Restoration Of The Megalithic Monuments In Morbihan (1883) Put To The Test By Comparison To William Collings Lukis's Architectural Plans (1844-1872). Dans H. Sebire, *Pursuits and Joys: Great Victorian Antiquarians and Intellects: The Lukis family of Guernsey and their Contemporaries* (pp. 145-161). Cambridge Scholars Publishing.

Cassen, S. (2011). Le Mané Lud en mouvement. Déroulé de signes dans un ouvrage néolithique de pierres dressées à Locmariaquer (Morbihan). *Préhistoires Méditerranéennes, 2*, 1-58.

Cassen, S. (2012, 03 26). *Le Mané Lud en mouvement. Déroulé de signes dans un ouvrage néolithique de pierres dressées à Locmariaquer (Morbihan).* Consulté le 07 2015, sur Préhistoires Méditerranéennes: http://pm.revues.org/582

Cassen, S. (2014, 12 18). *Sites de passage (2). Le modèle carnacois des pierres dressées à l'épreuve des steppes et des légendes.* Consulté le 07 2015, sur Préhistoires Méditerranéennes, Colloque | 2014: http://pm.revues.org/11

Cassen, S., Lescop, L., & Grimaud, V. (2011). *GAVRINIS, A la recherche des représentations d'une tombe à couloir du IVe millénaire (1).*

Cassen, S., Lescop, L., Grimaud, V., Querré, G., & Suner, B. (2012, mars). Une approche multiscalaire du monument néolithique de Gavrinis (Larmor-Baden, Morbihan). Campagne d'acquisition 2011. *TRACCE Online Rock Art Bulletin*(25). Consulté le 07 2015, sur http://www.rupestre.net/tracce/?cat=262

Cassen, S., Lescop, L., Suner, B., Grimaud, V., Guerré, G., Morel, D., & CRT Morlaix. (2011). *Gavrinis (Larmor-Baden, Morbihan) A la recherche des représentations d'une tombe à couloir du IVe millénaire, Rapport d'opération de relevés pariétaux et architecturaux.* Rapport de recherche, Ministère de la Culture et de la Communication – Conseil général du Morbihan, CNRS, ENSA Nantes, Université de Nantes.

Cassen, S., Pétrequin, P., Boujot, C., Domínguez-Bella, S., Guiavarc'h, M., & Querré, G. (2010). Measuring distinction in the megalithic architecture of the Carnac region: from sign to material. *third European Megalithic Studies Group Meeting.* Kiel University.

Castleden, R. (1993). *The Making Of Stonehenge.* Routledge.

Cayot-Délandre, F.-M. (1847). *Le Morbihan, son histoire et ses monuments.* Caudéran.

CERMA/CRESSON. (juin 1997). *projet d'UMR.*

Charrière, G. (1964). Typologie des orientations mégalithiques et protohistoriques. *Bulletin de la Société préhistorique française. Études et travaux. , tome 61, N. 1*, 160-168.

Charrière, G., & Roos, A. (1964). Charrière Georges, Roos André. Stonehenge, temple votif et monument calendaire. In:. *Bulletin de la Société préhistorique française. Études et travaux, tome 61, N°1*, 169-184.

Chaslin, F. (2015). *Un Corbusier.* Seuil.

Chion, M. (2005). *L'audio-Vision : Son et image au cinéma.* Armand Colin.

cité des sciences et de l'industrie. (2004, 03 30). *Soleil, mythes et réalités*. Consulté le 07 2015, sur http://www.cite-

sciences.fr/: http://www.cite-sciences.fr/archives/francais/ala_cite/expo/tempo/planete/soleil/rub_presse/pop.htm

Clarte-Laval. (s.d.). *Une salle dédiée au travail collaboratif*. Consulté le 07 2015, sur http://www.clarte.asso.fr/: http://www.clarte.asso.fr/realite-virtuelle.php/une-salle-pour-le-travail-collaboratif.html

Closmadeuc, G. (. (1864). *L'Île de Gavrinis et son monument.* Vannes: Imp. Lamarzelle.

Coates, N. (2012). *Narrative Architecture: Architectural Design Primers series.* AD, Wiley.

Côme, T. (2011, 12 01). *Cluny III en 3D*. Consulté le 2015 07, sur http://strabic.fr/: http://strabic.fr/Cluny-III-en-3D

Communication, M. d. (s.d.). *La recherche architecturale urbaine et paysagere*. Consulté le 07 2015, sur Ministère de la Culture et de la Communication: http://www.culturecommunication.gouv.fr/Politiques-ministerielles/Architecture/Formations-Recherche-Metiers/La-recherche-architecturale-urbaine-et-paysagere

Conseil_départemental_des_Deux-Sèvres. (s.d.). *Bienvenue au musée des Tumulus de Bougon*. Consulté le 07 2015, sur http://www.deux-sevres.com/: http://www.deux-sevres.com/deux-sevres/Institutionnel/Tourisme/Lemus%C3%A9edestumulusdeBougon.aspx

Cormerais, F. (2015). L'Hyperville et les enjeux d'un design territorial contributif. *Journée Devenirs Urbains GRICO, Mines Paris Tech & La Poste.* Consulté le 07 2015, sur http://www.grico.fr/wp-content/uploads/2015/02/Cormerais30janvier2015GRICO.pdf

Corvin, M. (2000). *Polieri, une passion visionnaire.* Adam Biro.

Courcoult, J.-L. (s.d.). *Royal de Luxe, Histoire de la Compagnie*. Consulté le 07 2015, sur http://www.royal-de-luxe.com: http://www.royal-de-luxe.com/fr/la-compagnie/

Couwenbergh, J.-P., & Godyns, J. (2014). Concevoir l'architecture : entre complexité et simplexité : L'exercice de la pensée, des chemins d'espace (dans une faculté d'architecture). *Conférence Collège de France, Complexité-Simplexité.* Consulté le 07 2015, sur http://books.openedition.org/cdf/3379

CRENAU. (s.d.). *Historique CRENAU*. Consulté le 07 2015, sur crenau.archi.fr: http://cerma.archi.fr/?q=fr/node/27

CRENAU. (s.d.). *Présentation Laboratoire CRENAU*. Récupéré sur crenau.archi.fr: http://www.crenau.archi.fr/

CRENAU. (s.d.). *SOLENE*. Consulté le 07 2015, sur http://www.crenau.archi.fr/: http://www.crenau.archi.fr/?q=fr/node/80

Crowhurst, H., & Gaillard, P. (2004). *Mémoires de pierres à Plouharnel.* Plouharnel : HCom éd.

Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A., Kenyon, R. V., & Hart, J. C. (1992). The CAVE: Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment. *ACM, 35*(6), pp. 64–72.

Cyrulnic, B. (1995). *La naissance du sens.* Hachette Pluriel.

Dagnaud, M. (2013). *Génération Y : Les jeunes et les réseaux sociaux, de la dérision à la subversion.* Les Presses de Sciences Po.

Dante, J. (Réalisateur). (1993). *Panic sur Florida Beach (Matinee)* [Film]. US.

Davallon, J. (2006). *Le don du patrimoine : Une approche communicationnelle de la patrimonialisation.* Hermes Science Publications.

Delarozière, F. (s.d.). *Historique, constructeurs et créateurs de spectacle vivant*. Consulté le 07 2015, sur http://www.lamachine.fr: http://www.lamachine.fr/historique/

Design'In. (s.d.). *La réalité virtuelle, des usages bien réels*. Consulté le 07 2015, sur http://www.designin-paysdelaloire.fr/: http://www.designin-paysdelaloire.fr/articles_bloc/realite-virtuelle-usages-reels/

Dethier, J., & Guiheux, A. (1993). *La ville art et architecture en Europe 1870 1993.* Editions du Centre Pompidou.

Devoir, A. (1911). les grands ensembles mégalithiques de la presqu'île de Crozon et leur destination originelle, par M.le capitaine de frégate DEVOIR. *Bulletin de la Société archéologique du Finistère, 38*, 3-38.

Devoir, A. (1915). Contribution à l'étude de l'Ère monumentale préhistorique : l'Architecture mégalithique bretonne et les observations solaires. *Bulletin de la Société préhistorique de France. , tome 12, N. 10*, 458-462.

Devoir, A. (1915). Contribution à l'étude de l'Ère monumentale préhistorique : l'Architecture mégalithique bretonne et les

observations solaires. *Bulletin de la Société préhistorique de France, tome 12, N. 9*, 403-416.

Devoir, A. (1915). Contribution à l'étude de l'Ère monumentale préhistorique : l'Architecture mégalithique bretonne et les observations solaires. *Bulletin de la Société préhistorique de France, tome 12, N. 8*, 369-376.

Devoir, A. (1916). Contribution à l'étude de l'Ère monumentale préhistorique : l'Architecture mégalithique bretonne et les observations solaires. *Bulletin de la Société préhistorique de France , tome 13, N. 2*, 115-128.

Devoir, A. (1916). Contribution à l'étude de l'Ère monumentale préhistorique : l'Architecture mégalithique bretonne et les observations solaires. *Bulletin de la Société préhistorique de France , tome 13, N. 1*, 70-80.

Devoir, A. (1917). Notes sur un mémoire de M. le dr Marcel Baudouin, publié au Bulletin de la Société d'Anthropologie de Paris (1915). *Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris, VI° Série, tome 8 fascicule 4-6*, 165-190.

Droste, M. (2005). *Bauhaus.* Taschen.

Drozd, C. (2011). *Représentations langagières et iconographiques des ambiances architecturales : de l'intention d'ambiance à la perception sensible des usagers.* thèse de doctorat, École Centrale de Nantes .

Drozd, C., Meunier, V., Simonnot, N., & Hégron, G. (2010, 02). La représentation des ambiances dans le projet d'architecture. *Sociétés & Représentations*(30), pp. 97-110.

Duplay, C., & Duplay, M. (1985). *Méthode illustrée de création architecturale.* Editions du Moniteur.

ekouter.net. (2015, 02 22). *Les écrans et la jeunesse. Avec Bernard Stiegler à Angoulême*. Consulté le 07 2015, sur ekouter.net: http://www.ekouter.net/les-ecrans-et-la-jeunesse-avec-bernard-stiegler-a-angouleme-1877

elumenati. (s.d.). *Domes*. Consulté le 07 2015, sur http://www.elumenati.com/: http://www.elumenati.com/products/domes/

ENCATC. (31 mars et 1er avril 2006). La médiation dans les lieux patrimoniaux. Dans E. N. centers (Éd.). Fontevraud. Consulté le 07 2015, sur http://www.encatc.org/pages/fileadmin/user_upload/supervisors/FONTEVRAUD_REPORT_FINAL_FR.pdf

Erny, P. (1992). Comment situer l'ethnoastronomie. *European Meeting On Archeoastronomy & Ethnoastronomy* (pp. 1-16). Observatoire Astronomique de Strasbourg.

evolo. (s.d.). Consulté le 07 2015, sur evolo.us: http://www.evolo.us/

Eychenne, F. (2008). *La ville 2.0, complexe...et familière.* fyp. Consulté le 07 2015, sur http://doc.openfing.org/FING/LAFING/PUBLICATIONS/La%20ville_2.0_complexe.pdf

Fabian, S. M. (2007). Crucuno. Dans P. I. Stephen, *Encyclopedia of Society and Culture in the Ancient World (Encyclopedia of Society & Culture in the Ancient World) 4 Vol.* (p. 130). Peter I. Bogucki.

Faure, É. (1909 ed. 1988). *Histoire De L'art, Tome I : L'art Antique.* Folio.

Fèvres - de Bideran, J., & Madeleine, S. (2015, 03 29). *L'archéologie virtuelle, une injonction communicationnelle contrariée….* Consulté le 07 2015, sur http://cehistoire.hypotheses.org/: http://cehistoire.hypotheses.org/463

Fèvres- de Bideran, J. (2012). *Infographie, images de synthèse et patrimoine monumental, Espace de représentation, espace de médiation.* Thèse De Doctorat En « Histoire De L'art », Université Michel de Montaigne Bordeaux III.

Fillwalk, J. (2014). *Virtual Stonehenge*. Consulté le 07 2015, sur idialab.org: http://idialab.org/virtual-stonehenge/

Fillwalk, J. (s.d.). *Institute for Digital Intermedia Arts [IDIA Lab]*. Consulté le 07 2015, sur http://idialab.org/info/

Flon, É. (2012). *Les mises en scène du patrimoine. Savoir, fiction et médiation.* Editions Lavoisier.

François, S. (2008). *Les néo-paganismes et la Nouvelle Droite, (1980 - 2006), pour une autre approche.* Archè.

Fraunhofer-IFF, F.-I. (s.d.). *The Elbe Dom: Large 360° Projection System at the VDTC*. Consulté le 07 2015, sur http://www.vdtc.de/: http://www.domeprojection.com/360-elbe-dom-fraunhofer-iff-vdtc/

Freydefont, M. (2012). Un théâtre infusé. *Le théâtre et ses publics : la création partagée.* Liège: Colloque international Prospero. Consulté le 07 2015, sur http://lacompagniedeshommes.fr/presse/LGBDS-Un-theatre-infuseTexteEdition-

DefinitifNov2012.pdf?PHPSESSID=200fd3aaae57930445f9fdde01caea47

Freydefont, M. (s.d.). Les contours d'un théâtre immersif (1990-2010). *Revue Agon*. Consulté le 07 2015, sur http://agon.ens-lyon.fr/index.php?id=1559

Frischer, B., & Fillwalk, J. (2013, 12 19). *A Digital Simulation of the Northern Campus Martius in the Age of Augustus. Preliminary Results of New Studies of the Relationship of the Obelisk, Meridian, and Ara Pacis of Augustus*. Consulté le 07 2015, sur http://idialab.org/virtual-meridian-of-augustus-presentation-at-the-vaticans-pontifical-academy-of-archeology/

Futuroscope. (s.d.). *Arthur l'aventure 4D*. Consulté le 07 2015, sur http://www.arthur-futuroscope.com/: http://www.arthur-futuroscope.com/

Gabilleau, C. (2013). *La narration dans l'aménagement urbain: le cas du réaménagement de la place Napoléon et "Les animaux de la place" à La Roche-sur-Yon.* mémoire de maîtrise, Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes.

Gaillard, F. (1880). *Monuments mégalithiques du Morbihan.* Plouharnel.

Gaillard, F. (1888). Les alignements de menhirs dans le Morbihan et leur définition. In: , . pp. *Bulletins de la Société d'anthropologie de Paris, III° Série. Tome 11*, 434-437.

Gaillard, F. (1895). Le dolmen de Grah' Niol, à Arzon (Morbihan). *Bulletins de la Société d'anthropologie de Paris, IV° Série, tome 6*, 672-683.

Gaillard, F. (1897). *L'astronomie Préhistorique.* Administration des « Sciences Populaires ».

Gangloff, E. (2014, novembre-décembre). Quand Les Machines mettent la ville en scène. *Place publique*(#48), pp. 51-53.

Genette, G. (1972). *Figures III.* Seuil.

Gibson, A. J., & Sheridan, A. (2004). *From Sickles to Circles: Britain and Ireland at the Time of Stonehenge.* Tempus.

Gilbert, J. A. (2014). Environnements immersifs : écologie et esthétique du numérique. *Digital Intelligence 2014, Interactions #2.* Nantes.

Giot, P.-R. (1989). Le "temps astral" des mégalithes. Dans J.-P. Mohen, *Les temps de la préhistoire, tome I* (pp. 50-53). Société Préhistorique Française.

Giot, P.-R., & Soulier, P. (1995). le temps des pionniers. Dans C. Masset, & P. Soulier, *Allées sans retour, Allées couvertes et autres monuments funéraires du néolitique dans la France du Nord-Ouest* (pp. 19-46). Errance.

Giot, P.-R., L'Helgouach, J., & Monnier, J. (1979). *Préhistoire de la Bretagne.* Ouest-France.

GK. (s.d.). *Charte du GK.* Consulté le 07 2015, sur www.mezzaninespectacles.eu: http://www.mezzaninespectacles.eu/IMG/pdf/infogkthch.pdf

Goffman, E. (1973). *La mise en scène de la vie quotidienne, 2-les relations en public.* Editions de Minuit.

Golvin, J.-C. (2008). Signification Et Problèmes De Définition. Dans *De la restitution en archéologie* (pp. 10-24). Editions du Patrimoine, CMN.

Golvin, J.-C. (2008). Signification Et Problèmes De Définition. (C. Editions du Patrimoine, Éd.) *de la restitution en archéologie*.

Gombrich, E. H. (1996). *L'art et l'illusion : Psychologie de la représentation picturale.* Gallimard.

Goodman, N. (1990). *Langages de l'art.* Editions J.Chambon.

Goodman, N., & Elgin, C. Z. (1994). *Reconceptions en philosophie.* PUF.

Google. (s.d.). *Google Glass*. Consulté le 07 2015, sur http://www.google.com/glass/start/

GoPro. (s.d.). *360heros*. Consulté le 07 2015, sur http://www.360heros.com/: http://www.360heros.com/

Gracq, J. (1958). *Un balcon en forêt.* José Corti.

Gracq, J. (1970). *La Presqu'ile.* José Corti.

Gracq, J. (1989). *La Forme d'une ville.* José Corti.

grasshopper3d. (s.d.). *grasshopper3d*. Consulté le 07 2015, sur grasshopper3d: http://www.grasshopper3d.com/

Greenaway, P. (1995). *The Stairs: Geneva the Location.* Merrell Publishers Ltd.

Greenaway, P. (1996). *The Stairs: Munich Projection.* Merrell Publishers Ltd.

Gros, P. (1984). Reviewed Work: Die Sonnenuhr des Augustus. Kulturgeschichte der antiken Welt, Sonderband by Edmund

Buchner. *Revue Archéologique, Nouvelle Série, Fasc. 2*, 374-376.

Grossin, P. (1898). Note sur l'orientation des mégalithes. *Bulletin de la Société Académique de Brest*, 117-129.

Groupe 107. (1973). *Sémiotique des plans en architecture.* Groupe 107.

Groupe_ESB. (s.d.). *Ecole Supérieure du Bois*. Consulté le 07 2015, sur http://www.ecoledubois.fr/

Gutierez, G. (1998). *Le discours du réalisme fantastique : la revue Planète.* Maîtrise de Lettres Modernes Spécialisées, UFR de Langue Française, Université Sorbonne - Paris IV.

Hagmann, A. (2013, 03 06). *Arrêt sur image : la 3D, ma quête.* (l. c. l'architecte, Éd.) Consulté le 07 2015, sur http://www.lecourrierdelarchitecte.com: http://www.lecourrierdelarchitecte.com/article_4233

Hall, E. T. (1971). *La dimension cachée.* Seuil.

Hall, E. T. (1984). *Le langage silencieux.* Seuil.

Harzallah,, A., Siret, D., Monin, E., & Bouyer, J. (2005). Controverses autour de l'axe héliothermique : l'apport de la simulation physique à l'analyse des théories urbaines. *Colloque Repenser les limites : l'architecture à travers l'espace, le temps et les disciplines.* Paris: INHA.

Heath, R. (1998). *Sun, Moon & Stonehenge: High Culture in Ancient Britain.* Bluestone Press.

Heath, R. (2014). *Sacred Number and the Lords of Time: The Stone Age Invention of Science and Religion.* Inner Traditions.

Heggie, D. C. (1981). Highlights and Problems of Megalithic Astronomy. *Journal for the History of Astronomy, Archaeoastronomy Supplement, Vol. 12*, S17-S37.

Heilig, M. (s.d.). *Inventor in the field of virtual reality*. Consulté le 07 2015, sur http://www.mortonheilig.com/: http://www.mortonheilig.com/InventorVR.html

Heilmeyer, F. (2014, 05 22). *Gropius' Ghosts, Bauhaus reinterpreted not reconstructed in Dessau*. Consulté le 07 2015, sur uncubemagazine: http://www.uncubemagazine.com/blog/13113621

Hillis, D. (s.d.). *The Long Now Foundation*. Consulté le 07 2015, sur http://longnow.org/clock/

Hjelmslev, L. (1968). *Prolégomènes à une théorie du langage.* Editions de Minuit.

Hochschule Anhalt. (s.d.). Consulté le 07 2015, sur http://www.hs-anhalt.de/

Houellebecq, M. (2010). *La carte et le territoire.* Flammarion.

Hurel, A. (2007). *La France préhistorienne: de 1789 à 1941.* CNRS éditions.

icinema. (s.d.). *Spherecam*. Consulté le 07 2015, sur http://www.icinema.unsw.edu.au/: http://www.icinema.unsw.edu.au/technologies/spherecam/project-overview/

INRIA-Rennes, & Gelin, P. (s.d.). *Immersia: Une des plus grandes salles de réalité virtuelle au monde*. Consulté le 07 2015, sur http://www.inria.fr/: http://www.inria.fr/centre/rennes/innovation/multimedia

IRISA. (s.d.). *Journées Nationales de l'Archéologie 2013*. Consulté le 07 2015, sur www.irisa.fr: http://www.irisa.fr/immersia/jna/

Jabi, W. (2013). *Parametric Design for Architecture.* Laurence King Publishing.

Jackson, A. (2014, 03 31). *First Framing the landscape frame is installed on Marsden Moor, National Trust Estate*. Consulté le 07 2015, sur http://www.ashley-jackson.co.uk/: http://www.ashley-jackson.co.uk/blogs/news/13250037-first-framing-the-landscape-frame-is-installed-on-marsden-moor-national-trust-estate

Jakobson, R. (1970). *Essai de linguistique générale.* Editions De Minuit.

Jencks, C. (1979). *Le Langage de l'architecture postmoderne.* Denoël.

Jimenez, M. (1997). *La psychologie de la perception.* Dominos Flammarion.

Joanne, P. (2003). *L'espace sensible du monastère cistercien aux origines : essais de caractérisation des ambiances architecturales.* thèse de Doctorat, Université de Nantes.

Joule, R.-V., & Beauvois, J.-L. (2014). *Petit traité de manipulation à l'usage des honnêtes gens.* Presses Universitaire De Grenoble.

Jungmann, J.-P. (1996). *L'Image en architecture de la représentation et son empreinte utopique.* Savoir-faire de l'architecture.

Kanizsa, G. (1999). *La grammaire du voir.* Diderot multimédia.

Keller, O. (2004). *Aux origines de la géométrie : Le Paléolithique.* Vuibert.

Keller, O. (2006). *Le Monde des chasseurs-cueilleurs et Une archéologie de la géométrie : Peuples paysans sans écriture et premières civilisations.* Vuibert.

Kelley, D., & Milone, E. (2005). *Exploring Ancient Skies: An Encyclopedic Survey of Archaeoastronomy.* Springer.

Kosaka, T. (s.d.). *WindDisplay*. Consulté le 07 2015, sur http://www.kosaka-lab.com/: http://www.kosaka-lab.com/kosaka_laboratory/2008/11/wind-stage.php

Kottas, D. (2013). *Architecture numérique : Nouvelles applications, 2 volumes.* Links Books.

Krupp, E. C. (1979). *In search of ancient astronomies.* McGraw-Hill.

Kulkarni, S., Fisher, C., Pardyjak, E., Minor, M., & Hollerbach, J. (2009). Wind Display Device for Locomotion Interface in a Virtual Environment for Virtual Environment and Teleoperator Systems. *Third Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces, March 18-20, 2009.* Salt Lake City, UT, USA.

Lagadec, J. (1499). *Catholicon.* Tréguier: Jehan Calvez. Consulté le 07 2015, sur http://tijohan.free.fr/catholicon/telechargement/catholicon.pdf

Larchey, L. (1861). *Les excentricités du langage français.* Revue anecdotique.

Latypov, R., & Latypov, N. (s.d.). *virtusphere*. Consulté le 07 2015, sur http://www.virtusphere.com/

Laubacher, P. (2012, 10 08). *Le massacre (virtuel) des joueurs de World Of Warcraft*. Consulté le 07 2015, sur http://obsession.nouvelobs.com/: http://obsession.nouvelobs.com/hacker-ouvert/20121008.OBS4966/le-massacre-virtuel-des-joueurs-de-world-of-warcraft.html

Lausanne, É. p. (s.d.). *what is research in architecture*. Consulté le 07 2015, sur epfl: http://contour.epfl.ch/fr/what-is-research-in-architecture-2/

Le Bouëdec, G. (1994). *Le Morbihan: de la préhistoire à nos jours.* Editions Bordessoules.

Le Bozec, Y. (2002). L'hypotypose : un essai de définition formelle. *L'Information Grammaticale*(92), pp. 3-7.

Le Corbusier, C.-É.-G. (1994). *Urbanisme.* Champs Flammarion.

Le Corre, Y. (2006). *Le "pattern ambiant" : une entité opératoire de caractérisation et de conception des ambiances urbaines.* thèse de doctorat, Université de Nantes.

Le Quellec, J.-L. (2009). *Des Martiens au Sahara, Chroniques d'archéologie romantique.* Errance-Actes sud.

Le Roux, C.-T. (1984). À Propos des fouilles de Gavrinis (Morbihan). Nouvelles données sur l'art mégalithique, Armoricain. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 240-245.

Le Scouëzec,, G., & Masson, J.-R. (1987). *Bretagne mégalithique.* Seuil.

Le_Télégramme. (2010, 06 18). *Solstice. Le soleil se donne en spectacle*. Consulté le 07 2015, sur http://www.letelegramme.fr: http://www.letelegramme.fr/local/morbihan/vannes-auray/quiberon/plouharnel/solstice-le-soleil-se-donne-en-spectacle-18-06-2010-960523.php

Le_Télégramme. (2012, 06 26). *Croyance. Un solstice d'été druidique à Gavrinis*. Consulté le 07 2015, sur http://www.letelegramme.fr/: http://www.letelegramme.fr/local/morbihan/vannes-auray/cantonvannes/larmorbaden/croyance-un-solstice-d-ete-druidique-a-gavrinis-26-06-2012-1752586.php

Leboucq, B. (2006, 09). L'environnement sonore. *Études, 405*, pp. 231-241. Consulté le 07 2015, sur http://www.cairn.info/revue-etudes-2006-9-page-231.htm

Lecercle, F. (2011). La violence de la représentation. (CRLC, Éd.) *Comparatismes en Sorbonne*(2). Consulté le 07 2015, sur http://www.crlc.paris-sorbonne.fr/pdf_revue/revue2/Spectacle1.pdf

Leduc, T., Colom, A., Tourre, V., & Musy, M. (2013). Intégration de résultats de simulations dans des modèles urbains : l'approche SIG3D au CERMA. *1er séminaire de l'action prospective SIG3D du GDR MAGIS.* Saint Mandé, IGN.

Leroi-Gourhan, A. (1965). *Le Geste et la Parole, tome 2 : La Mémoire et les Rythmes.* Albin Michel.

Lescop, L. (11 mai 2012). la ville et le numérique. *Séminaire L'équipement du territoire, Ecole d'architecture de Nantes.* Nantes.

Lescop, L. (16 juin 2010). Kultur und Stadtentwicklung an der Loire. *conférence à la Fondation du Bauhaus Dessau.* Dessau.

Lescop, L. (1999). *La représentation des ambiances architecturales et urbaines : Introduction à une pédagogie des ambiances.* Thèse de doctorat, Université de Nantes.

Lescop, L. (2011). À la recherche de la frontière effacée : le mur de Berlin. Le palimpseste CheckpointCharlie. Dans M. Catala, D. Le Page, & J.-C. Meuret, *Frontières oubliées, frontières retrouvées* (pp. 365-378). Presses Universitaires de Rennes.

Lescop, L. (2012). Dispositifs immersifs : la question de l'espace diégétique. *Les paradoxes du seuil.* Université de Louvain (Louvain-la-Neuve, Belgique). Consulté le 07 2015, sur https://www.academia.edu/4782122/Paradoxes_du_seuil_-_espaces_immersifs

Lescop, L. (2012). Narrative Design for Naexus. *Bilden und Gestalten, Bauhaus Lectures.* Dessau.

Lescop, L. (2014). AVEL – Archives Virtuelle En Ligne, Enjeux et techniques pour le relevé des bateaux classés Monuments Historiques. *Revue d'histoire maritime, 18*, pp. 349-384.

Lescop, L., & Sundermann, M. (2011). Le théâtre de rue de la compagnie La Machine et présentation de L'Expédition végétale à Dessau. *Die Stadt und Ihre Kinder.* Dessau.

Lescop, L., & Sundermann, M. (2012). " Back Lots " : la rue décor des studios Babelsberg - La constitution d'ambiances à partir de la même matrice formelle, introduction de la dimension narrative dans la définition des ambiances. *Ambiances in action / Ambiances en acte(s) - International Congress on Ambiances, Montreal 2012*, (pp. 653-658).

Lescop, L., & Suner, B. (2015). L'imaginaire filmique de jeunes architectes, 10 années de courts métrages sur la ville. Dans F. Cormerais, *Poétique(s) du numérique 3, Imaginaire et scènes nouvelles des villes.* éditions l'Entretemps .

Lescop, L., & Suner, B. (s.d.). *Films architecture en représentation*. Consulté le 07 2015, sur www.youtube.com/: https://www.youtube.com/user/ENSANantes

Lescop, L., Cassen, S., & Grimaud, V. (2013). Naexus : dispositif immersif mobile pour la valorisation du patrimoine. *Virtual Retrospect.* Bordeaux.

Lescop, L., Suner, B., Freydefont, M., & Vasseur, R. (2010). Scénographia – cage de scène virtuelle. *Agôn, Utopies de la scène, scène de l'utopie,*.

Leymarie, J. (1969). *Bauhaus, catalogue de l'exposition, 2 avril – 22 juin 1969.* Musée National d'Art Moderne, Ville de Paris.

L'Helgouach, J. (1965). *Les Sépultures mégalithiques en Armorique : Dolmens à couloir et allées couvertes.* CNRS.

LIFL-Laboratoire_d'Informatique_Fondamentale_de_Lille. (s.d.). *Salle de Réalité Virtuelle de l'IRCICA*. Consulté le 07 2015, sur http://www.lifl.fr: http://www.lifl.fr/pirvi/pirvi_salleRV.php

Lockyer, J. N. (1906). *Stonehenge and Other British Stone Monuments Astronomically Considered.* MacMillan & Co.

Lockyer, J. N., & Penrose, F. C. (1901). An attempt to ascertain the date of the original construction of Stonehenge. *Proceedings of the Royal Society of London*(69), 137-147.

Lopez, F. (2012). *Autonomous Housing Project 1971-1979 : l'utopie énergétique d'Alexander Pike.* Marnes N° 2.

López-Romero, E., & Daire, M.-Y. (2013). The ICARE Project: Insights into the Formation and Consolidation of Archaeology in Western France (ca. 1850–1990). *ulletin of the History of Archaeology, 23(1): 3*, 1–11.

Lukis, W. C. (1871). On the stone avenues of Carnac and other pre-historic monuments of Britanny. Dans E. Goddard, *The Wiltshire archaeological and natural history magazine* (Vol. 13, pp. 78-91).

Lukis, W. C. (1872). The Wiltshire Archaeological And Natural History Magazine. *13*.

Lukis, W. C. (1875). *A guide to the principal chambered barrows and other pre-historic monuments in the Islands of the Morbihan, the Communes of Locmariaker, Carnac, Plouharnel and Erdeven.* Kessinger Publishing - 2010.

Lunan, D. (2012). *The Stones And The Stars: Building Scotland's Newest Megalith.* Springer. Consulté le 07 2015, sur http://www.duncanlunan.com/index.asp

Lunan, D. (2012). *The Stones And The Stars: Building Scotland's Newest Megalith.* Springer. Consulté le 07 2015, sur http://www.duncanlunan.com/index.asp

Lussault, M. (2007). *L'Homme spatial : La construction sociale de l'espace humain.* Seuil.

Lynch, K. (1998). *L'Image de la cité.* Dunod.

Macé, A. (1886-1887). Notes sur la conservation des monuments mégalithiques du Morbihan. *Bulletin archéologique de l'Association bretonne, tome 6*, 80/13-93/26.

Macquoid, C. (1877). *Through Brittany.* Daldy Isbister & Co.

Magazine, A. D. (s.d.). *Architectural Design Magazine*. Consulté le 07 2015, sur www.architectural-design-magazine.com: http://www.architectural-design-magazine.com/view/0/index.html

Magli, G. (2009). *Mysteries and Discoveries of Archaeoastronomy, From Giza to Easter Island.* Springer.

Mantziaras, P. (janvier 2015). Vers une épistémologie de l'architecture. *Colloque, l'architecture en pratique et connaissance scientifique.* Collège de France, Paris.

Markale, J. (1994). *Dolmens et menhirs: la civilisation mégalithique.* Editions Payot & Rivages.

Martin, M. (1995). *Le langage cinématographique.* Editions du Cerf.

MASSDF. (s.d.). *Internet, nos enfants et nous.* Consulté le 07 2015, sur Ministère des Affaires sociales, de la Santé et des Droits des femmes: http://www.social-sante.gouv.fr/IMG/pdf/LEAFLET-PREVENTION_PAP.pdf

Maucherat, A. (2008). *Les Alignements du Menec Carnac, Morbihan, Interprétation et Datation.* Actilia Multimédia.

Maucherat, A. (2008). *Les Alignements du Menec Carnac, Morbihan, Interprétation et Datation.* Actilia Multimédia.

MCC-Ministère de la Culture et de la Communication. (2014, 09 22). *Succès populaire pour les 31e Journées européennes du patrimoine*. Consulté le 07 2015, sur http://www.culturecommunication.gouv.fr/: http://www.culturecommunication.gouv.fr/Actualites/En-continu/Succes-populaire-pour-les-31e-Journees-europeennes-du-patrimoine

McGrath, D. (2003). *Montage et post-production.* Compagnie du Livre.

McKee, R. (2000). *Story : contenu, structure, genre, Les principes de l'écriture d'un scénario.* Dixit.

McTiernan, J. (Réalisateur). (1993). *Last Action Hero* [Film]. US.

Mérimée, P. (1997). *Notes d'un voyage dans l'Ouest de la France, 1836.* Adam Biro.

Merlet, R. (1929). Peut-on calculer, à l'aide de l'astronomie, la date approximative de certains monuments mégalithiques ? *Mémoire de la Société d'histoire et d'archéologie de Bretagne, tome 10*, 13-26.

Michaud, Y. (2011). *L'art à l'état gazeux.* Fayard/Pluriel.

Michaux, E. (2000). *Du panorama pictural au cinéma circulaire: Origines et histoire d'un autre cinéma, 1785-1998.* Editions L'Harmattan.

Migayrou, F. (2003). *Architectures non standard.* Ed. du Centre Pompidou.

Millon, A. (1911). *Pauvres Pierres ! Les Mégalithes devant la science.* Lechevalier.

Millon, A. (1921). Les tombeaux préhistoriques. *Bulletin Et Mémoires De La Société Archéologique Département D'Ille-Et-Vilaine, Tome XLVIII*, 47-69.

Misson, J. (1981). Rencontre avec un ingénieur - Alexander Thom. *Kadath*, 3-6 et 19-21.

Mohen, J.-P. (2000). *Les alignements de Carnac : temples néolithiques.* Centre des monuments nationaux.

Monnier, G. (1986). *Le Corbusier.* La Manufacture.

Moon, T., & Kim, G. J. (2004). Design and evaluation of a wind display for virtual reality. *VRST '04 Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pp. 122-128.

Moore, G. E. (1965, avril 19). Cramming More Components Onto Integrated Circuits. *Electronics, 38*. Retrieved from http://www.cs.utexas.edu/~fussell/courses/cs352h/papers/moore.pdf

Moreno, P., Simonnot, N., & Siret, D. (2013, Février). Ambiances à vendre : la représentation des personnages dans les supports de promotion des projets immobiliers. *Cahiers thématiques*, pp. 119-128.

Morin, M. (1995). *Lecture de la Tour Bretagne; développement d'un outil de lecture de la ville: simulation de l'accessibilité visuelle.* TPFE - Ecole Architecture de Nantes.

Motu. (s.d.). Consulté le 07 2015, sur http://www.motu.com/index.html

Museum, S. (s.d.). *Panorama Museum | Residenzplatz*. Consulté le 07 2015, sur http://www.salzburgmuseum.at/: http://www.salzburgmuseum.at/panoramamuseum.html

Museum, W. D. (s.d.). *"plussing" Disneyland in 1955*. Consulté le 07 2015, sur http://www.waltdisney.org/: http://www.waltdisney.org/blog/plussing-disneyland-1955

Naccache, L. (2009). *Le nouvel inconscient : Freud, le Christophe Colomb des neurosciences.* Odile Jacob.

NAU, & Schaedler, T. (s.d.). *immersive-cocoon-2011*. Consulté le 07 2015, sur http://nau.coop/: http://nau.coop/set-design/immersive-cocoon-2011/Shot05FG3B_00000_WEB/

Nazé, Y. (2009). *L'astronomie des Anciens.* Belin.

Neumeyer , F. (1996). *Mies van der Rohe : Réflexions sur l'art de batir.* Le Moniteur.

Niel, F. (1976). *Connaissance des mégalithes.* Robert Laffont.

Norberg-Schulz, C. (1997). *Genius loci : Paysage, ambiance, architecture.* Mardaga.

Norberg-Schulz, C. (1997). *L'art du lieu.* Le Moniteur.

Norberg-Schulz, C. (septembre 1958). Conversation avec Mies van der Rohe. *l'Architecture d'aujourd'hui*(79), 40-41.

Norris, R. P. (1984). Megalithic observatories in Britain : Real or Imagined ? *Proceedings of the Astronomical Society of Australia, Vol. 5, Issue 4*, 428-434.

Occulus-Rift. (s.d.). *Occulus Rift*. Consulté le 07 2015, sur https://www.oculus.com/en-us/

Ouest-France. (2012, 06 24). *Des druides ont fêté le solstice d'été à Gavrinis*. Consulté le 07 2015, sur http://www.ouest-france.fr/: http://www.ouest-france.fr/des-druides-ont-fete-le-solstice-dete-gavrinis-1378083

Ozdoba, M.-M. (2013, 03 05). *Images d'architecture contemporaines: un nouveau romantisme?* Consulté le 07 2015, sur http://culturevisuelle.org/: http://culturevisuelle.org/plancoupeimage/archives/193

Peirce, C. (1978). *Écrits sur le signe.* Seuil.

Péneau, J.-P. (1988). *Techniques et références du projet.* Ecole d'Architecture de Nantes.

Péneau, J.-P. (1990). *Ajustement climatique des formes urbaines.* Laboratoire CERMA.

Péneau, J.-P. (2015). L'architecture et les enjeux climatico-énergétiques et ambiantaux. *L'architecture entre pratique et connaissance scientifique.* Paris: Collège de France. Consulté le 07 2015, sur http://www.college-de-france.fr/site/jean-louis-cohen/symposium-2015-01-16-10h00.htm

Picon, A. (2010). *Culture numérique et architecture - Une Introduction.* Birkhauser.

Platon. (1987). *La République Livre VII.* (R. Baccou, Trad.) Garnier Flammarion.

Plogue. (s.d.). *Bidule*. Consulté le 07 2015, sur http://www.plogue.com/: http://www.plogue.com/produits/bidule/?lang=fr

Polieri, J. (2006). *50 Ans de recherches dans le spectacle.* Adam Biro.

Pook, L. (2003). *STiMULiNE*. Consulté le 07 2015, sur www.lynnpook.net: http://www.lynnpook.net/english/stimuline/index.htm

Porter, T. (1979). *How architects visualize.* studio Vista.

Preziosi, D. (1979). *The semiotics of built environment. An introduction to architectonic analysis.* Bloomington, Indiana University Press.

Projet-EVA, Laroche, S., Grenier, E., & Lemieux, D. (s.d.). *Cinétose*. Consulté le 07 2015, sur http://www.projet-eva.org/: http://projet-eva.org/cinetose.html

Quignard, P. (2014). *Sur l'image qui manque à nos jours.* Arléa Editions.

Raison du Cleuziou, H. (1887). *La Création et les premiers âges de l'humanité.* C. Marpon & E. Flammarion.

Raison du Cleuziou, H. (1887). *La Création et les premiers âges de l'humanité.* C. Marpon & E. Flammarion.

Reiner, M. (1998). Mondes lexicaux et topoi dans l'approche d'Alceste. Dans S. Mellet, & M. Vuillaume, *Mots chiffrés et déchiffrés, Mélanges offerts à Etienne Brunet* (pp. 289-303). Honoré Champion.

Réseau Ambiance. (s.d.). Consulté le 07 2015, sur www.ambiances.net/: http://www.ambiances.net/

Réseaux d'Orléans-État et du Midi, e. l. (1901). *Guide national et catholique du voyageur en France, Tome 2*. Maison de la Bonne Presse.

Rey, A., Pidoux, J., & Barde, C. (1928). *La Science des plans de villes. Ses applications à la construction, à l'extension, à l'hygiène et à la beauté des villes orientation solaire des habitions.* Dunod.

Rhomer, E. (1999). *L'organisation de l'espace dans le Faust de Murnau.* Ramsay.

Ribes, J.-M. (Réalisateur). (2008). *Musée haut, musée bas* [Film]. Fr.

Ricoeur, P. (1975). *La métaphore vive.* Editions du Seuil.

Ricœur, P. (1998). Architecture et narrativité. *Urbanisme*(303), 44 – 51. Consulté le 07 2015, sur

http://www.fondsricoeur.fr/uploads/medias/articles_pr/architectureetnarrativite2.PDF

Robichon, F. (1982). *Les Panoramas en France au XIXe siècle.* Thèse de doctorat, Nanterre.

Robin, G. (2008). *L'art pariétal des tombes à couloir néolithiques autour de la Mer d'Irlande, Iconographie et organisation spatiale.* Thèse de doctorat, Université de Nantes.

Rocher, Y. (2014). *Théâtres en utopie.* Actes Sud Editions.

Rockstar-Games. (s.d.). *grand theft auto*. Consulté le 07 2015, sur www.rockstargames.com: http://www.rockstargames.com/grandtheftauto/

Roger, A. (2001). *Nus et paysages.* Aubier Montaigne, Nouv. Ed., .

Rosch, E. (1976). Classification d'objets du monde réel : origine des représentations dans la cognition. *Actes La mémoire sémantique* (pp. 242-250). Academic Press.

Rosenzweig, M. (1863). *Répertoire archéologique du Morbihan.* Imprimerie Impériale.

Ross, G. (Réalisateur). (1998). *Pleasantville* [Film]. US.

Rosvall, M., & Bergstrom, C. T. (2008). Maps of random walks on complex networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*(105), 1118-1123.

Rousseau, J.-J. (1997). *Discours sur l'origine et les fondements de l'inégalité parmi les hommes, première partie.* Hachette.

Ruggles, C. L. (2005). *Ancient Astronomy: An Encyclopedia of Cosmologies and Myth.* ABC-CLIO Ltd,.

Ruggles, C. L. (2015). *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy.* Springer.

Saab. (s.d.). *Remote Tower, Regional airport solution*. Consulté le 07 2015, sur http://saab.com/: http://saab.com/security/air-traffic-management/air-traffic-management/remote-tower/

Salmon, C. (2008). *Storytelling : La machine à fabriquer des histoires et à formater les esprits.* Editions La Découverte.

Santacana i Mestre, J., & Belarte Franco, M. (2008). Problème concernant la restitution en archéologie. Dans *de la restitution en archéologie* (pp. 5-9). CMN.

SAT-Montréal. (s.d.). *panoscope360*. Consulté le 07 2015, sur http://panoscope360.com/

Satosphere. (s.d.). *Satosphere*. Consulté le 07 2015, sur sat.qc.ca: http://sat.qc.ca/fr/satosphere

Savary, J.-P. (1966). Étude théorique et statistique sur l'orientation des monuments funéraires à structure d'accès rectiligne. *Bulletin de la Société préhistorique française. Études et travaux, tome 63, N°2*, 365-394.

SERCPA. (s.d.). *Caverne du Pont d'Arc*. Consulté le 07 2015, sur http://www.cavernedupontdarc.fr/

Serious-Games-Society. (s.d.). *International Journal of Serious Games*. Consulté le 07 2015, sur http://journal.seriousgamessociety.org/: http://journal.seriousgamessociety.org/index.php?journal=IJSG

Sester, M. (s.d.). *access*. Consulté le 07 2015, sur http://www.accessproject.net/

Shaw, J. (s.d.). Consulté le 07 2015, sur http://www.jeffrey-shaw.net: http://www.jeffrey-shaw.net

Shee Twohig, E. (1981). *The Megalithic Art of western Europe.* Oxford : Clarendon Press, .

Siret, D. (1996, 04 3-4). Une Approche Déclarative pour la Réalisation de Propriétés d'Ensoleillement dans le Projet Architectural et Urbain. (pp. 55-69). Informatiques, Limoges : Laboratoire Méthodes et Structures.

Siret, D. (2013). Les sensations du soleil dans les théories architecturales et urbaines : de l'hygiénisme à la ville durable. Dans U. Krampl, R. Beck, & E. Retaillaud-Bajac, *Les cinq sens de la ville du Moyen Âge à nos jours* (pp. 105-117). Presses universitaires François-Rabelais (PUFR).

Sitte, C. (1996). *L'art de bâtir les villes.* Seuil.

Sitwell, W. (1930). *Stones of Northumberland and other lands.* Andrew Reid and Company.

Smartt Bell , M. (2000). *Narrative Design: Working With Imagination, Craft, and Form.* W. W. Norton & Company.

Société linnéenne de Bordeaux. (1897). *Actes, Volumes 52 à 53.* E. Drouillard.

Société-Immersion. (s.d.). *Projet R&D : 2C3D, Collaboration pour la Conception 3D*. Consulté le 07 2015, sur http://www.immersion.fr: http://www.immersion.fr/projet-rd-2c3d-2c3d-collaboration-pour-la-conception-3d/

Souden, D. (1997). *Stonehenge: mysteries of the stones and landscape.* Collins & Brown.

Souriau, E. (1950). Le cube et la sphère. Dans A. Barsacq, E. Souriau, R. Bayer, A. Boll, L. Jouvet, Le Corbusier, . . . A. Villiers, *Architecture et Dramaturgie* (pp. 66-67). Bibliothèque D'Esthétique, Flammarion.

Spiller , N. (2008). *Cybrid (s) Architectures virtuelles.* Parenthèses Editions.

Spiller, N. (Reprint 2007). *Visionary Architecture: Blueprints of the Modern Imagination.* Thames & Hudson Ltd.

Squint/Opera. (s.d.). Consulté le 07 2015, sur www.squintopera.com/: http://www.squintopera.com/

Stravinski, I. (1975). *Chroniques de ma vie.* Denöel.

Suner, B., & Lescop, L. (2011). Scénographia: de la numérisation des cages de scène à la création d'un modèle numérique fonctionnel. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection, Colloque de la SFPT Photogrammétrie au service des archéologues et des architectes*, à paraître.

Szabados, A.-V., & Letricot, R. (2012). L'ontologie CIDOC CRM appliquée aux objets du patrimoine antique. *3e Journées d'Informatique et Archéologie de Paris - JIAP 2012.* Paris.

Tanner , J. (s.d.). *Obliquity of the Ecliptic and Nutation in Obliquity*. Consulté le 07 2015, sur http://www.neoprogrammics.com/: http://www.neoprogrammics.com/obliquity_of_the_ecliptic/

Tati, J. (Réalisateur). (1958). *Mon oncle* [Film]. France.

Thibaud, J.-P. (2007). L'ambiance, chemin faisant. Vers une perspective internationale. *Culture et Recherche*(112), 31–32.

Thom, A. (1954). The solar observations of megalithic man. *Journal of the British Astronomical Association*(64).

Thom, A. (1955). A Statistical Examination of the Megalithic Sites in Britain. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), Vol. 118, No. 3*, 275-295.

Thom, A., Thom, A. S., Merritt, R. L., & Merritt, A. (1973, oct). The Astronomical Significance of the Crucuno Stone Rectangle. *Current Anthropology, 14*(4), 450-454.

Tillier, A.-M. (2013). *L'homme et la mort : L'émergence du geste funéraire durant la Préhistoire.* CNRS.

Tisseron, S., & Stiegler, B. (2009). *Faut-il interdire les écrans aux enfants ?* Editions Mordicus.

Tomasik , R. (s.d.). *AlmSun - Astronomical compedium*. Consulté le 07 2015, sur http://almsun.webd.pl/: http://almsun.webd.pl/en/index.html

Torchet, N. (1977). Les Mégalithes Du Morbihan. *Kadath*(24).

Turrell, J. (s.d.). *Artworks*. Consulté le 07 2015, sur http://jamesturrell.com/: http://jamesturrell.com/artworks/by-date/#section-1990-1999

Unity Technologies. (s.d.). *Unity 3D*. Consulté le 07 2015, sur https://unity3d.com/

Vadé, Y., & Jegues-Wolkiewiez, C. (2008). *Etoiles dans la nuit des temps.* L'Harmattan.

Valery, P. (1960). *Eupalinos ou l'architecte* (Vol. Œuvres Tome 2). Bibliothèque de la Pléiade Gallimard.

Vergneux, R. (s.d.). *Archéovision, La 3D au service de l'archéologie, du patrimoine et des SHS*. Consulté le 07 2015, sur archeovision.cnrs.fr: http://archeovision.cnrs.fr/

Villiers de L'Isle Adam, J.-M.-M.-P.-A. (1919). *Villiers de L'Isle-Adam A. De, Nouveaux contes cruels (et) Propos d'au-delà, nouvelle éd. suivie de fragments inédits.* G.Cres.

Villiers de L'Isle Adam, J.-M.-M.-P.-A. (1922). *Le convive a nina de villard ; Contes cruels.* Œuvres complètes / Villiers de l'Isle-Adam, Mercure de France.

Vinet, J. (2000). *Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain.* Thèse de doctorat, Université de Nantes.

Vioso. (s.d.). *Projection Software*. Consulté le 07 2015, sur http://www.vioso.com/

von Moos, S., Le Corbusier, Bédarida, M., & Allain, J.-F. (2012). *Le Corbusier, Voyage d'Orient : 1910-1911.* Editions de La Villette.

Waterloo. (s.d.). *Le Panorama*. Consulté le 07 2015, sur http://waterloo1815.be/: http://waterloo1815.be/index.php?page=le-panorama

Waters, J. (Réalisateur). (1981). *Polyester* [Film]. US.

Wooster Group, T. (s.d.). *There is still time . . Brother*. Consulté le 07 2015, sur http://thewoostergroup.org/: http://thewoostergroup.org/blog

worldcat. (s.d.). *Burl, Aubrey overview*. Consulté le 07 2015, sur http://worldcat.org/: http://worldcat.org/identities/lccn-n79-76672/

worldfairs. (s.d.). *Maréorama*. Consulté le 07 2015, sur http://www.worldfairs.info/: http://www.worldfairs.info/expopavillondetails.php?expo_id=8&pavillon_id=2414

Yabuki, N., Onoue, T., Fukuda, T., & Yoshida, S. (2013). A heatstroke prediction and prevention system for outdoor construction workers. *Visualization in Engineering*. Consulté le 07 2015, sur http://www.viejournal.com/content/1/1/11

Zaborowski, R. (2006). Sur une certain détail négligé dans la caverne de Platon. *Organon*(35), pp. 206-246.

Zotti, G. (2006). *A Sky Dome Visualisation for Identification of Astronomical Orientations.* Institute of Computer Graphics and Algorithms, Vienna University of Technology.

Zotti, G., Wilkie, A., & Purgathof, W. (2006). Using Virtual Reconstructions in a Planetarium for Demonstrations in Archaeo-Astronomy. *Central European Multimedia and Virtual Reality Conference*. Consulté le 05 2015, sur https://www.cg.tuwien.ac.at/research/publications/2006/zotti-2006-pla/zotti-2006-pla-.pdf

Table d'illustrations

Figure 1 - ScénographIA, adaptation dynamique des décors à différents types de cages de scène. 8
Figure 2 - Næxus, dispositif immersif nomade 10
Figure 3 - Gavrinis, le nuage de points du relevé laser 12
Figure 4 - Gravrinis, stèle R8, révélation des gravures 12
Figure 5 - AVEL, Etapes de la modélisation du bateau 15
Figure 6 - L'Aéroflorale II à Dessau, coopération ENSA Nantes, la Machine, Stifftung Bauhaus, Hochschule Anhalt 17
Figure 7 - conférence lors du colloque Poétique du numérique 3, MSH Ange Guépin de Nantes mardi 12 et mercredi 13 juin 2012, www.projet-valeurs.org 20
Figure 8 - les perspective de Sant'elia et les traductions formelles en bandes dessinées et au cinéma 29
Figure 9 - Projet de Gilles Retsin : « Snowflake Tower » 31
Figure 10 - vignettes des films des étudiants de l'UET Architecture en Représentation 36
Figure 11 - Exemples d'invariants dans la figuration du son, de la chaleur, de la lumière et des ombres 41
Figure 12- Figuration d'ambiance 43
Figure 13 - photographie archétypique, couché de soleil sur l'Elbe .45
Figure 14 - Babelsberg, Back-lots, rue studio 46
Figure 15 - Topique "terrasse de café" 48
Figure 16- Représentation 49
Figure 17 - Gavrinis en hiver, illustration d'ambiance 63
Figure 18- Schéma synoptique de la démarche 62
Figure 19 - Sonnenobservatorium Goseck capture Here.com 67
Figure 20 - Crucuno, le quadrilatère 71
Figure 21 - Occurrences de Crucuno en français 71
Figure 22- Occurrences de Crucuno en anglais 74
Figure 23 - Crucuno, photo Félix Gaillard 1880 80
Figure 24 - Histogrammes de comparaisons Thom / Norris 104
Figure 25- Crucuno Lukis1867 114
Figure 26 - Crucuno Lukis 1870 114
Figure 27 - Crucuno Lukis 1870 redressé 115
Figure 28 - Crucuno Gaillard 1897 115
Figure 29 - Crucuno Thom 1973 116
Figure 30 - Crucuno Lescop 2014 116
Figure 31 - Crucuno, comparaison des plans d'origine 117
Figure 32 - Crucuno, comparaison des plans sans surcharges 117
Figure 33 - Crucuno, hypothèse d'inversion du plan de 1870 118
Figure 34 - Crucuno, comparaison des élévations 118
Figure 35 - Crucuno, relevé laser et vérification du nord géographique 119
Figure 36 - Crucuno, nuage de points 119
Figure 37 - Crucuno, nuage de points - vue en plan 119
Figure 38 - Crucuno, photogrammétrie – étape nuage de points ..119

Figure 39 - Crucuno, photogrammétrie – étape nuage de points ..120
Figure 40 - Crucuno, photogrammétrie, maillage et textures 120
Figure 41 - Crucuno, calage maillage photogrammétrie et maillage laser 120
Figure 42 - Crucuno, modèle 3D maillé et texturé avec le sol. 120
Figure 43 - Crucuno, étape préparatoire, la silhouette en blanc cassé, le menhir 3D relevé en 2014 et la géométrie qui va être sculptée pour correspondre à l'un et à l'autre. 121
Figure 44 - Crucuno, affinage de la sculpture et correspondance. .121
Figure 45 - Crucuno, extrapolation d'une silhouette particulièrement longue, laissant penser à un très grand menhir. 122
Figure 46 - Crucuno, extrapolation et modélisation du plan Lukis 1870 et superposition avec le relevé 2014 122
Figure 47 - Crucuno, extrapolation et modélisation du plan Lukis 1870 et superposition avec le relevé 2014, en bleu les menhirs couchés avant restauration.....122
Figure 48 - Crucuno, vérification du solstice d'hiver pour 2014 avec Sunearthtools.....124
Figure 49 - Grasshopper, câblage de la simulation de la course solaire 124
Figure 50 - Crucuno, courses solaires aux solstices d'hiver et d'été pour 2014 et -3700 avec un pas de temps d'une heure. 125
Figure 51 - Crucuno, course solaire pendant le solstice d'hiver + position des étoiles 125
Figure 52 - Crucuno, développement à 360° de la scène avec course solaire. 125
Figure 53 - G.Robin, typologie des signes circulaires radiés (extrait) 127
Figure 54 - G.Robin typologie des signes semi-circulaires radiés (extrait) 127
Figure 55 - S.Cassen, Représentations de la lune et de l'embarcation 128
Figure 56 - Calcul de la zone de visibilité.....133
Figure 57 - Profil altimétrique 134
Figure 58 - Rayon simplifié de visibilité du Grand Menhir + croquis des correspondances de Thom.....134
Figure 59 - Nantes, l'éléphant de bois de la compagnie la Machine 153
Figure 60 - Gavrinis, façade du cairn 157
Figure 61 - Gavrinis, gravures du couloir, détail de R4 159
Figure 62 – Temporalités : synchronisation 161
Figure 63- temporalités : désynchronisation.....161
Figure 64 - Næxus, principe de montage.....166
Figure 65 - Næxus, système de projection 167
Figure 66 - Næxus, aspect général 168
Figure 67 - Næxus, utilisation, le contact avec l'écran rend la médiation plus facile. 169
Figure 68 - Næxus, visite virtuelle de Gavrinis 172

Figure 69 - Næxus, le film de la dalle L6 172
Figure 70 - Næxus, accès au port de Vannes 173

Laurent Lescop

École doctorale : Sciences pour l'Ingénieur, Géosciences et Architecture
Discipline : Aménagement de l'espace, Urbanisme
Unité de recherche : Centre de Recherche Nantais Architectures Urbanités
Novembre 2015

Mémoire HDR

Livret 2 : **Ambiance et conception : Cahier méthodologique et technique**

Table des matières

Avant-propos 220
Calcul du volume de la dalle de couverture. 222
Etude de la dalle de seuil de Gavrinis.....232
Fouille et photomodélisation 238
Photomodélisation d'un percuteur 281
Création d'une pendeloque en variscite d'après photos.....308
Calcul du volume de Gavrinis. 320
Photomodélisation et temps réel.....323
Replacement de documents anciens dans une géométrie 3D 333
Modélisation de Crucuno. 340
Les enjeux du relevé.....341
La solution lasergrammetrie/photogrammétrie. 344
Extrapolation des parties cachées.....348
Validation des outils solaires.....353
La question des dates anciennes.....368
Montage de la géométrique solaire 374
Modélisation de l'éclipse du 20 mars 2015 381
Impression 3D 387

Avant-propos

L'image que nous obtenons suite au relevé est une **représentation** de qui a été vu. En français, représentation implique qu'il y a eu **interprétation**, qu'il y a eu des choix, qui ont conduit à privilégier tel aspect, telle échelle, tel détail, tel couleur…

Pour un site, pour une construction, pour une gravure, l'enjeu est souvent de déterminer la **limite** : la limite entre le naturel et l'anthropique est souvent la première chose à déterminer. Puis il y a la limite qui fait apparaitre la forme. Mais la compréhension de la forme est complexe, elle peut se manifester, se comprendre, par le contour, la silhouette ou la structure.

Le relevé est donc le résultat d'une **double imitation** : la première imitation est celle d'un sujet naturel ou symbolique par le réalisateur d'origine, c'est la dire la personne, un homme ou une femme, a conçu puis exécuté. La deuxième imitation se fait par la personne qui a découvert l'artefact et qui fait le relevé. La double imitation est donc une double distance par rapport au sujet d'origine.

Le meilleur relevé serait celui qui est le plus **ressemblant**, ce qui ne pourrait se distinguer de l'objet de départ. On peut alors parler de reproduction. Nous aurions alors l'illusion de la présence de l'objet. L'idéal de cette reproduction permettrait une description précise de l'ensemble des caractéristiques. Ce pourrait être une copie ou des copies, destructibles, laissant l'intégrité de l'original. Cette ressemblance idéale préserve l'échelle et la matière, mais, dans un **instant arrêté**. Cette imitation peut-elle rendre la dimension temporelle, tout ce qu'il est advenu à l'objet ? Un autre type d'études, comme ce qui sera détaillé ensuite, doit chercher à comprendre ce qui fait **récit** dans les objets, et pour les gravures, ce qui les attache au monde. Il faut chercher une autre forme d'imitation.

Ce dédoublement dans lequel nous reconnaissons l'ombre d'Aristote, nous repose la question de la ressemblance : l'image que nous observons lors du relevé, surtout pour les gravures est plus qu'une **image**, elle est aussi **signe**. Elle renvoie donc à une idée au-delà d'elle-même. Descartes prend pour expliquer cela l'exemple de l'eucharistie : le pain est le corps du Christ, le vin est son sang.

Le sens, comprendre le récit qui se trouve gravé dans la matière, témoigne de la vanité de l'homme à défier les assauts du temps, mais témoigne également que les sociétés se fondent sur la permanence des récits. De façon inappropriée, nous disons en français « enregistrer » pour décrire l'action d'imiter une gravure. C'est le

même mot que pour capter le son des voix, sauf qu'ici, nous ne savons pas encore écouter l'enregistrement.

Pour tenter d'y parvenir, il faut recueillir beaucoup de données, dans et hors des limites de l'étude. « Apercevoir les similitudes, c'est témoigner d'un esprit sagace » disait Aristote. C'est aussi risquer des erreurs. Nelson Goodman écrivait lui « *qu'une image peut représenter presque n'importe quoi* » suggérant que l'on peut tout voir dans une forme et que seule la croyance permet de s'attacher à une signification plutôt qu'à une autre, comme cela a été le cas pour les fameuses « haches-charrues ».

Ces haches-charrues, sont plutôt des cachalots, dont il faut admettre que la figuration évolue d'un support à l'autre, laissant penser, avec Ernst Gombrich, qu'il ne s'agirait pas que d'un signe conventionnel comme le sont les signes linguistiques, mais d'une **mise en tension** d'un sujet de la nature dans un espace de représentation comprenant le support. Si c'est bien le cas, ce serait, suivant la démonstration de Gombrich, la manifestation d'un long apprentissage, et de cadres culturels et sociaux extrêmement structurés.

Ces quelques notions donnent l'armature des processus qui seront décrits ci-après, puisque va se poser la question de l'outil dans nos actions de relevés ou d'imitation, des sujets, et de la recherche des récits qu'ils contiennent.

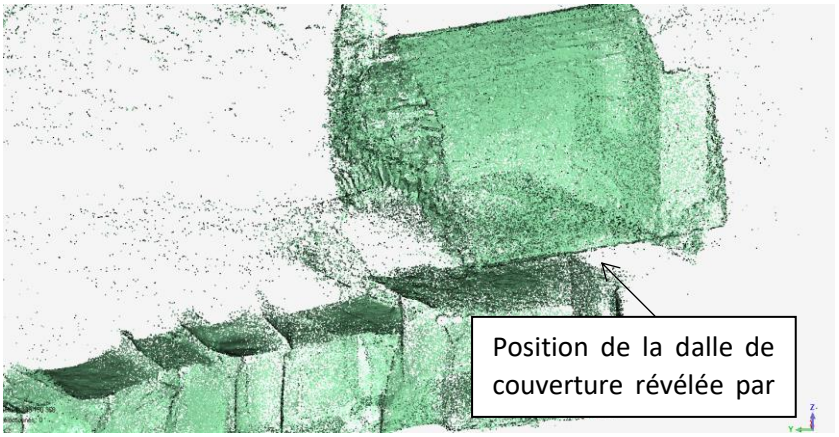
Calcul du volume de la dalle de couverture.

Extraction de la dalle du nuage de point.

Le relevé laser a permis d'obtenir une volumétrie intérieure et extérieure du cairn de Gavrinis. Les différentes stations mises en cohérence dans un repère unique ont donné les positions relatives des différents composants de la tombe : le volume extérieur, le couloir et la chambre, la « chapelle » ouvrant sur la dalle de couverture.

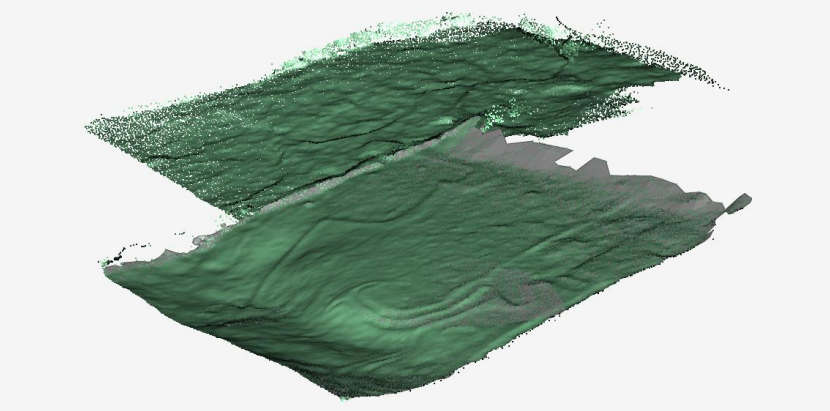
L'illustration ci-dessus montre le nuage discriminé à 5% révélant les positions de chaque composant.

La dalle de couverture n'est visible que dans la chambre pour sa partie inférieure dans la chambre et pour la partie supérieure depuis la chapelle. Le relevé laser a enregistré ces éléments mais le volume lui-même ne peut être déduit que par le vide laissé par l'enregistrement.



Différenciation des parties supérieures et inférieures de la dalle.

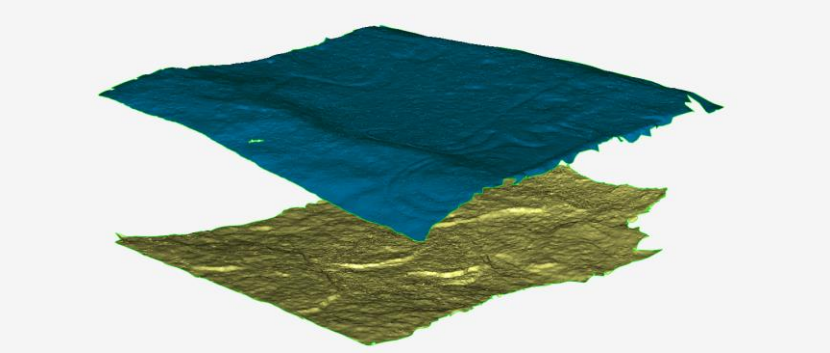
Pour plus de commodité dans la manipulation des nuages, la partie supérieure est isolée de la partie inférieure. Il s'agit surtout de pouvoir contrôler les normales des futurs triangles.



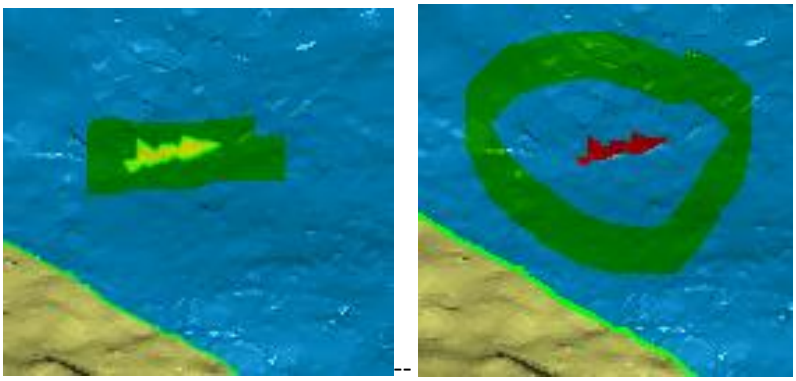
Les deux parties de dalles sont nommées « dalle-dessus » et « dalle-dessous ».

Maillage des nuages de points

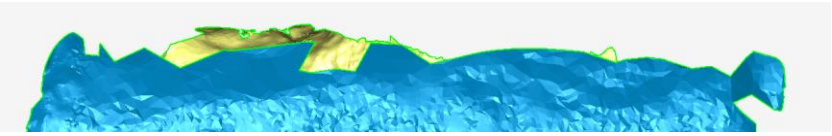
Les deux nuages « dalle-dessus » et « dalle-dessous » sont ensuite maillés. Un nettoyage des bords est ensuite effectué.

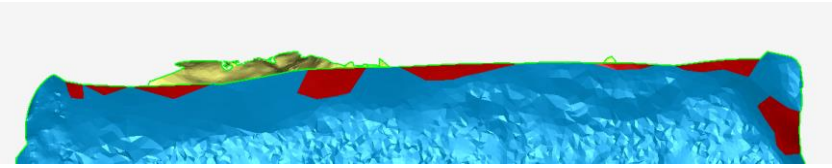


Les trous dans la maille doivent être impérativement bouchés. L'idée est d'obtenir un volume parfaitement clos pouvant à la fois être utilisé pour le calcul du volume, mais également pour une impression 3D, une simulation physique. De plus, la discrimination sera fera mieux avec une maille continue.



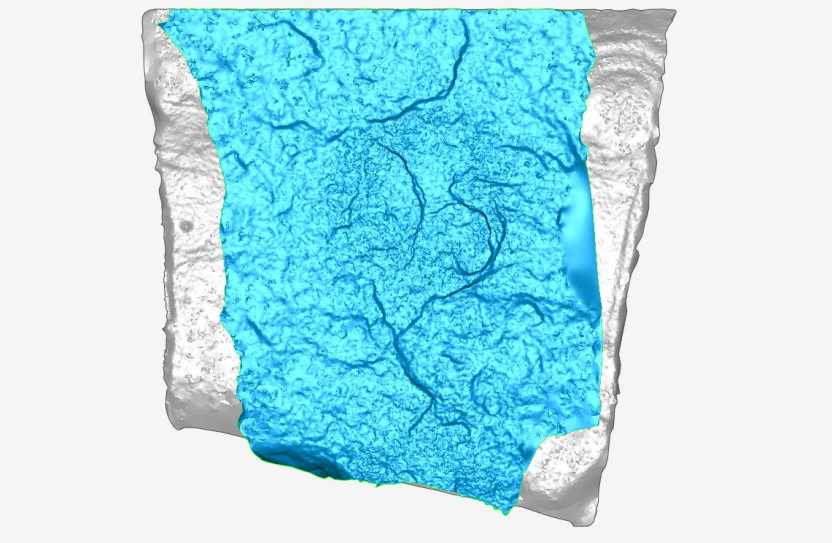
Les irrégularités flagrantes dans les bords sont corrigées, les traces des dalles voisines sont effacées.





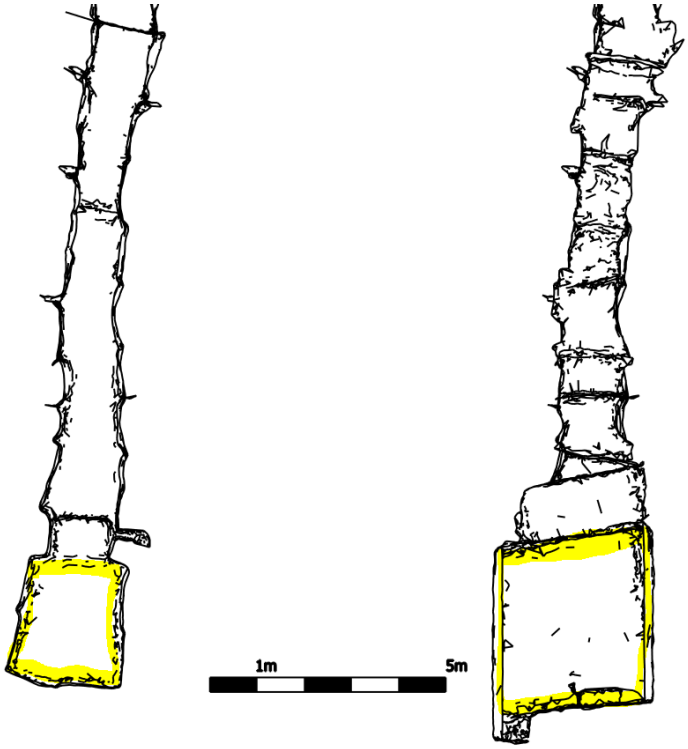
Problèmes liés aux modèles

La superposition des deux faces montre une différence géométrique importante. La partie inférieure est révélée dans le couloir, elle surplombe la chambre, la partie visible est déterminée par la position des orthostates.

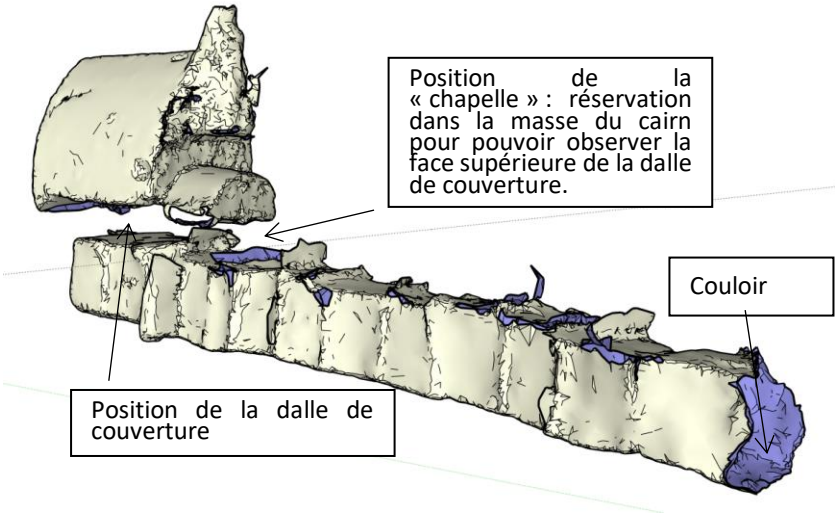


La partie supérieure est visible grâce à un aménagement dans le cairn cherchant à libérer le plus possible les gravures.

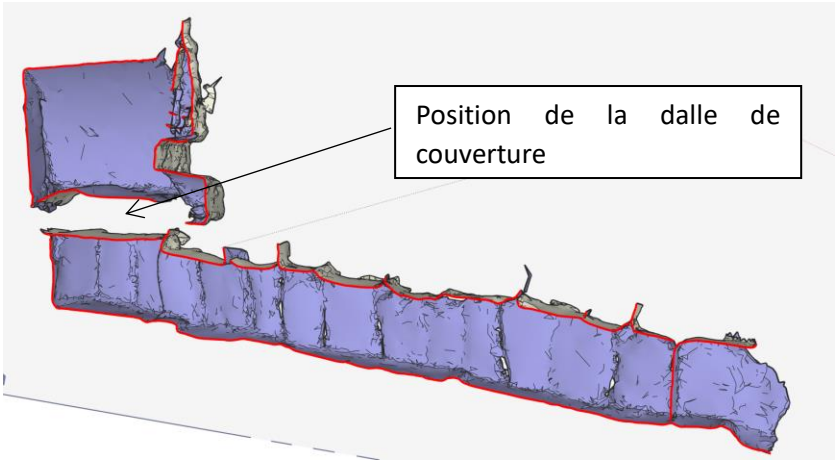
Les plans du couloir et de la chambre montrent les différences de proportions (exprimées en jaune).



La modélisation des « vides » montre la position de la dalle de couverture dans le cairn.

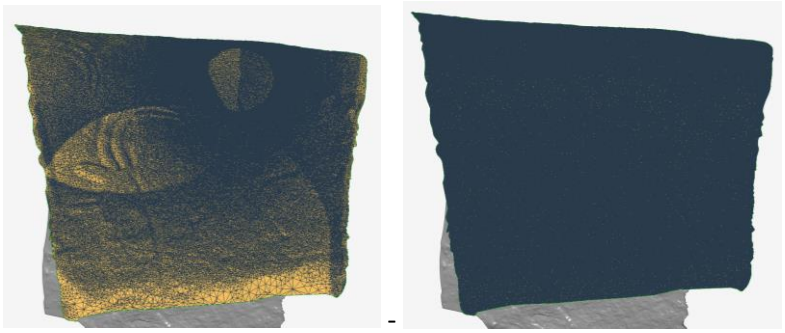


La position exprimée en coupe :



Remaillage et décimation

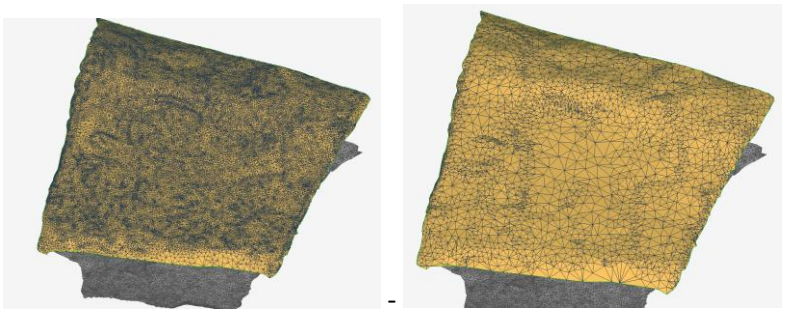
Avant de faire la reconstruction de la dalle, le maille est recalculé afin d'obtenir des triangles plus réguliers. Le problème principal est la différence de densité selon les zones.



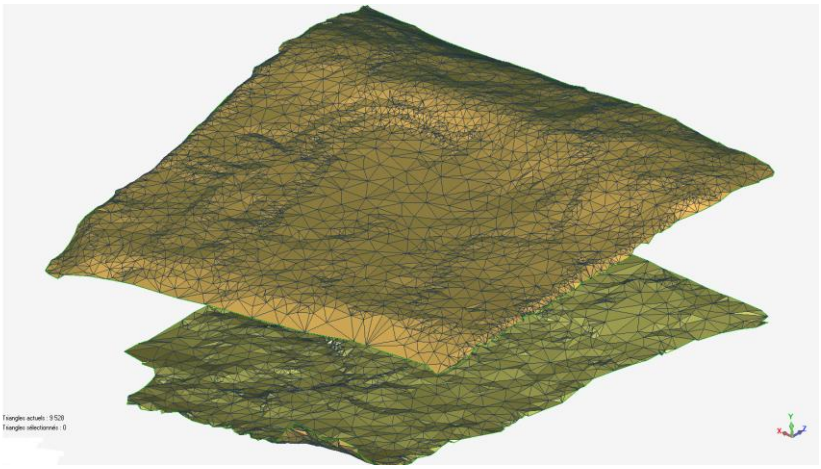
Le modèle remaillé offre une régularité absolue dans l'organisation et la taille des triangles, ce qui sera nécessaire avant la discrimination.

Pour calculer le volume, un maillage moins dense donnera des résultats quasiment identiques pour un confort de modélisation et de calcul optimisé.

Maillage à 10 % et 100%



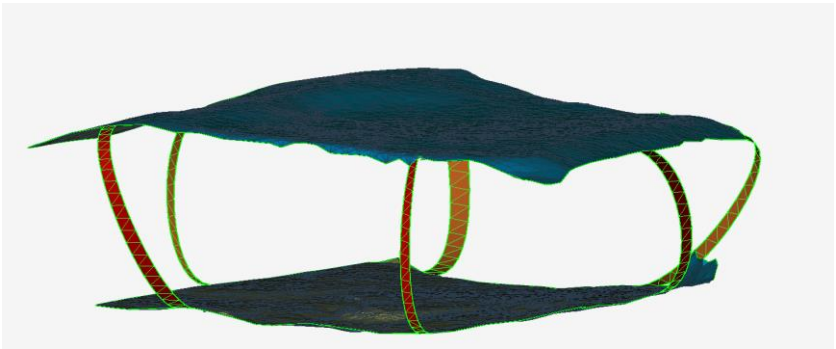
Les faces de dessus et dessous sont maintenant prêtes pour la reconstruction.



Reconstruction de la dalle de couverture.

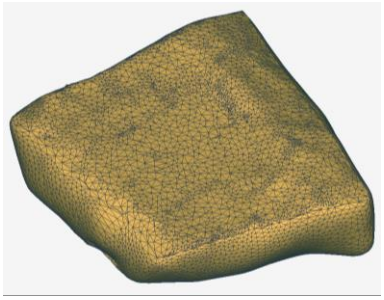
Dans l'état actuel du relevé, la reconstruction de la dalle de couverture ne peut se faire que par extrapolation des éléments existants. Ici, la configuration choisie est de rester dans le volume minimum de ce que le relevé a enregistré.

Des arcs de polygones sont développés sur les quatre bordures afin de joindre les surfaces inférieures et supérieures dans les prolongements dynamiques des surfaces.

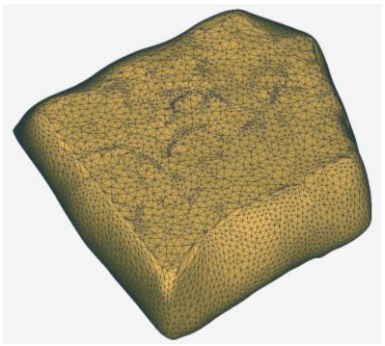


Les faces latérales sont ensuite comblées.

Le modèle est terminé, face supérieure et inférieure. Un travail infographique permettra ensuite de redonner les gravures et l'aspect de la roche.



-



Calcul de la masse de la dalle de couverture.

Le volume V ainsi obtenu est de 8,45 m^3 soit 8 450 000 cm^3.

L'orthogneiss est une roche dont la densité moyenne D est de 2,8 g/cm3).

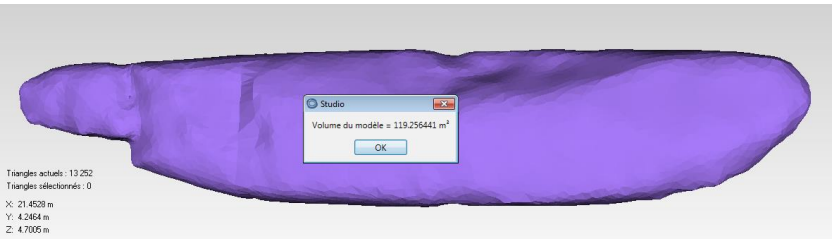
La masse D x V de la dalle serait donc au minimum de 23 660 000 g soit 23,6 tonnes.

Autres dalles de couverture

Le Grand Menhir

Le Grand Menhir a été relevé en 2003. Le relevé point à point au théodolite a permis de constituer le volume global des masses. Les faces contre le sol ont été déduites des parties existantes. Les pièces séparées ont ensuite été assemblées dans 3DSMax pour recomposer la dalle telle qu'elle se présentait avant cassure.

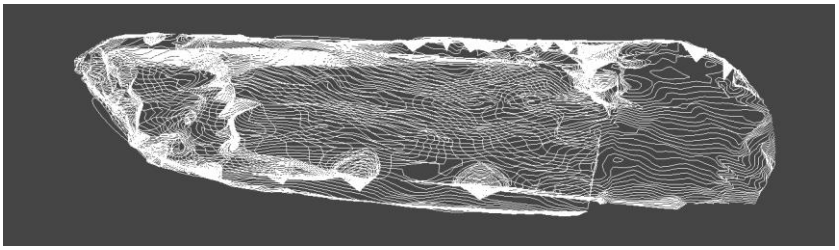
Pour la présente étude, les volumes ont été retravaillés dans Géomagic afin d'obtenir un maillage plus régulier sans changer les données géométriques, puis l'assemblage a été soigneusement corrigé afin d'obtenir un volume fermé, condition indispensable pour obtenir le calcul du volume.



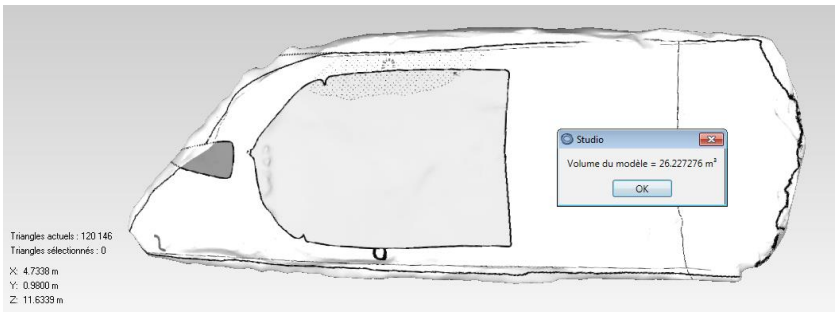
On notera qu'il manque une partie (à gauche) qui a disparu, et qui pourrait éventuellement être sculptée en 3D ajoutant un peu de masse à l'ensemble du volume.

Mané Rutual

Mané Rutual a également été relevé point à point en 2003. Les faces supérieures et inférieures ont été assemblées dans AutoCad puis exportées dans 3DsMax sous forme d'iso lignes décrivant les courbes de niveau des surfaces de la dalle.

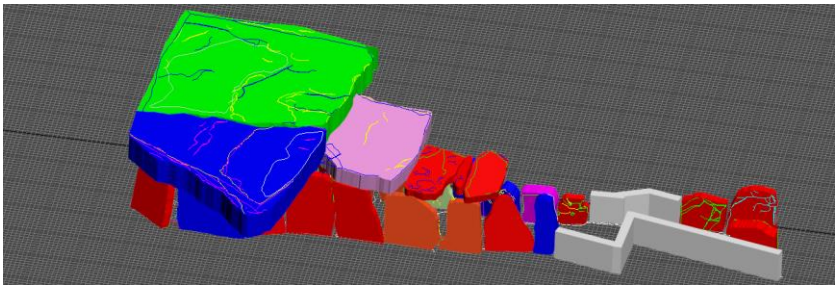


Pour le calcul du volume, les courbes ont été reliées pour créer des surfaces (dans 3DsMax), les polygones obtenus ont été exportés dans Géomagic afin de nettoyer la géométrie et fermer le volume. Une élévation, utilisée ici comme texture a servi de référence.

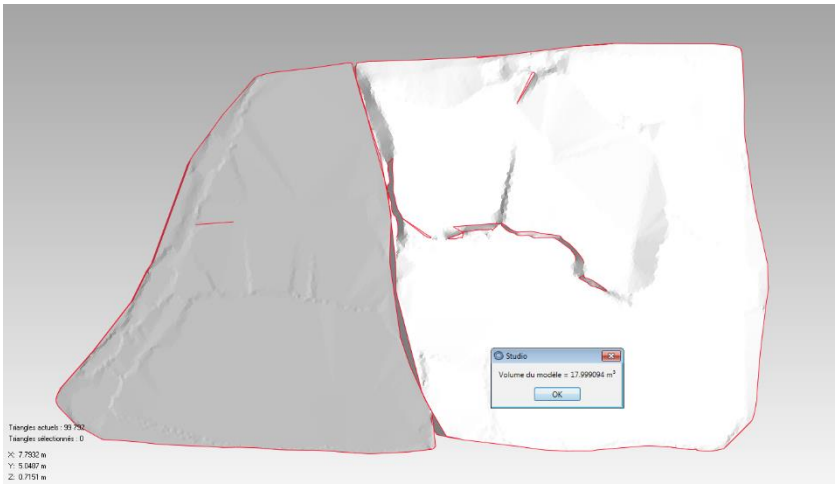


ManeLud

ManéLud a été relevé en 2003 et mis en 3D avec une technique appliquée généralement aux terrains d'où l'obtention d'un MNT, autrement dit un modèle donnant des hauteurs selon une grille régulière. La réalisation de polygone a été effectuée à l'époque à partir du contour, le relief étant indiqué par des lignes de tracés.

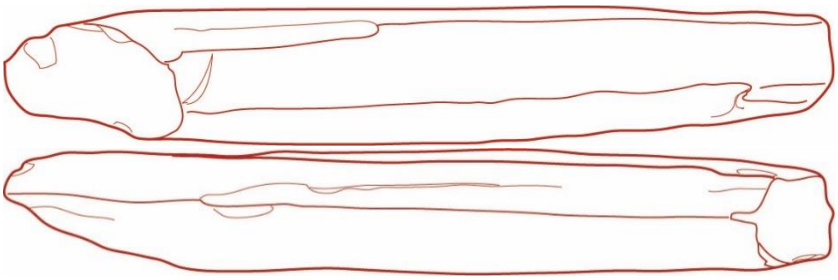


Les volumes se présentant alors comme une extrusion, l'ensemble des données a été repris pour le calcul des volumes. Les lignes de reliefs, bien positionnées dans l'espace ont servi de support pour la création des reliefs réels. La dalle cassée a été réalignée puis assemblée dans Géomagic et nettoyée pour obtenir un volume fermé.



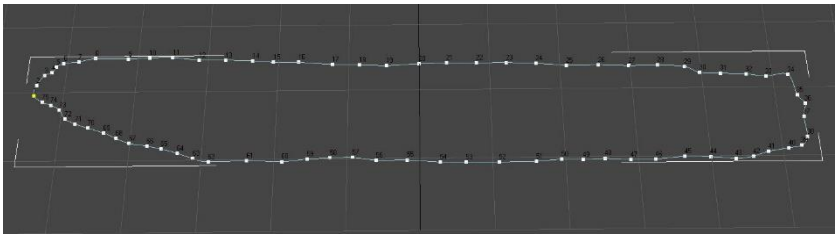
La Table des Marchands.

Le traitement de la Table des Marchands a été plus complexe. Il n'existe pas encore de relevé numérique, mais un ensemble de documents décrivant la géométrie de la dalle, le relief de surface, ce, pour presque toutes les faces. Par ailleurs, cet objet ayant été largement étudié, il existe de nombreuses photographies, parfois très anciennes, des croquis et des mesures venant encadrer une évaluation globale.



L'un des problèmes les plus ardus est d'évaluer l'épaisseur de la dalle, ce qui peut être balisé par le relevé numérique de la dalle de Gavrinis appartement au même ensemble à l'origine.

Pour reconstituer le volume global de la dalle, les élévations ont été placées dans 3DsMax et mis à la bonne échelle. Les profils ont été redessinés avec une spline.



Ensuite en utilisant la fonction Loft, le volume global est approché avec la construction à partir de trois élévations. La forme de la dalle a conduit à pratiquer ensuite une opération booléenne pour retailler les pans coupés.

Le volume a ensuite été comparé au relevé de la dalle de couverture de Gavrinis. Il s'est avéré que les côtes du dessin sous-estimaient l'épaisseur du volume. Plusieurs hypothèses, incluant une modélisation Sketchup existante, ont été proposées et discutées, guidant vers la plus plausible.

Finalement, en nous guidant vers les bords communs à Gavrinis et la Table des Marchands, nous avons déterminé le meilleur volume.

Etude de la dalle de seuil de Gavrinis

Détail du relevé, préparation du support, temps de relevé, difficultés rencontrées.

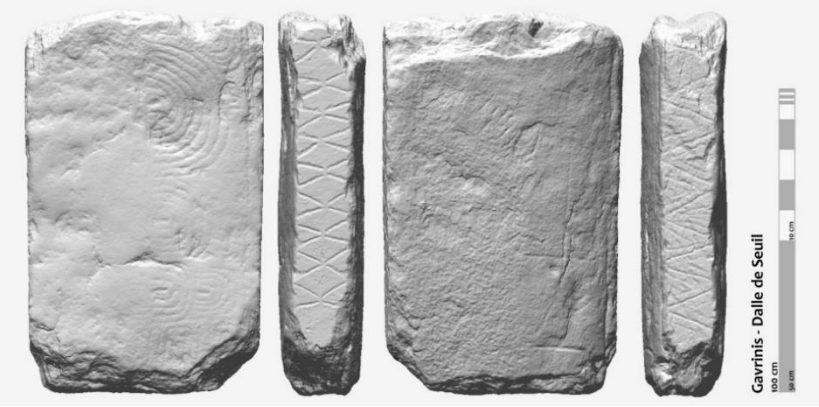
Aspect général

La dalle de seuil dite S12 du Cairn de Gavrinis est conservée dans le dépôt de fouille du Morbihan à Vannes et ne fait donc pas parti du corpus relevé sur place. La dalle de seuil est taillée dans un bloc de granit de Carnac. La dalle fait actuellement 1, 334 m de long, 1,237 m de large et 0,368m d'épaisseur (proportions de la boite englobante). Le bloc a un volume de 0,218m^3 et a donc une masse d'environ 600Kg. Les gravures sont pour certaines très érodées tandis que celles apparaissant sur les grandes tranches sont plus marquées.

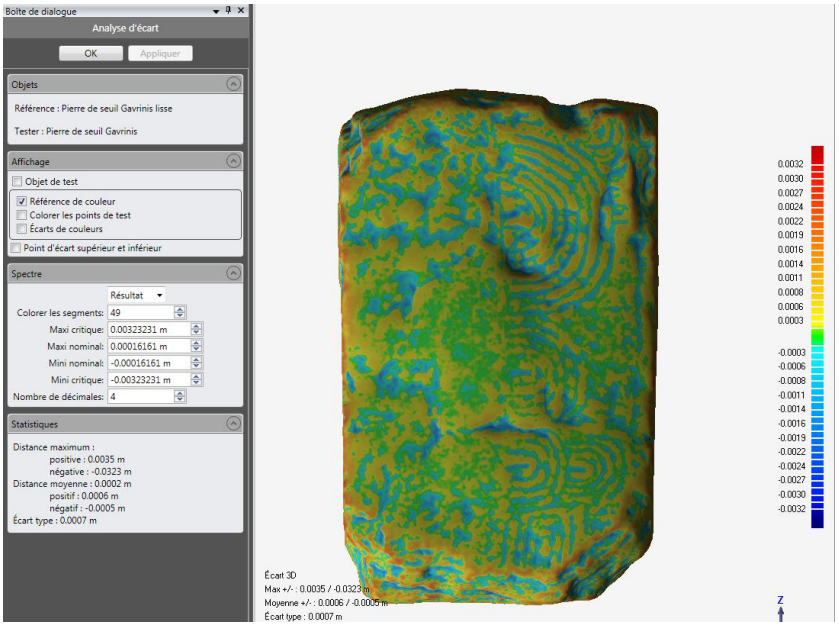
L'objectif en 2012 a été de comparer la technique lasergrammetrique, onéreuse et lourde à mettre en place, avec la technique de la photogrammetrie dont l'économie générale n'a rien de comparable. Le propos sous-jacent étant bien entendu de développer des méthodes et des moyens adaptés aux budgets les plus modestes mais aussi de pouvoir disposer d'une panoplie à emporter facilement avec soi. Les résultats décrits dans le deuxième rapport d'opérations (Cassen et al., GAVRINIS (Larmor-Baden, Morbihan) A la recherche des représentations d'une tombe à couloir du IVe millénaire (2) Rapport d'opération de relevés pariétaux et architecturaux, 2012) et repris dans l'article (Gavrinis The raising of digital stones) publié en 2013.

Traitement

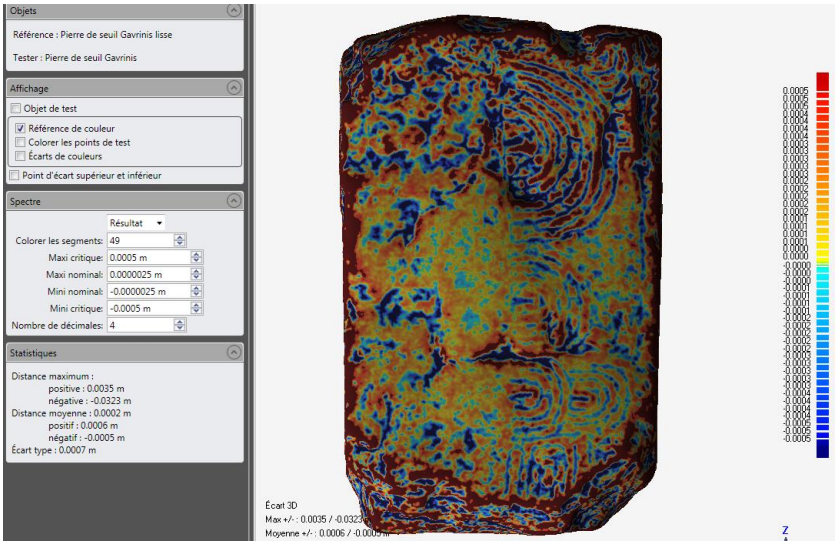
Mise en valeur des gravures par calcul des écarts. Le maillage est dupliqué, puis lissé. Les gravures sont alors à peine visibles.



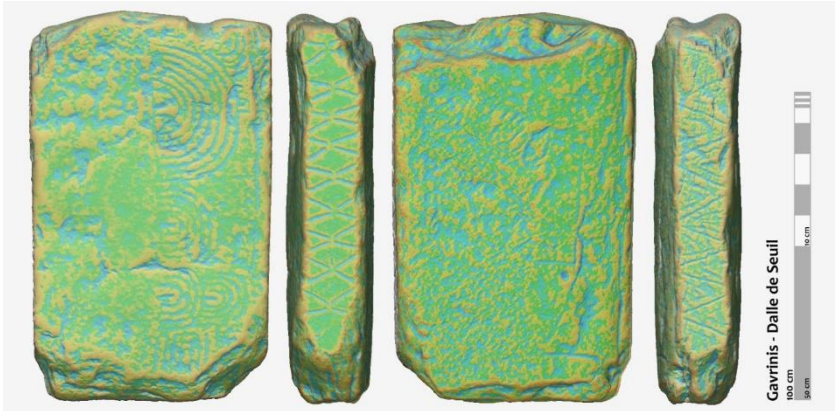
Les deux géométries sont alors comparées.



Des recherches particulières peuvent être menées pour tenter de faire apparaitre des détails fins.



Il est alors possible d'extraire une cartographie des écarts qui, superposée au relief réel, donne une très bonne lisibilité des gravures.



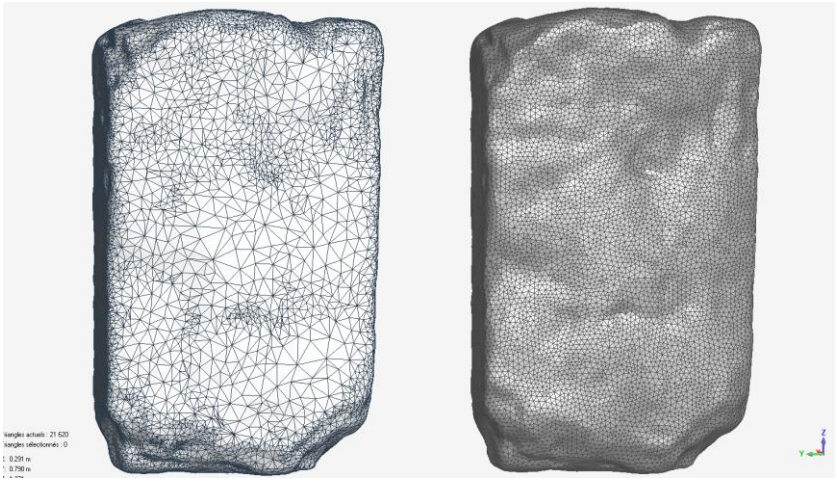
Cette image va être utilisée pour réaliser un modèle basse résolution consultable dans un fichier PDF 3D pour servir de texture.

Préparation du modèle pour la 3D.

Il faut réaliser X grandes opérations pour obtenir un modèle utilisable en temps réel :

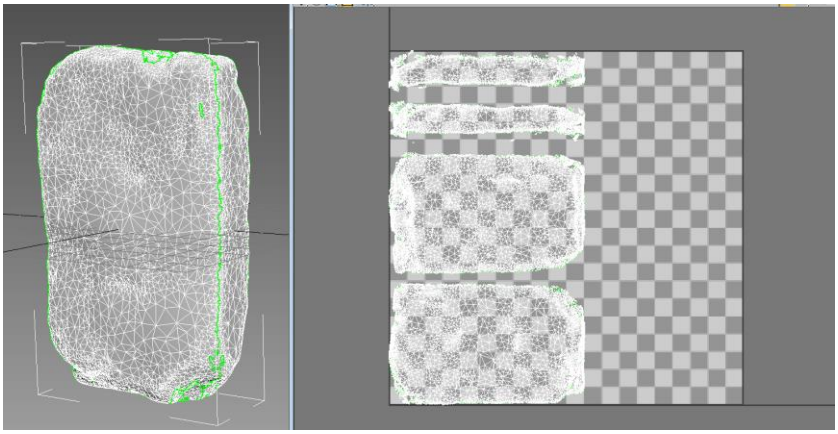
1. Optimisation du maillage et décimation pour obtenir un nombre de faces acceptables
2. Projection d'une texture simulant les détails perdus lors de la décimation
3. Création d'un format acceptable par les logiciels temps réel.

Une version discriminée est préparée. La discrimination se fait à 100 %, c'est-à-dire que l'on passe de 2 millions de polygones à 20 000. Plus le nombre de polygones est réduit, plus l'interactivité sera fluide, en fonction, bien entendu, de la puissance de la machine.



Une fois le polygone décimé, il pourra être important de le remailler. En effet, les mailles de tailles différentes pourraient engendrer des problèmes de placement de texture par la suite.

Le modèle remaillé est exporté au format OBJ et récupéré dans 3DSMax pour la création de l'UVW Map. L'UVW map est un système de coordonnées permettant d'accrocher la texture à la géométrie. Il peut s'agir pour les objets simples d'un système de coordonnées issues d'un carré, d'un cylindre ou d'une sphère. Pour les objets plus complexes, on préfèrera « déplier » l'objet, le projeter sur une surface plane à laquelle on fera correspondre la texture.

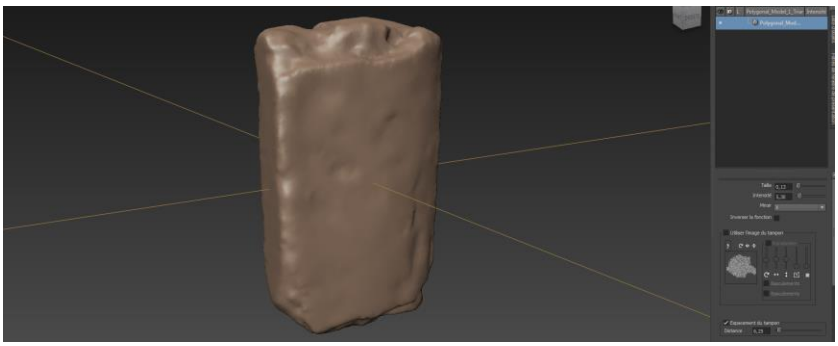


Pour plus de facilités, l'objet est ici globalement découpé suivant les faces principales. Les coordonnées (ici symbolisées par le damier) sont alors repérées, à chaque maille correspond une surface de pixels sur la carte de texture.

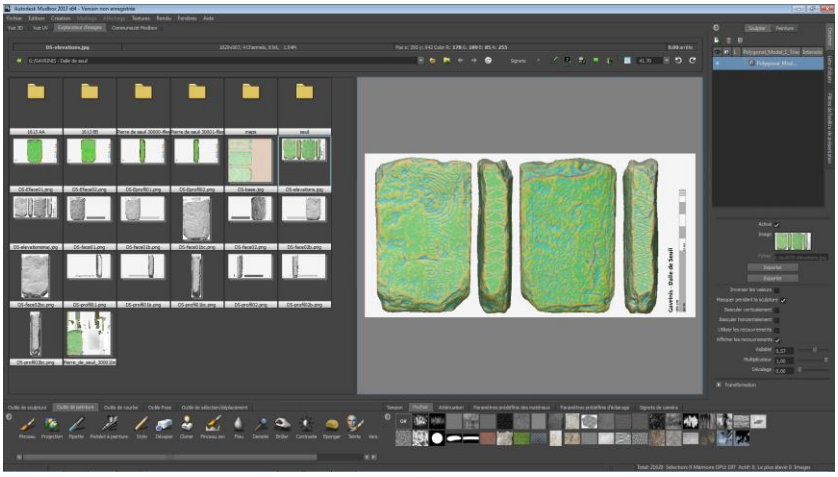
Deux solutions sont alors envisageables : la première consiste à récupérer cette carte de texture et à repeindre dessus l'aspect original de la stèle. Cela se fait dans un logiciel de dessin et cela correspond à l'ancienne façon de procéder.

L'autre solution cherche à peindre directement et en 3D la texture sur le maillage. Pour cela, une carte des UVW est de toute façon nécessaire. Cette opération est faite dans le logiciel MudBox d'Autodesk.

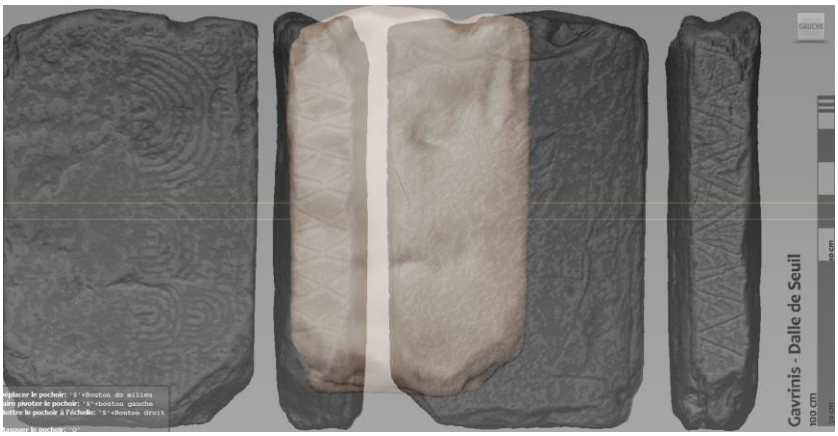
L'objet est importé dans Mudbox.



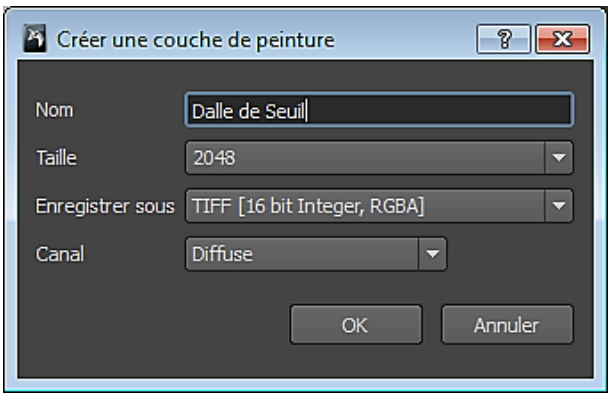
L'image contenant la texture est importée comme pochoir.



Le pochoir s'applique en superposition du maillage 3D, il suffit ensuite de peindre. La technique fonctionne si la préparation des UVW map est bien réalisée. Sinon, des aberrations surgissent et le modèle n'est pas exploitable.

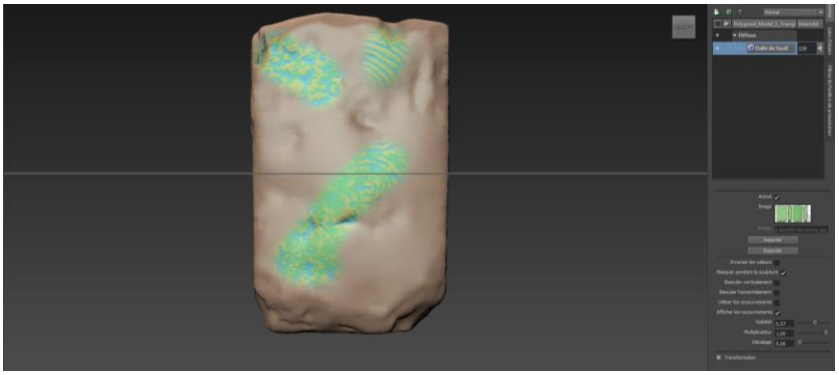


En se plaçant en projection orthogonale et en vue régulière, la superposition est facile et précise. La texture apparait directement sur le maillage avec la fonction « projection ».



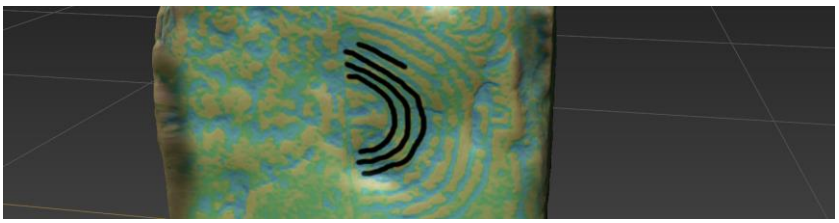
Il faut créer une texture.

La projection se fait directement sur l'objet.

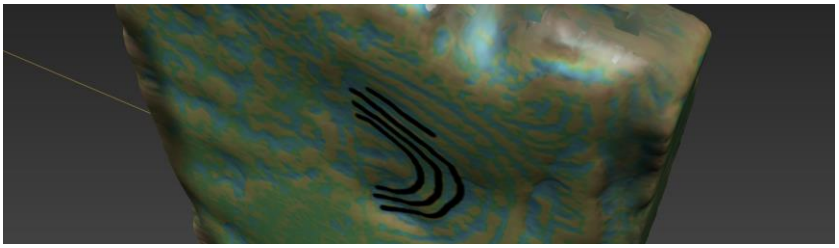


Il faut alors répéter les opérations sur l'ensemble des faces en repositionnant à chaque fois le pochoir.

Une fois la texture appliquée, de nombreuses opérations sont possibles, en particulier, le fait de pouvoir annoter ou dessiner directement sur un objet.

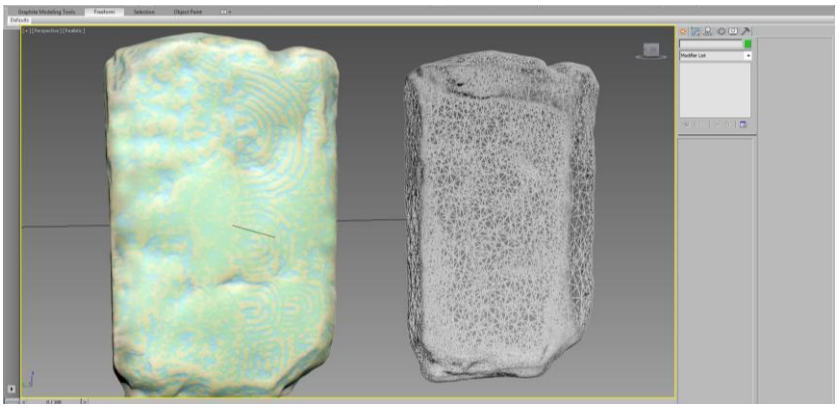


Le résultat est bien entendu en 3D.



Il faut ensuite exporter les couches de texture pour pouvoir les utiliser dans un autre logiciel. Il également, selon l'outil utilisé, redéfinir la librairie, le fichier MTL pour un objet OBJ.

L'objet est maintenant prêt pour une exportation en PDF3D



Fouille et photomodélisation

Dans cet exemple, le dégagement d'un site lors d'une fouille est photographié et modélisé pour chaque étape importante. Outre le suivi pas à pas des travaux et les possibilités d'archivage que cela représente, la méthode permet également de d'établir des données complémentaires telles les cubatures retirées ou la forme précise des strates observées. Ce sont des opérations qui se font tant sur les pleins que sur les vides.

Traitement détaillé d'une phase de fouilles.

Procédure.

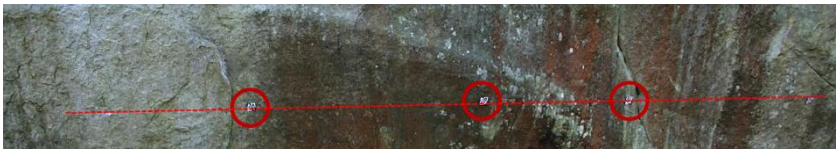
L'enregistrement systématique des étapes de la fouille procède autant du témoignage et de la documentation de l'évolution du chantier que de la possibilité de mesurer, strate après strate, des quantités de sédiments retirés, de la déduction de la configuration des couches sédimentaires et de la possibilité d'extraire des orthophotographies de l'ensemble des faces.

Installation.

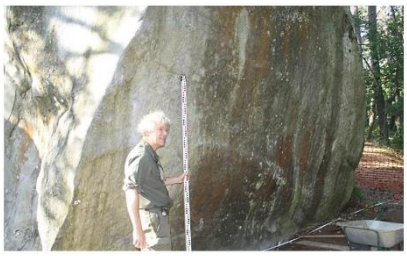
La procédure bénéficie du dispositif d'installation du chantier. Le **carroyage orthogonal** placé au sol sur une trame d'un mètre permet de caler les mesures et d'apprécier les déformations éventuelles de la reconstruction numérique. Ici, un axe est donné en abscisse le long du rocher et parallèle à sa face la plus linéaire. Orthogonalement, la trame s'étend depuis le rocher vers l'extérieur sur une distance de 5 m.

Les fils constituant le corroyage sont marqués à leur intersection par une capsule colorée que maintient au sol un clou. La capsule sera très facilement détectée par les logiciels de reconstruction et servira ainsi de marqueur. Des balles colorées viennent souligner les angles et donner le périmètre maximum de l'installation.

Des repères horizontaux positionnés grâce à un niveau laser sont fixés en ceinture sur le rocher.



Un relevé au niveau de chantier fixe les grandes proportions et donne les hauteurs de la ligne de repère horizontal, de la hauteur du rocher et la distance à la base à partir d'un point repéré dans le carroyage. Ces mesures donneront autant de points de vérification du modèle 3D.



Prises de vue

Les photos ont été prises soit à l'aide d'une perche pour rester perpendiculaire au sujet, soit classiquement à la main, la première méthode imposant un déclenchement retardé, la seconde des postures parfois acrobatiques. Pour les objets grands et hauts, la perche est indispensable.

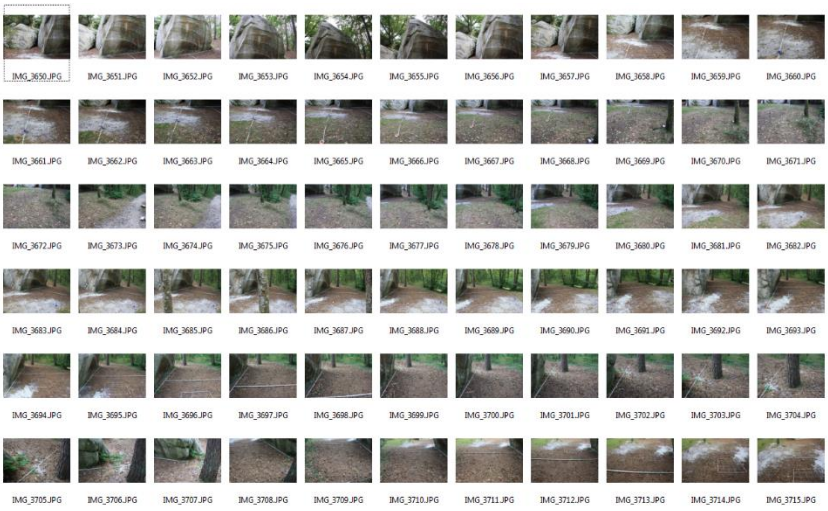
Pour chaque session de prise de vue, les repères devront scrupuleusement comprendre les repères d'horizontalité qui sont fixes qui faciliteront le calage du modèle 3D et les repères d'échelle qui donneront les proportions justes de la géométrie.

Partie 1 – collecte des données

Etape 0 : Chantier installé, zone nettoyée mais non creusée

Une première série de 136 photographies est réalisée avant que le premier niveau de fouille ne commence. Les photographies sont prises au 18mm avec un Canon 1000D. Un pavage systématique est effectué afin de couvrir l'ensemble de la surface et l'amorce du rocher est prise également afin de fixer les verticales et de donner une surface intangible qui servira ensuite à recaler et superposer tous les relevés suivants.

Un extrait de la collection de photos donne une idée du recouvrement effectué.



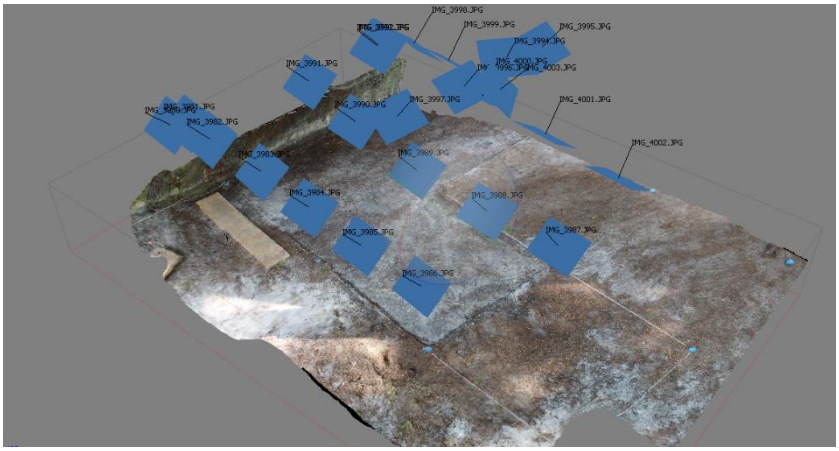
Le pavage doit répondre à un parcours rigoureux, continu, linéaire, sans interruption. Il est généralement nécessaire de le répéter avant de commencer les prises de vue afin d'anticiper les éventuels problèmes.

Le nuage fait ici 11 millions de points et devra être nettoyé sur les abords. Il faudra éliminer la végétation et les éléments trop périphériques à la zone concernée.

Etape 1 : première passe.

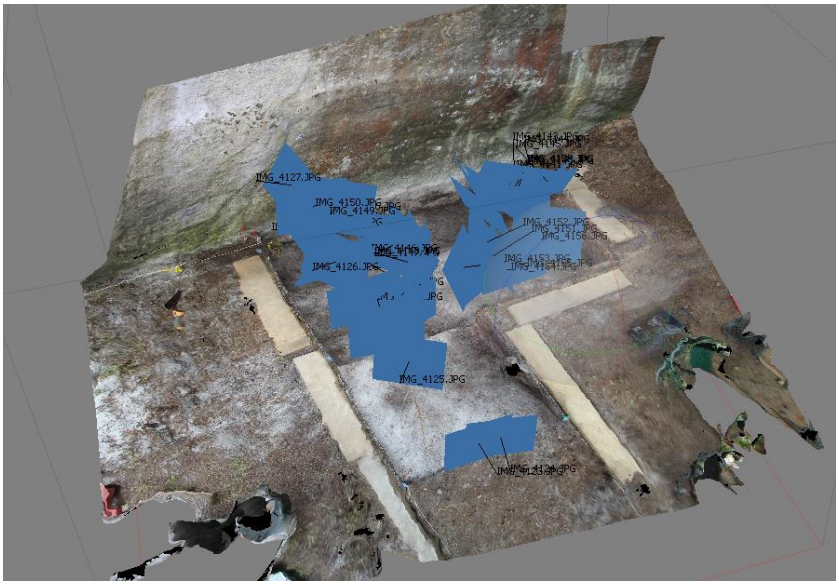
Pour la première étape des fouilles, une série de 24 photographies (18mm, focale F/16) sont prises. Le peu de différentiation de la surface du sol et le nombre d'information à enregistrer étant assez faible, il est possible de rester à environ 1 m du sol en balayant la surface avec un angle d'incidence de 45° environ. Un élément important consiste à avoir une densité d'informations en relation avec le sujet que l'on cherche à enregistrer. Il s'agit là déjà d'une question de mesure afin, bien entendu, de ne pas manquer de détails, mais également, de ne pas sur détailler et produire ainsi des effets incidents en terme de traitement, de stockage ou de discrimination des éléments faisant sens.

Il y a ici peu d'informations de profondeur. A noter que la surface fouillée n'est pas touchée par la tache solaire.



Etape 2

La deuxième étape de fouille est enregistrée avec une série de 34 photos (18mm, focale F/4) à une beaucoup plus petite distance et au flash. Le flash est justifié par la teinte particulièrement sombre de l'humus révélé en coupe et par le contre-jour important lors de la prise de vue. Le flash équilibre également les différences d'exposition à la lumière naturelle et modère les différences de tonalité dues aux variations colorimétriques des photos prises à différents moments de la journée.



400 000 points sont extraits, le calcul de la texture en orthophoto dans Photoscan permet d'obtenir une restitution fidèle de l'aspect des coupes.

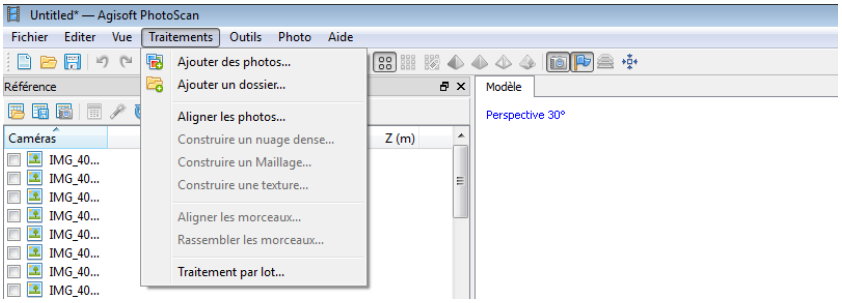
Etape 3 : explication en détails de la procédure.

La troisième étape a été enregistrée en couvrant davantage la zone de fouille dans la perspective de l'ouverture d'un nouveau carré.

Prise de vue

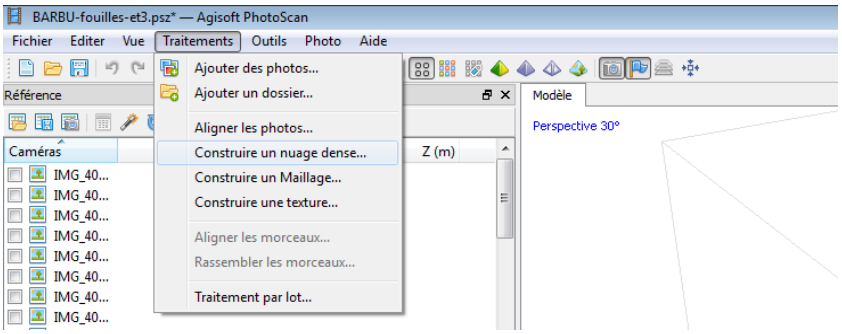
47 photographies ont été prises (18mm, focale F/13) au flash à des hauteurs variant de 10 cm à 1 mètre du sol. Les planches de stabilisation disposées tout autour ont été laissées afin d'aider **Photoscan** à remonter la géométrie. La série de photos est importée dans Photoscan.

Dans Photoscan, il faut aller dans le menu « **traitements / Ajouter des photos** » et sélectionner l'ensemble des fichiers de la prise de vue. Le premier traitement consiste à Aligner les photos, il faut de nouveau aller dans « **Traitements / Aligner les photos…** »

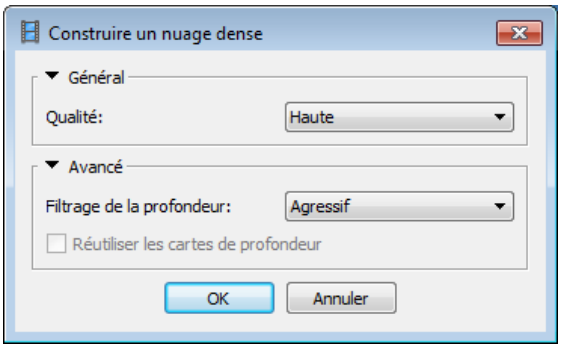


Une fois le calcul effectué, les photos sont positionnées à l'emplacement de l'appareil au moment de la prise de vue et un nuage de point léger décrit sommairement la géométrie.

Il faut aller ensuite dans « **Traitement / Construire un nuage dense…** »…



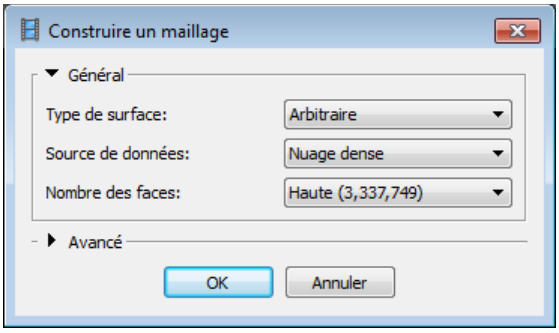
… et choisir qualité : Haute et Filtrage des profondeurs : Agressif.



Une fois le calcul effectué, l'on peut voir le résultat en cliquant sur le bouton « **Nuage dense** » , il est également possible de masquer les caméras, afin de mieux détailler les résultats, en cliquant sur le bouton « **Afficher les caméras** » .

Le nuage obtenu fait plus de 16 millions de points.

La deuxième étape consiste à créer un maillage d'après le maillage dense. Après avoir cliqué dans le menu « **Traitements / Construire un maillage…** », une palette propose de choisir entre le type de surface, la source des données et le nombre de faces. On conserve les choix par défaut et on lance le calcul.



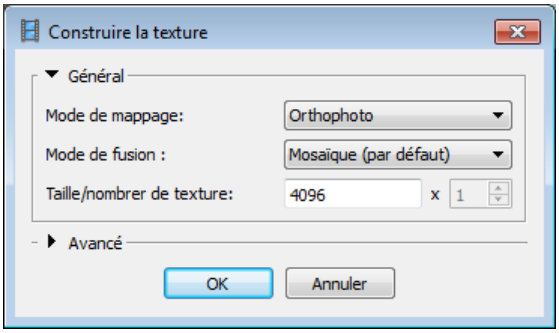
Cette étape est plus rapide que la précédente. Le maillage obtenu ici, visible en cliquant sur le bouton « Ombré en couleurs » fait plus de 3 millions de faces.

Produire une texture.

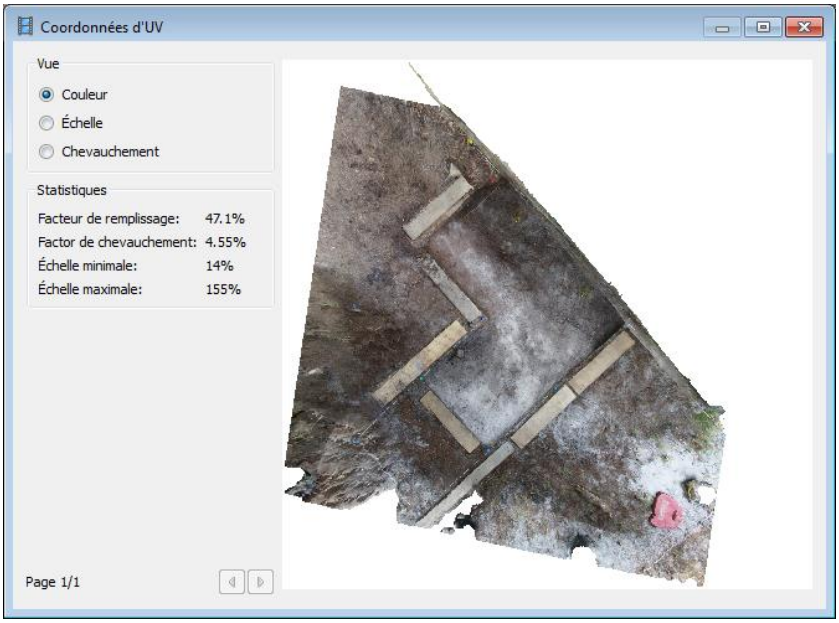
La dernière étape consiste en la création de la texture. On retourne dans le menu « **Traitements / Construire une texture…** ». La question de la texture va conditionner la suite du travail. En effet, l'organisation des pixels en fonction du maillage va faciliter ou non la suite des opérations selon ce que l'on cherche à produire. Si le modèle reste un modèle haute définition servant à l'impression de planches, pour créer des **orthovues** par exemple, la question est moins prégnante. S'il s'agit de travailler les **aspects visuels** pour faire ressortir de l'information, ou s'il est question de créer à terme un

modèle fonctionnant pour le **temps réel**, il faudra dès lors obtenir une texture la plus continue possible, que l'on pourra ensuite retravailler avec un logiciel de dessin.

Orthophoto

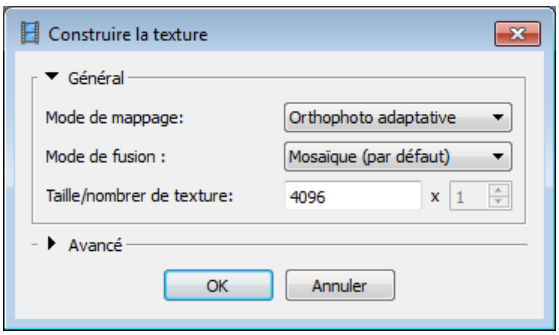


Le résultat du calcul s'obtient dans le menu « Outils / Maillages / Voir les coordonnées d'UV… »

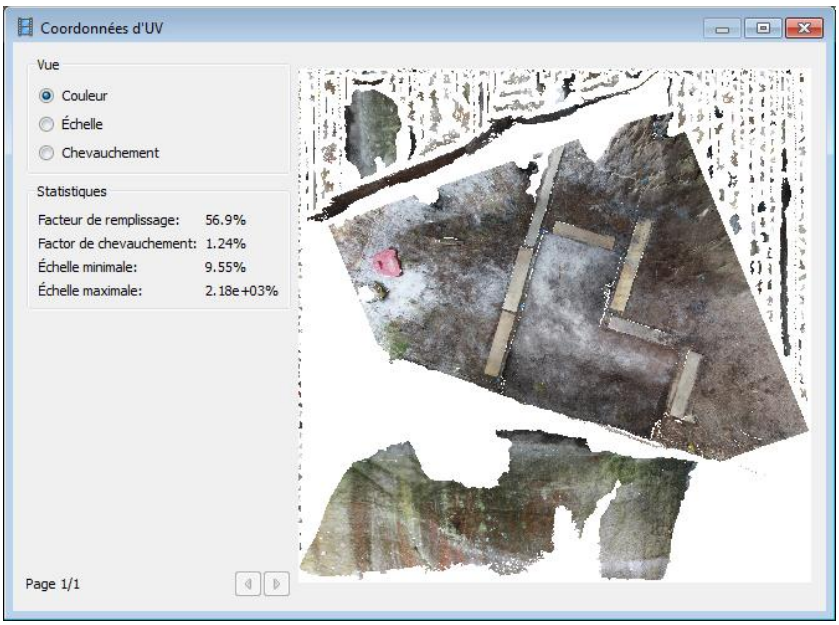


Dans le cas présenté ici, l'orthophoto donne le résultat ci-dessous. Le sujet se présentant comme deux plans orthogonaux, l'orthophoto va créer une projection sur l'un des plans uniquement. L'autre sera traité en projection d'où l'impression de « coulures » sur la texture de la face du rocher.

Orthophoto adaptative



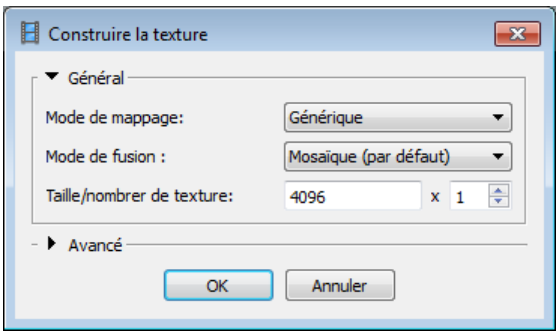
Ici, le dépliement fonctionne mieux, la paroi est conforme à la réalité. Des petits blocs de textures restent cependant éclatés.



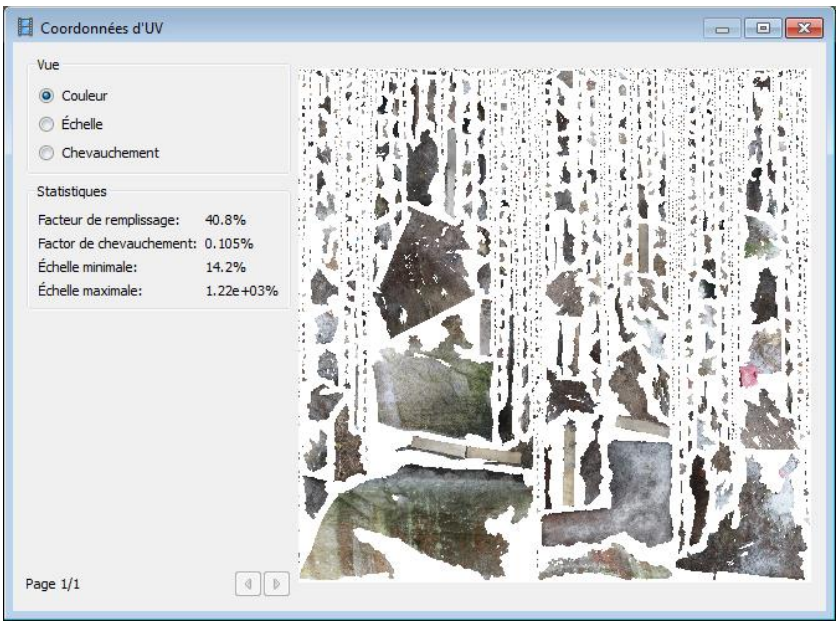
Le rendu est propre.

Les quelques points plus foncés viennent d'un problème de modélisation et du recouvrement de la texture, qu'il sera assez facile de corriger par la suite.

Générique



Le choix générique va émietter la texture en petits fragments avec lesquels il sera difficile de travailler par la suite.

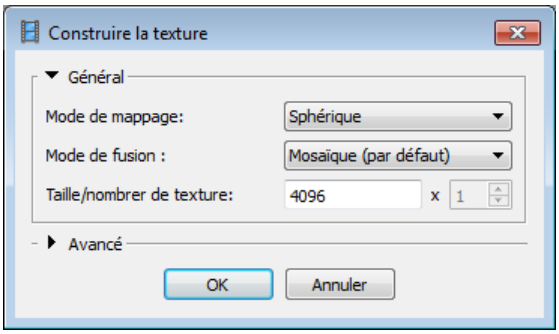


Le résultat visuel est cependant très satisfaisant, les défauts du précédent calcul ne sont plus visibles, les pixels collent au mieux à la géométrie.

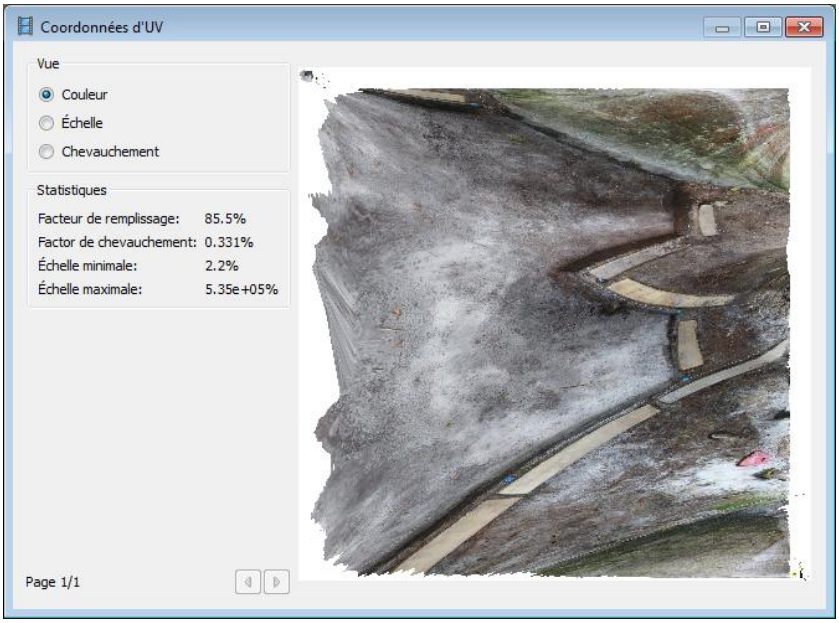
Deux paramètres vont jouer ensuite : le taux de remplissage de la base image ou, exprimé autrement, combien de pixel sur les **4096x4096** (considéré comme une texture en haute résolution) sont utilisés pour porter de l'information, puis le ratio pixel / mm² ou cm² du modèle. Dans notre cas, l'information visuelle renseigne peu sur

la gravure, elle est surtout une aide à la lecture. Mais dans d'autres cas, cet aspect est fondamental.

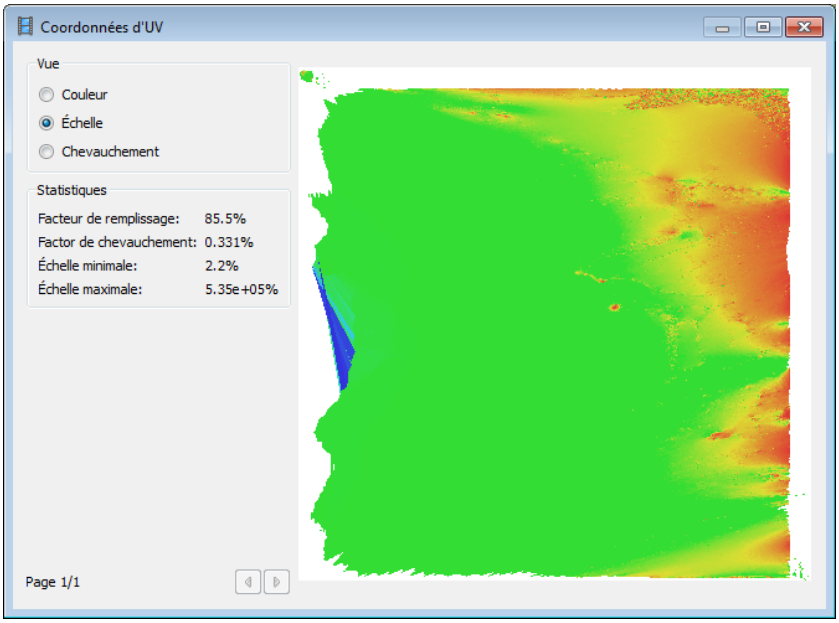
Sphérique



Dans le cas de la texture sphérique, le résultat visuel est très intéressant et le taux de remplissage optimum, toutefois, l'exploitation ultérieure de l'image est très complexe, voire impossible, de fait de sa déformation.



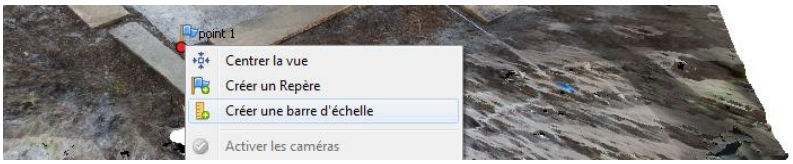
Les déformations d'échelle sont visibles en rouge.

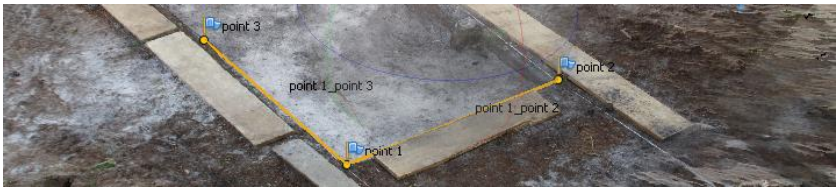


Mise à l'échelle

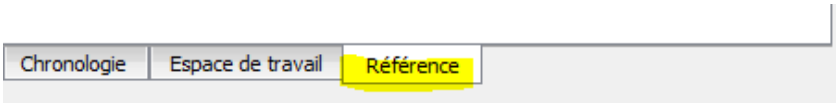
La dernière étape consiste en la mise à l'échelle du modèle. Dans un premier temps, seront utilisés les clous du carroyage. Dans la fenêtre 3D placer un premier point avec « **Bouton Droit / Créer un repère** », puis en placer deux autres de telle manière à créer un repère orthonormé.

Pour créer une barre d'échelle, il suffit de sélectionner deux points puis cliquer « **Bouton Droit / Créer une barre d'échelle** », puis renouveler l'opération avec l'autre point.





Pour renseigner les coordonnées des points, activer l'onglet « Référence » pour voir apparaitre les détails concernant les points et les repères.



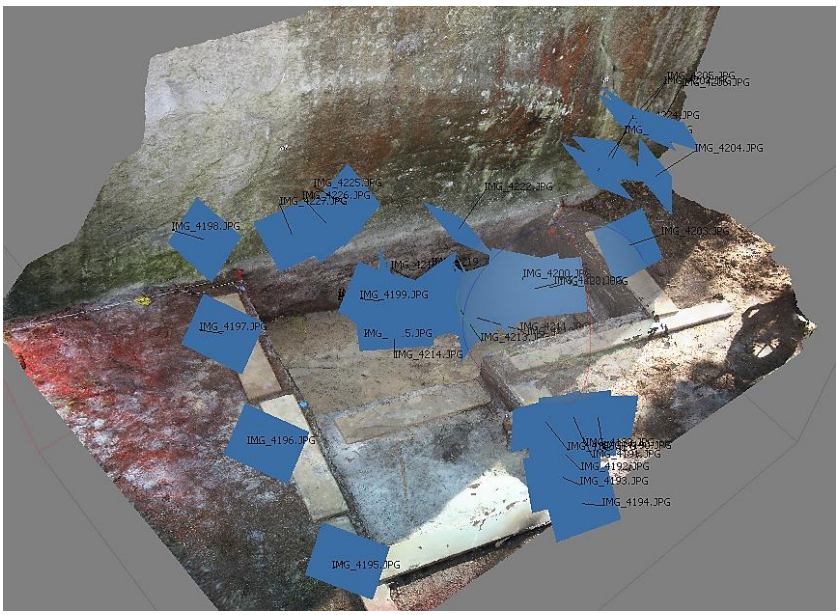
Dans la ligne des points, on donne des valeurs en X et Y correspondant au repère, puis dans la barre d'échelle, on indique la bonne distance. Il faut ensuite penser à Mettre à jour.

Repères	X (m)	Y (m)	Z (m)	E
point 1	0.000000	0.000000	0.000000	
point 2	1.000000	0.000000	0.000000	
point 3	0.000000	1.000000	0.000000	

Barres d'échelle	Distance (m)	Erreur (m)
point 1_...	1.000000	0.008480
point 1_...	1.000000	-0.008659
Erreur totale		**0.008570**

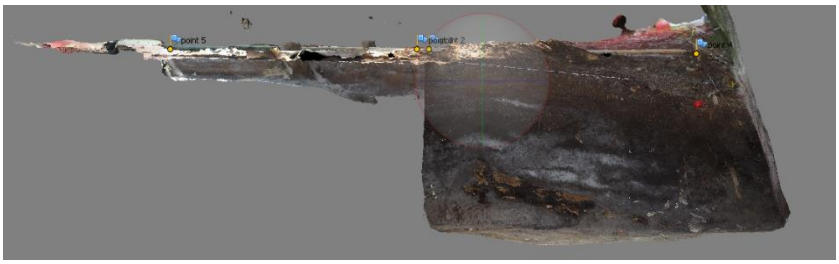
Etape 4

La quatrième étape suit le même protocole. La fosse de fouille devenant plus profonde, il est nécessaire de réaliser les vues de façon plus rapprochées. 40 photos (18mm, focale F/4) ont été prises au flash.



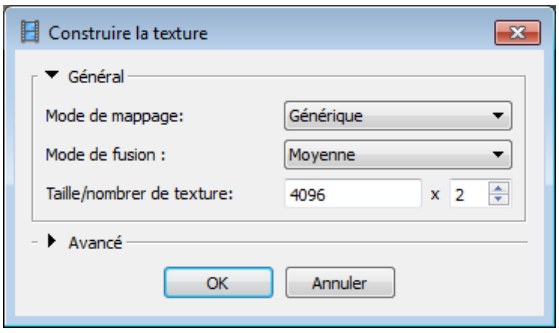
Le modèle 3D laisse entrevoir à cette étape l'état de la fouille en coupe.

Préparation de l'orthovue



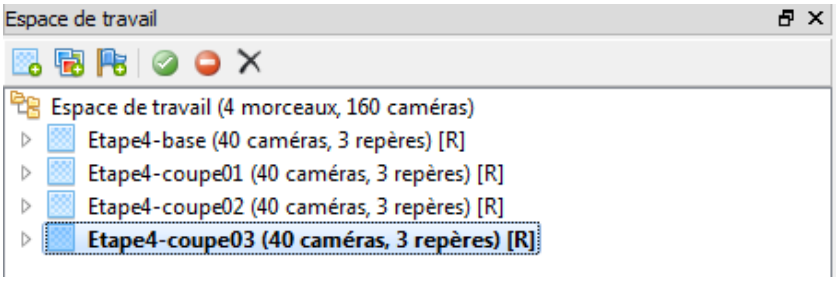
Au fur et à mesure de la descente la question de la coupe stratigraphique devient de plus en plus prégnante. Pour réaliser une orthovue, préparatoire à une ortho photo, il est nécessaire de bien caler le modèle de l'espace tel qu'expliqué lors de l'étape 3 et surtout de réaliser une texture la plus propre possible.

La qualité de la texture est doublée en utilisant la possibilité de produire deux cartes au lieu d'une.



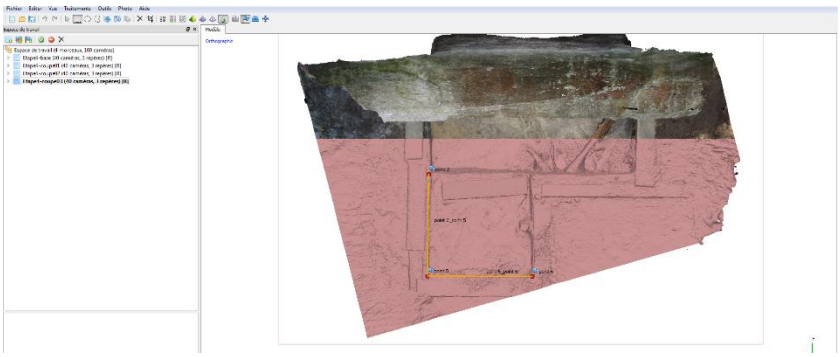
Le rendu des matériaux est dès lors particulièrement détaillé. Ce calcul ne pourra être conservé pour le temps réel. Il s'agit là d'une préparation dédié aux orthovues.

Pour réaliser les vues, il faudra effacer des parties de modèle. Il est donc important dans un premier temps de dupliquer la géométrie avant de la couper.



Le modèle est coupé par simple sélection et effacement. La **touche 5** permet de passer en **vue orthogonale** et la **touche 7** en **vue en plan**. Utiliser la sélection rectangulaire.

Tracer un grand rectangle de sélection pour dégager l'une des premières coupes.

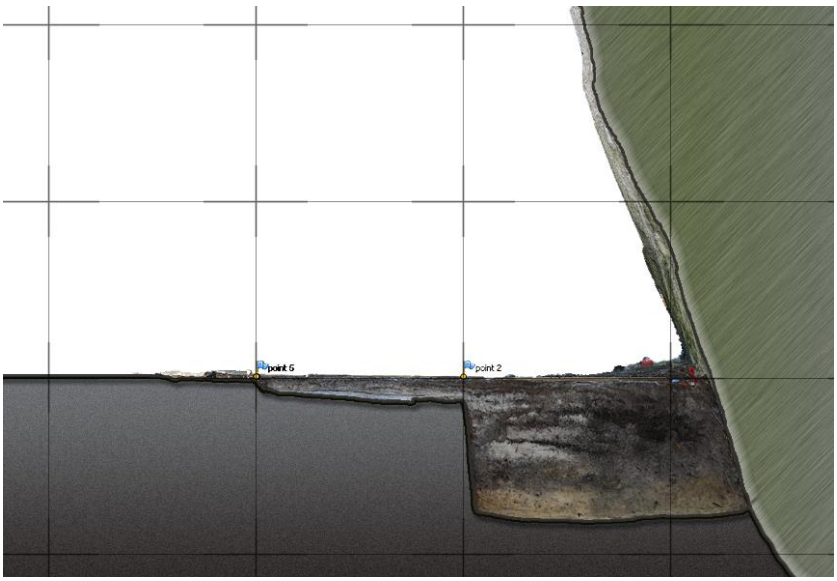


Touche 1 pour voir en élévation de **face**.

Une fois habillée, la coupe répond aux exigences de l'orthophoto.

On procède de même pour les autres élévations, la vue droite…

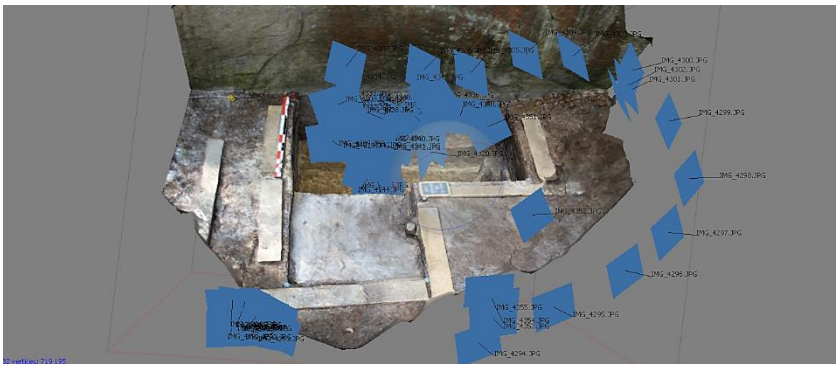
… puis, la vue gauche après traitement graphique.



Etape 5

L'étape suivante marque une descente de 30 cm dans le sondage par extraction d'une strate de sable stérile et parfaitement homogène. La stratégie de prise de vue demande une organisation encore plus rigoureuse avec un chemin d'entrée et de sortie de site qu'il faut répéter avant de procéder. Pour cette étape, il est nécessaire de prendre plus de détails de la stratigraphie et donc pour cela de

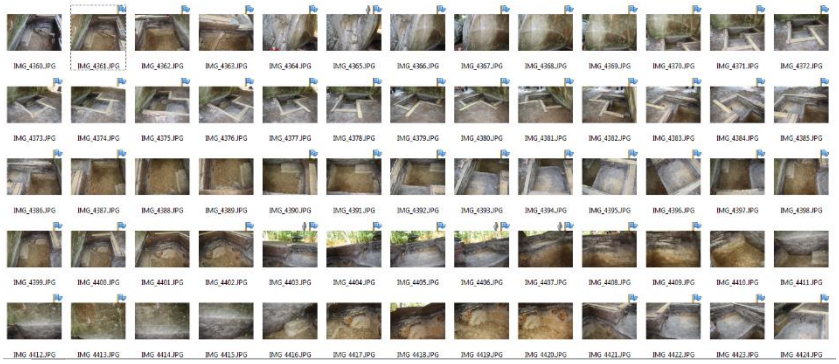
réaliser plus de photos en étant plus près. Les premières vues cadrent l'ensemble et fixent la scène dans ses limites, puis les vues se focalisent sur les détails avec un pavage réalisé à 30 cm environ avec une incidence pratiquement perpendiculaire. 72 vues (30mm, focale F/4) ont été réalisées au flash, même pour les positions éloignées.



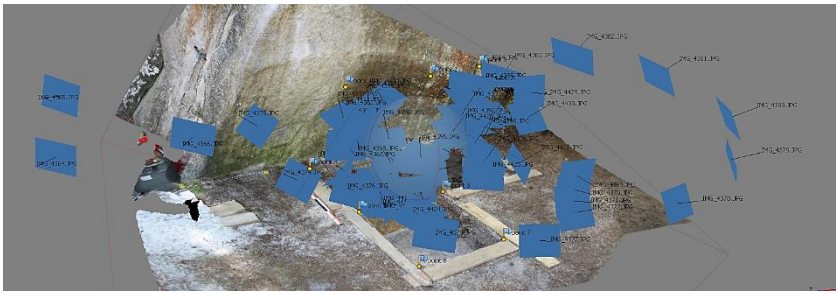
La photographie au flash débouche les ombres et révèle tous les détails de la coupe.

Etape 6

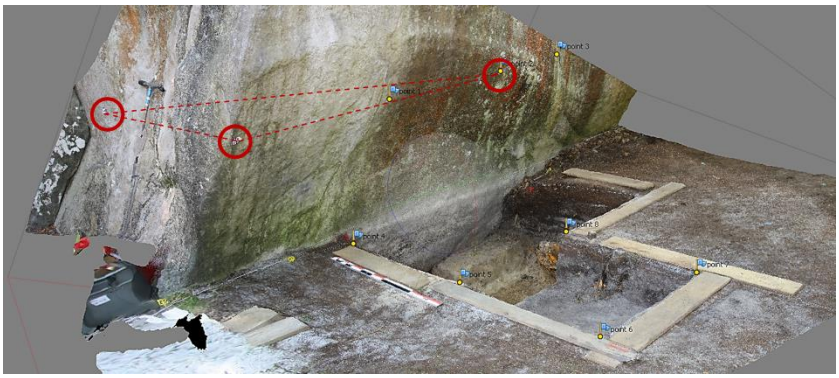
Au fur et à mesure que la fouille descend, la demande en précision se fait plus importante, ce particulièrement sur la face de stratigraphie. A cette étape 74 photographies sont prises (18mm, focale F/4) au flash, dans un mouvement englobant l'ensemble de la fouille, puis en spirale vers les détails significatifs, puis en inversant le mouvement.



Echantillon des photographies et visualisation des positions de caméra.



L'assise de la 3D est assurée par les points de repère placés sur le rocher ainsi que cela a été mentionné plus haut. Le triangle formé par les repères donne l'horizontal.

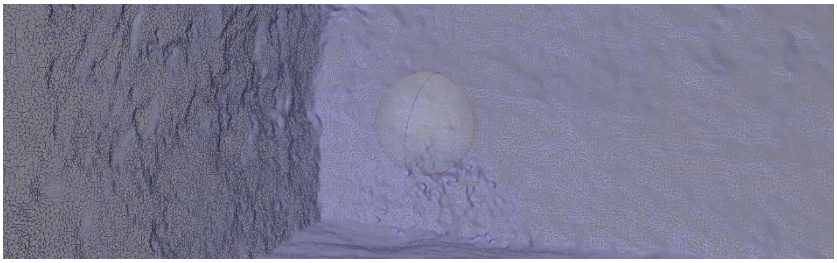


Plateau horizontal réglé avec le niveau laser.

Etape 7

La septième est marquée par le dégagement du sol induré au-dessus duquel s'est arrêtée l'étape précédente. 56 photos (18mm, focale F/4) au flash sont réalisées selon le parcours décrit plus haut. La redondance des informations géométriques d'une capture à l'autre permet de recaler les modèles les uns par rapport aux autres et développer ultérieurement des calculs de volumes de sédiments et de géométrie des strates.

On voit dans le détail ce détail du modèle, exprimé également en maillage, que la résolution des photos (3888x2592) permet d'obtenir un modèle à plus 1 million de face. La texture remappée calculée en 4K en orthophoto offre une lecture aisée des détails. Le nombre de photos prises autorise à augmenter largement le niveau de détails en produisant une orthophoto 4K non pas pour l'ensemble de la géométrie mais pour chaque face par exemple.



Etape 8

La huitième étape suit le même principe, avec 74 photographies prises dans les mêmes conditions (18mm, focale F/4) au flash. La consistance de la méthodologie stabilise les modèles obtenus et les rend cohérent.

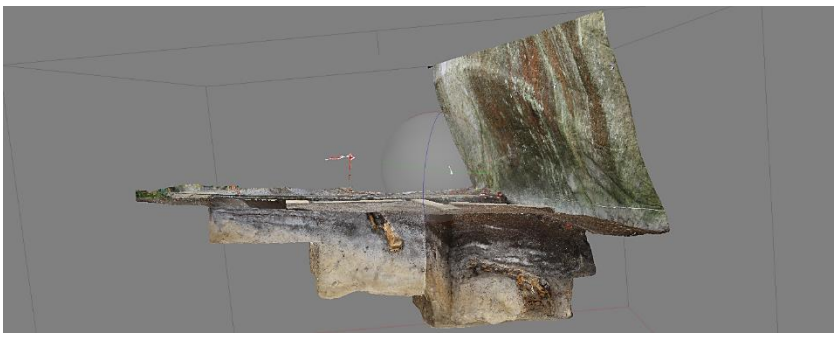


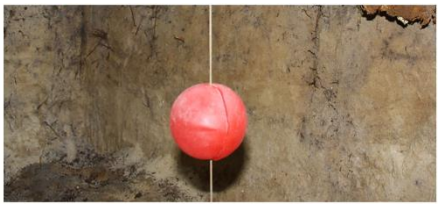
Schéma des prises de vue et axonométrie du modèle et de la coupe.

Etapes suivantes de 9 à 12.

La fouille devenant profonde, il est nécessaire de caler les verticales même si cela vient en redondance avec le plateau horizontal fixé sur le rocher. Un fil à plomb équipé de balles colorées est suspendu au-dessus de la fosse. Ainsi, cet élément, qui n'est pas au contact avec le

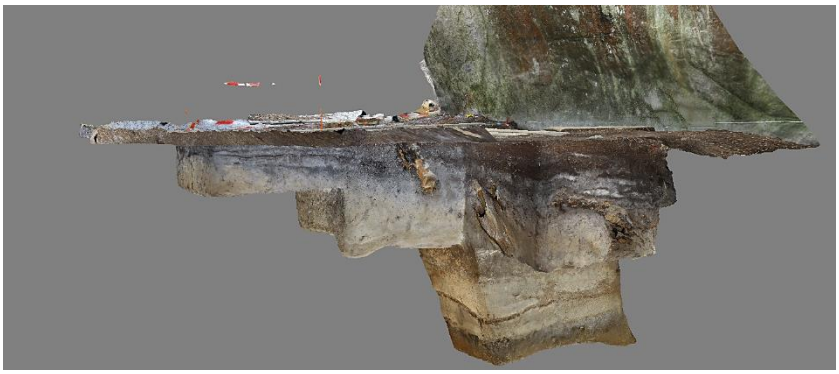
reste du sujet, sera facilement retiré de la 3D une fois la verticalité assurée.

Dans le montage effectué, les balles sont très exactement distantes de 50cm. La plupart des logiciels utilisés pour la reconstruction des maillages savent détecter les objets sphériques comme appartenant à un dispositif de mesure ou de repérage et non au sujet enregistré. Le nettoyage se fait donc assez facilement.



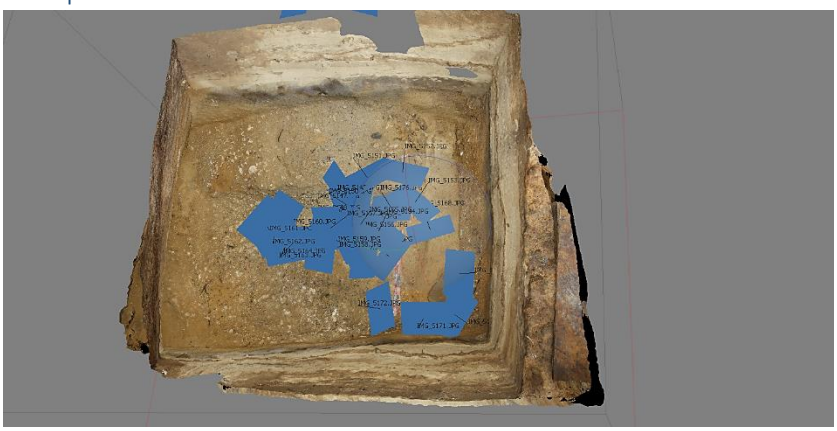
Le risque lié à cette fouille était l'éboulement des parois. Le sable très fluide, même retenu par des strates de sol induré, pouvait se défausser juste du fait des vibrations dues à l'équipe marchant autour du trou.

Etape 9



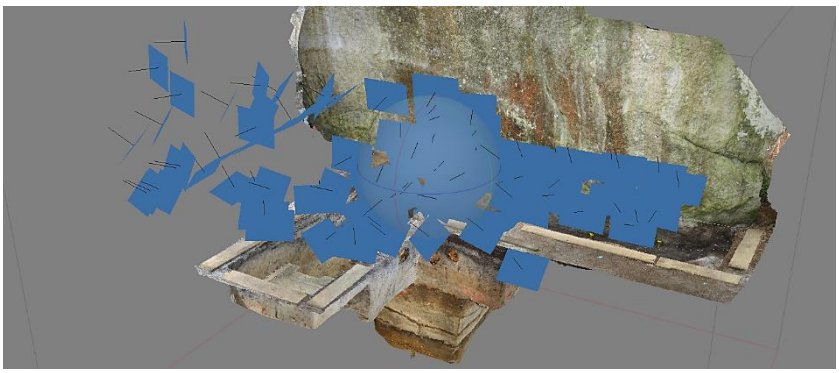
Etape 10

L'étape 11

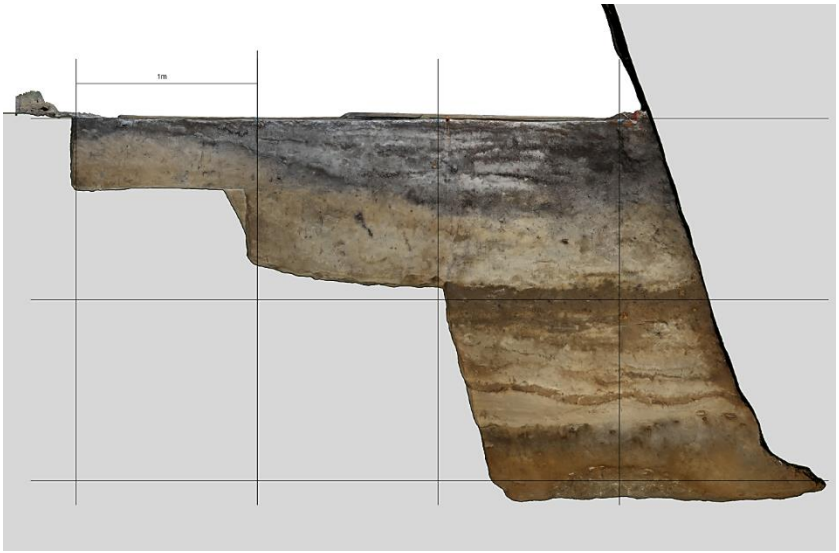


Etape 12

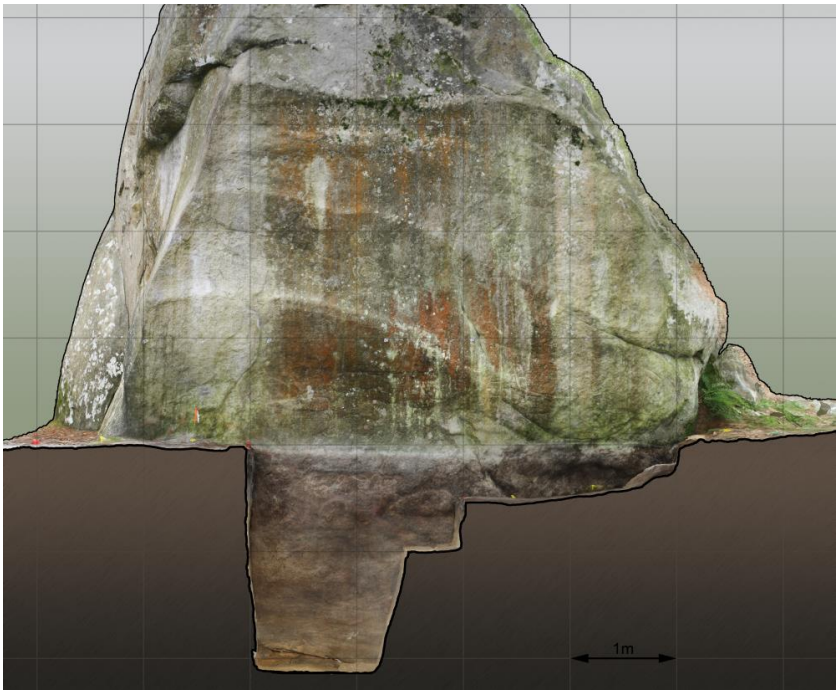
L'étape 12 est préparée pour un enregistrement détaillé de la stratigraphie. Avec 147 vues, un pavage très fin de la coupe a été réalisé.



De ce modèle a été tirée une élévation intérieure de la fouille facilitant la préparation de l'analyse stratigraphique.



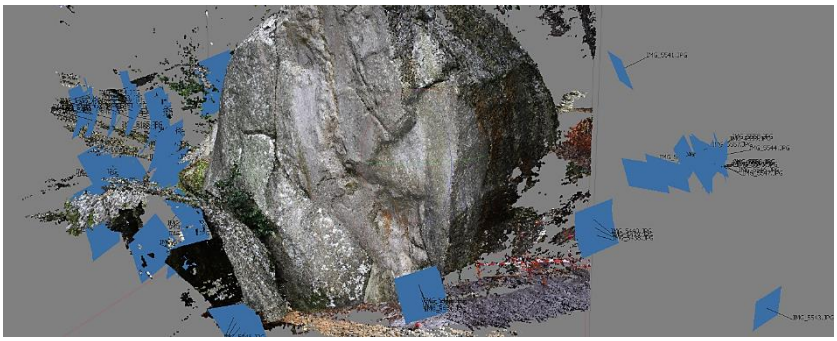
L'exploitation de la coupe perpendiculaire va devenir le support de l'interprétation de la gravure.



Pour réaliser cette élévation, le modèle a été préparé dans Photoscan avec la section telle qu'expliqué plus haut et recalculé avec une texture en très haute définition (4x4096) afin d'obtenir un maximum de détails. Le modèle photoscan produit une lumière assez neutre, homogène, tout à fait idéale pour de futures exploitations graphiques telles que ci-dessous.

Etape 13

L'étape 13 consiste en une collection du modèle dans son contexte. La fouille n'est pas allé plus loin que dans l'étape précédente, mais la nouvelle capture prend ici l'ensemble du contexte. 342 images sont prises pour une remodélisation segmentée en modèles successifs devant ensuite s'assembler.



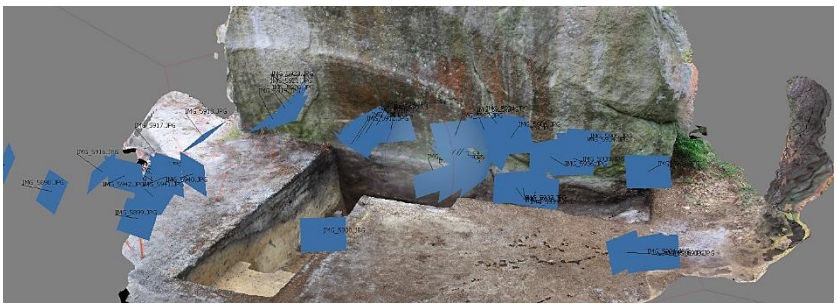
On voit dans l'image ci-dessus une vue latérale du rocher et ci-dessous l'ensemble de la fouille.

Le site sous un autre angle. Il est à noter la complexité du complexe avec de nombreux végétaux, un humus couvert de feuilles mortes et une intrication de blocs sur l'arrière.

Etape finale, fin de la fouille rebouchage.

Les étapes d'après fouille sont également enregistrées.

Une première série cherche à conserver la fouille sans les éléments de chantier l'environnant. Avec une définition bien moindre (50 photographies) le modèle restitue les bords de fouille et traduit bien l'épaisseur de l'humus.



L'ultime enregistrement témoigne du rebouchage de la fouille et du nettoyage du site de toute trace d'intervention.

Partie 2 : exploitation des données

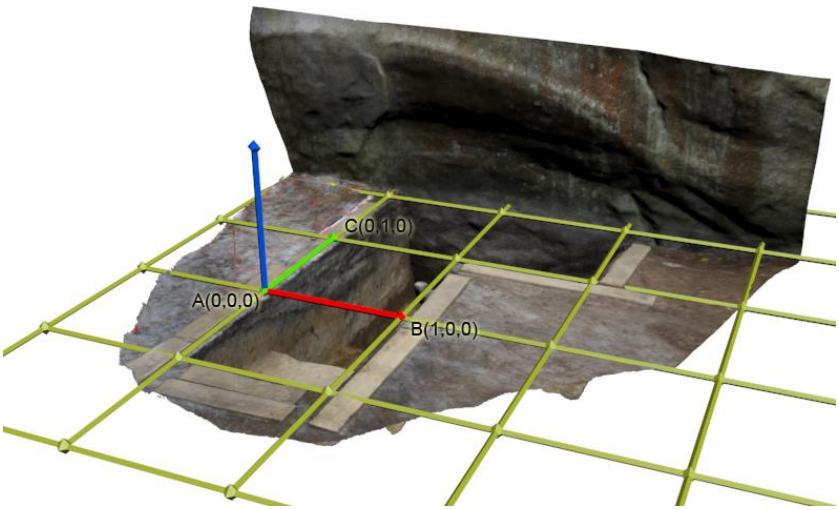
L'enregistrement des étapes successives de fouilles ne permet pas seulement de conserver la trace de chaque séquence et de s'y référer le cas échéant, mais ouvre également à de nombreuses possibilités de visualisation des strates et d'analyses quantitatives sur les épaisseurs, les volumes et les masses de sédiment enlevé.

Pour aller vite et caricaturer la situation, il s'agit de structurer de l'information entre cet état :

… et celui-là.

Dans la première partie du travail, un soin particulier a été mis à positionner l'ensemble des modélisations dans le même repère. Un point particulier repéré sur le terrain est identifié comme le point (0,0,0) de l'ensemble du dispositif. Deux autres points, (0,1,0) et (1,0,0), tracent la base d'un repère orthonormé à partir duquel s'organisent les informations géométriques de la fouilles. La base de mesure est le mètre.

En suivant ce protocole, l'ensemble des fichiers va parfaitement se superposer facilitant la suite des opérations à venir.

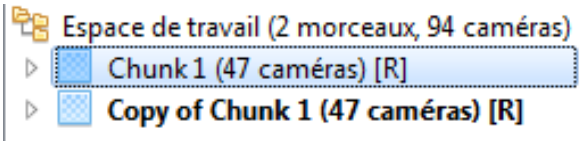


Simplification et exportation depuis Photoscan

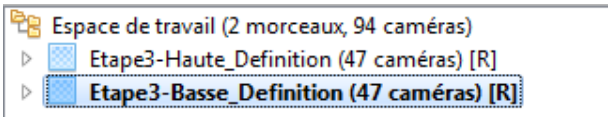
La suite du travail ne nécessite par que la géométrie soit en très haute définition. Conserver des fichiers comprenant des millions de polygones pénaliserait le temps de traitement sans pour autant apporter de précision significative. La **discrimination** se fait dans Photoscan pour garder les repères de calage. Mais, cette opération pourrait aussi se dérouler dans le logiciel hôte.

Dans un premier temps, on duplique la géométrie existante pour conserver le modèle en haute définition. Dans l'espace de travail, selectionner le morceau en cours et faire **Bouton Droit**, pour voir apparaitre le menu contextuel et faire « **Dupliquer** »

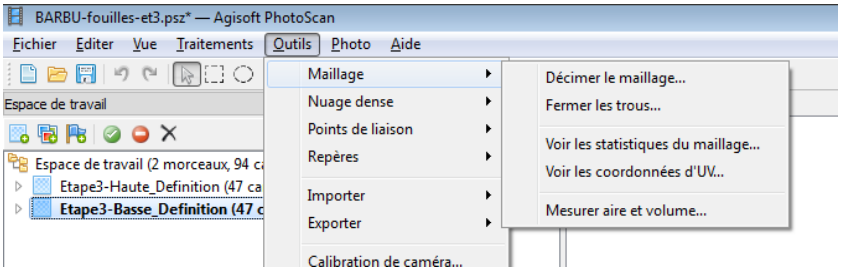
Il y a maintenant deux morceaux (Chunk), qu'il est possible de renommer, le premier restera en haute définition, le second en basse définition pour l'exportation.



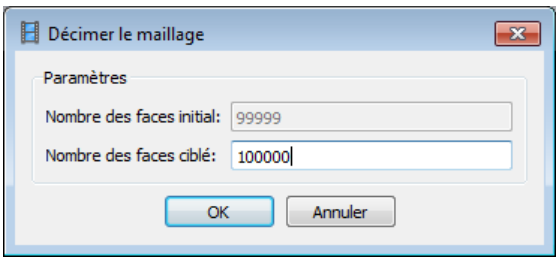
Les morceaux (Chunk) une fois **renommés**.



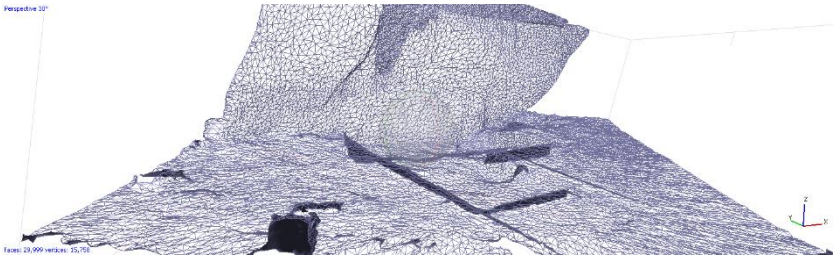
En prenant bien garde que l'on est bien dans le morceau basse définition, on va ensuite dans le menu « Outils / Maillage / Décimer le maillage… »



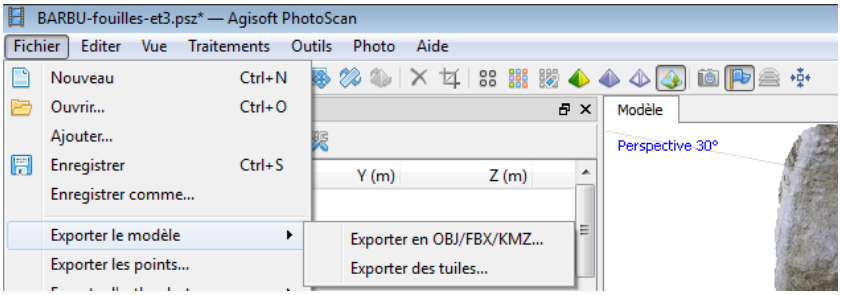
Le ratio est de 10%



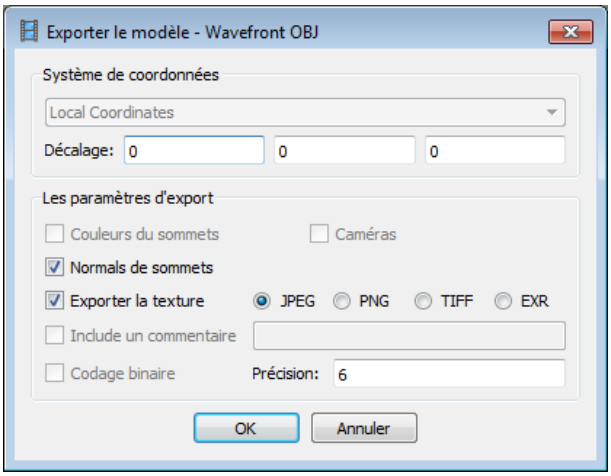
Le modèle perd en définition, mais gagnera en facilité de traitement. Il est nécessaire de recalculer la texture pour cette nouvelle définition.



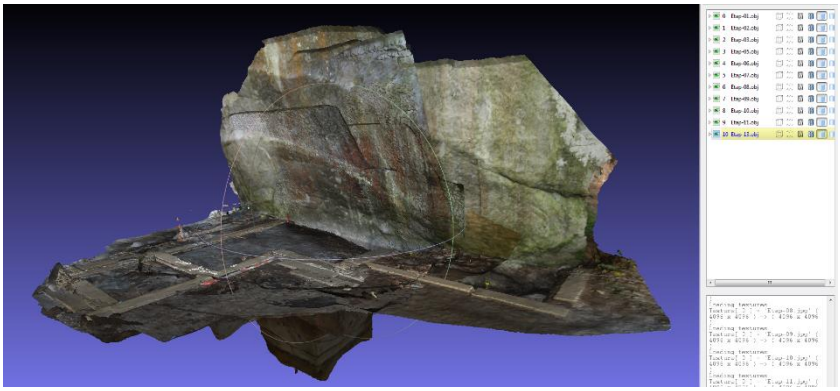
Il faut ensuite exporter le modèle, « **Fichier / Exporter le modèle** »…



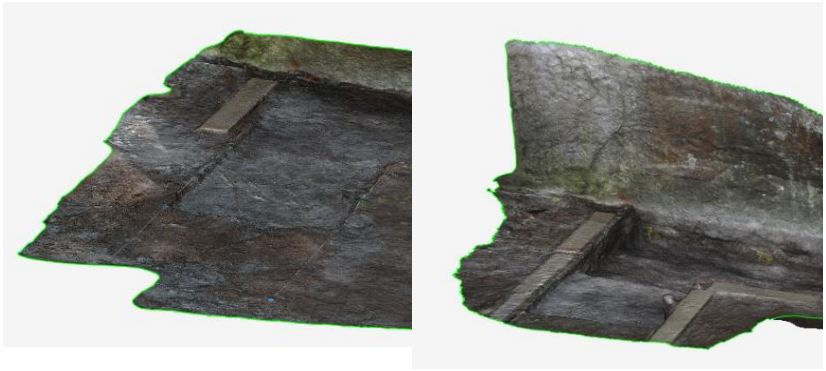
… choisir le format PBJ par exemple (c'est un des formats les plus universels) et choisir l'emplacement de la sauvegarde. On conserve ici les informations par défaut.

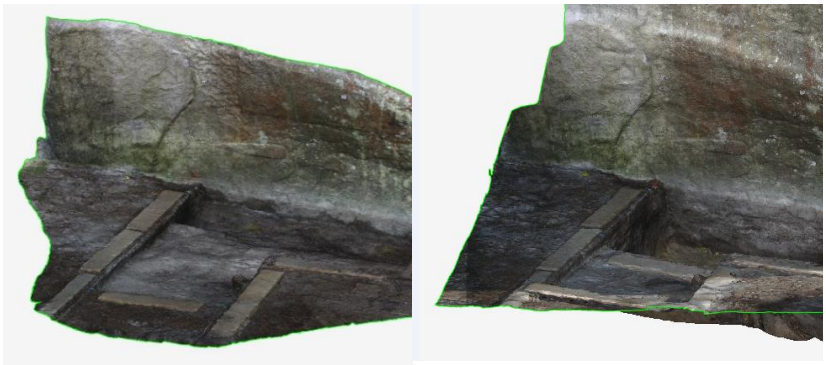


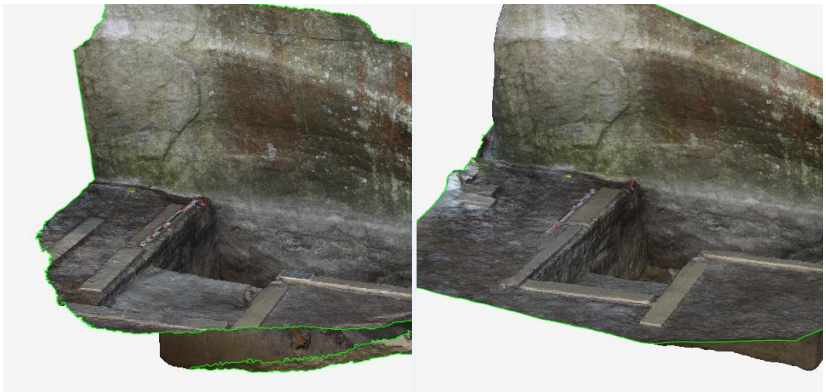
La superposition de l'ensemble des strates donne ceci :



La décomposition, étape après étape est visible ci-dessous.



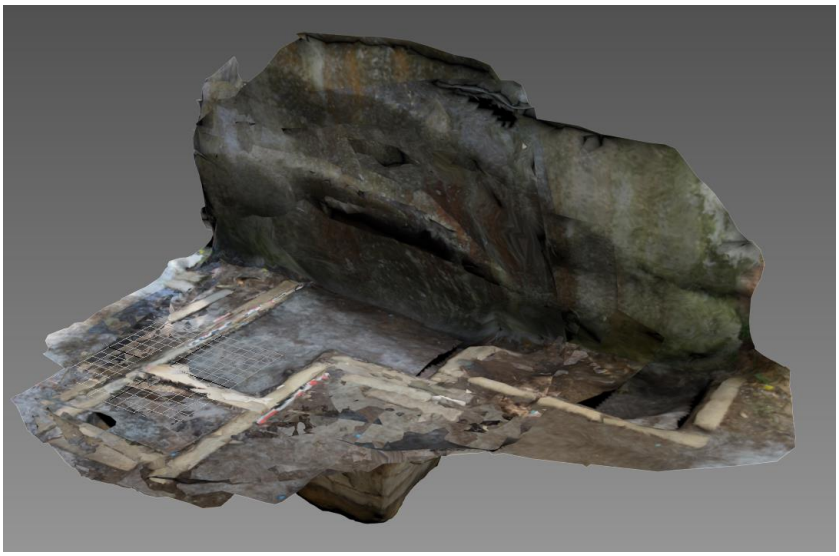




Superposition des fichiers et visualisation de l'évolution de la fouille.

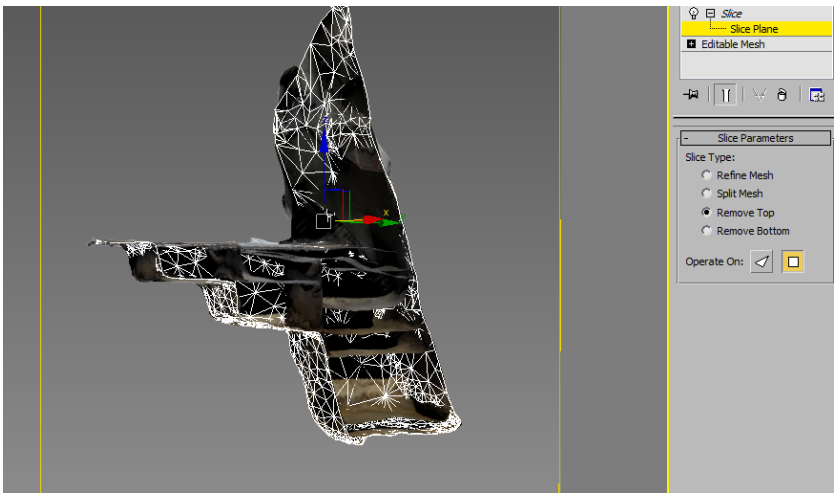
La démonstration se fera dans 3DsMax, le logiciel d'Autodesk, mais les fonctions se trouvent à l'identique dans n'importe quel logiciel de 3D type Blender, Maya, Cinema 4D ou Modo.

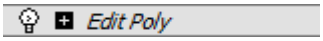
Les différentes étapes au format OBJ sont importées, on vérifie les échelles.

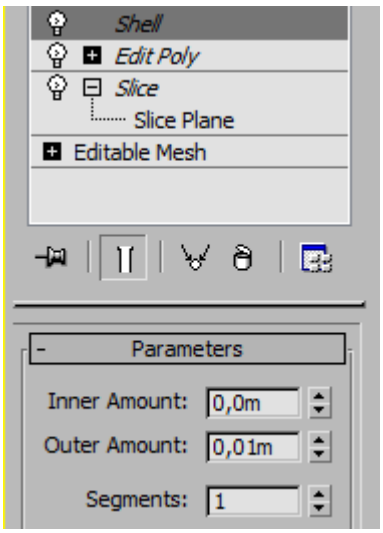


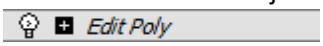
Les objets arrivent en géométrie séparée, pour pouvoir agir sur tous les objets en même temps, il convient de les grouper. Les modificateurs agiront ainsi sur l'ensemble des polygones simultanément.

Une fois les géométries groupées, on va dans « **Modifiers / Slice** ». Il faut ensuite cliquer sur le (+) de la fonction pour faire apparaitre le « **Slice Plane** ». On applique une rotation à ce dernier pour le placer dans le sens de la coupe. Selon l'orientation, l'on choisira « **Remove Top** » ou « **Remove bottom** » pour que la coupe s'effectue.

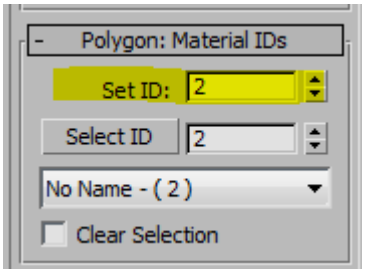


On ajoute ensuite un « Edit Poly »  pour poser ensuite un « **Shell** ». Le Shell donnera une épaisseur aux coupes et les rendra plus lisibles.

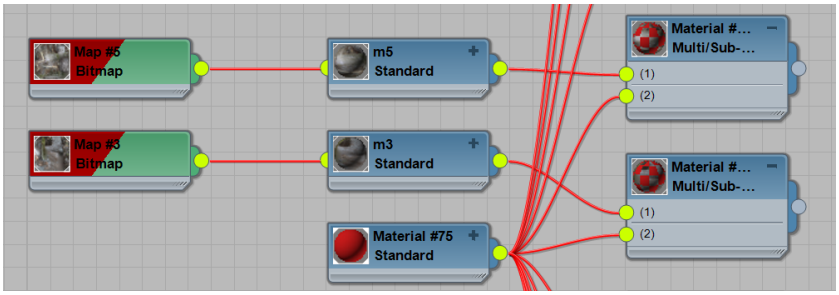


Il faut ensuite ajouter de nouveau un « **Edit Poly** »  pour modifier la couleur des « tranches » de la coupe. On se place ensuite en mode Poly pour sélectionner les polygones de la tranche avec la fonction « **By angle** » (avec une valeur de 75) activée.

Lorsque les polygones de la tranche sont selectionnés, il faut leur attribuer une valeur de « **Material ID** » de 2 par exemple. Dès lors, on pourra attribuer à la tranche coupée une texture différente de celle de la surface et mettre en évidence le trait de coupe.

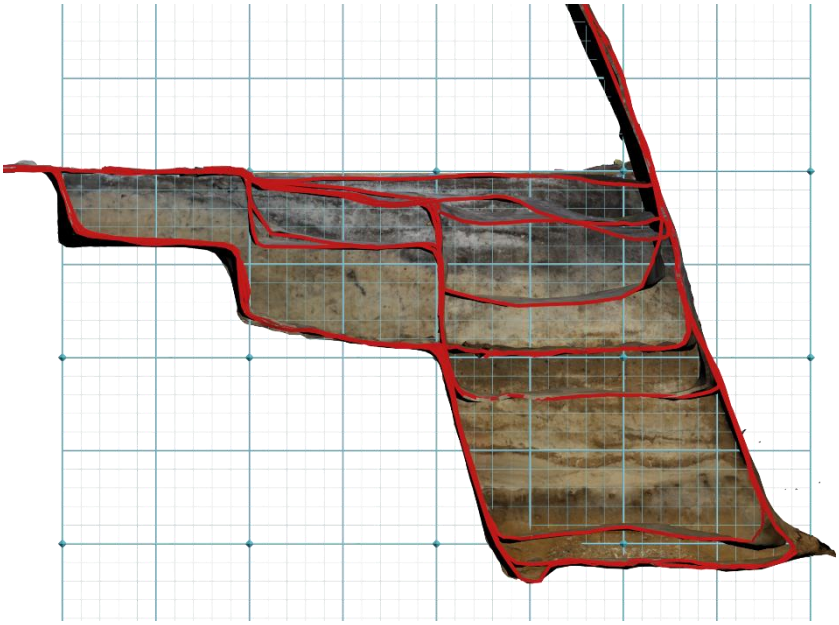


Les matériaux seront à reprendre pour obtenir une structure comme dans l'extrait ci-dessous. Chaque coupe est constituée d'une texture « Multi-sub Object » avec dans le Slot 1, la texture d'origine et dans le 2 la couleur de la coupe qui peut être partagée par l'ensemble des textures.



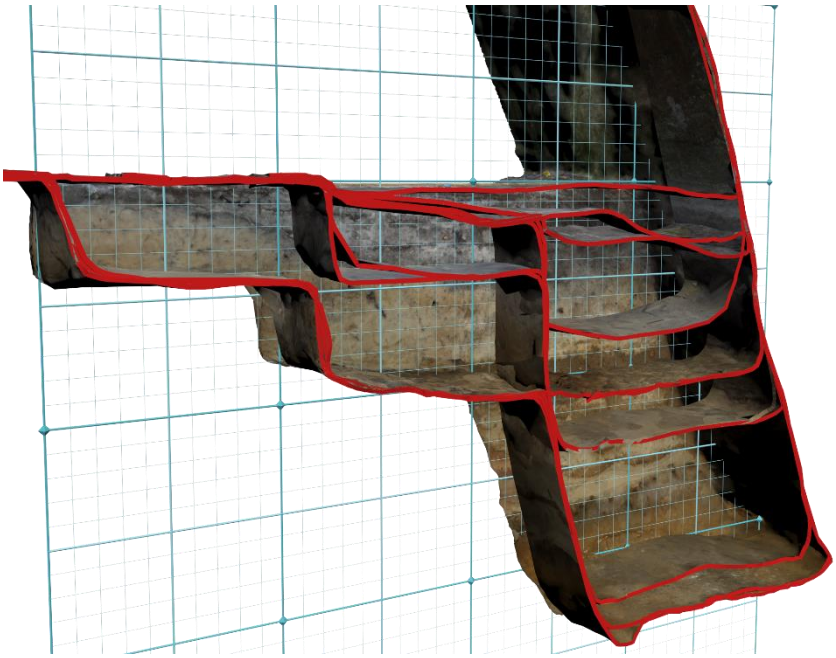
Le résultat en perspective donne ceci.

Le résultat final des peut donner quelque chose de ce type :

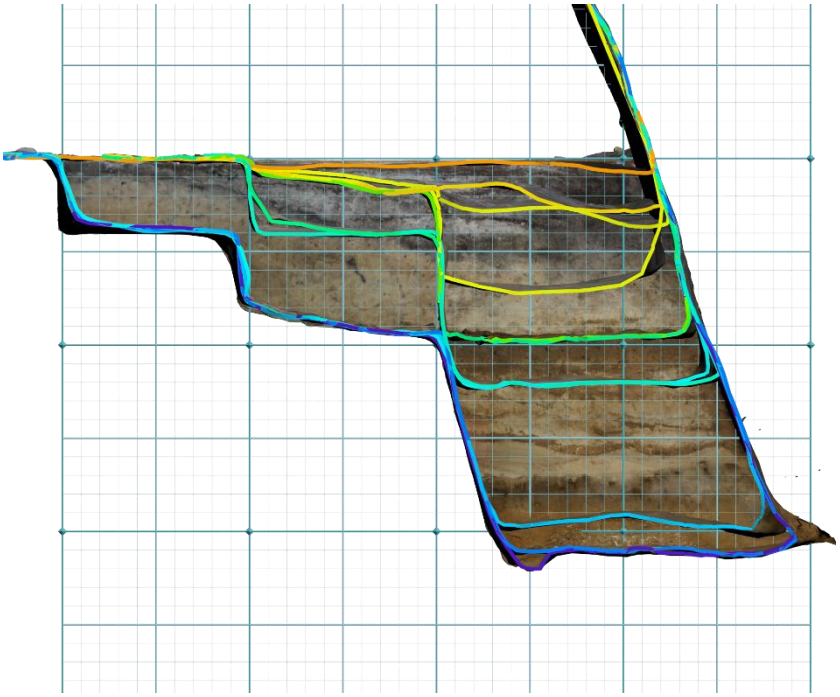


Sachant qu'ici l'ensemble des éléments a été fait en 3D. Un modèle en haute définition a été rappelé pour offrir une vision nette des

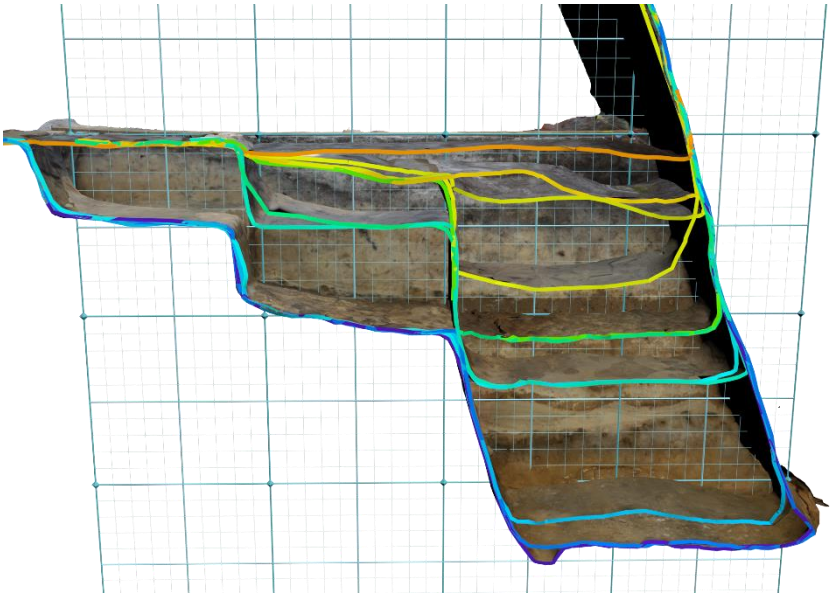
éléments de texture et suivre ainsi le niveau des strates en fonction de la nature du terrain. Le montage en perspective :



On peut aussi distinguer les strates par une figuration colorée de la chronologie aidant la lecture de chaque étape de la fouille.



En perspective.



Détermination du volume enlevé.

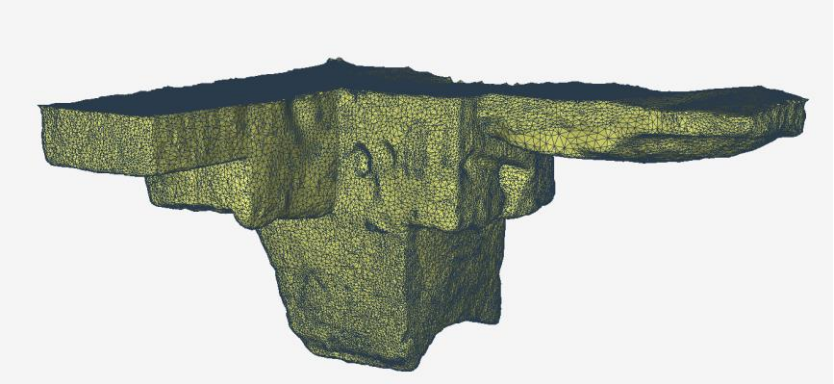
En travaillant avec le vide et non plus avec le plein, il va être possible de déterminer des quantitatifs de matériaux enlevés.

Volumes global.

C'est le calcul le plus facile car il ne nécessite pas de travailler sur plusieurs géométries. La dernière modélisation donnera cette information très simplement. Les opérations qui suivent peuvent s'effectuer sur n'importe quel outil 3D. Le fichier est chargé. Il va s'agir de retirer tout ce qui ne correspond pas à la bordure de la fouille.

Ne reste que la fosse.

La partie supérieure est rebouchée pour créer un volume plein.



L'évaluation du volume enlevé est donc de 6,63 m³.

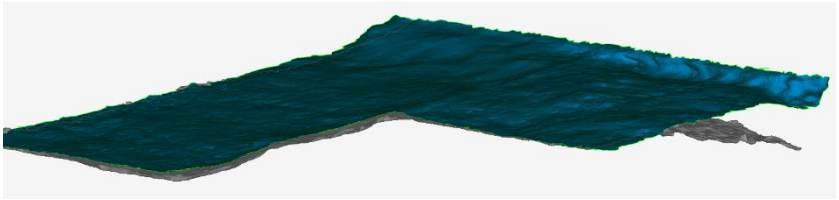
Volume of model = 6.636255 m³

Calcul et détermination de chaque étape de la fouille.

Les strates vont être ajoutées une à une en commençant par le fichier présentant le site avant intervention.

Ci-dessous, la visualisation de l'étape 0 et de l'étape 2 afin de voir comment l'étape 0 servira de « couvercle » à la fosse des étapes à venir.

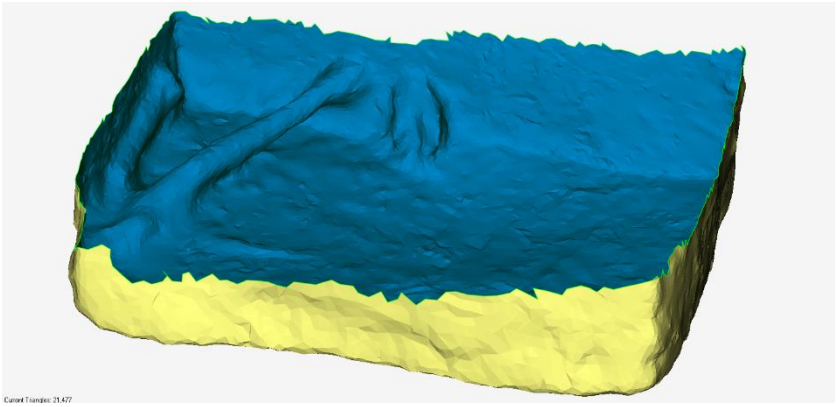
Le « couvercle est découpé en fonction du fond de fouille. Avant l'assemblage, il faut faire attention à l'orientation des faces. Comme l'idée est de faire un volume fermé, il faut que les vecteurs soient orientés vers l'extérieur. Cela est le cas pour le « couvercle » mais pas pour le fond de fouille qui va fonctionner à l'inverse.



Les étapes 1 et 2 sont assemblées, on lit facilement la nature des strates géologiques.

Etape suivante :

Explication du « vide » qui est le passage de la racine.



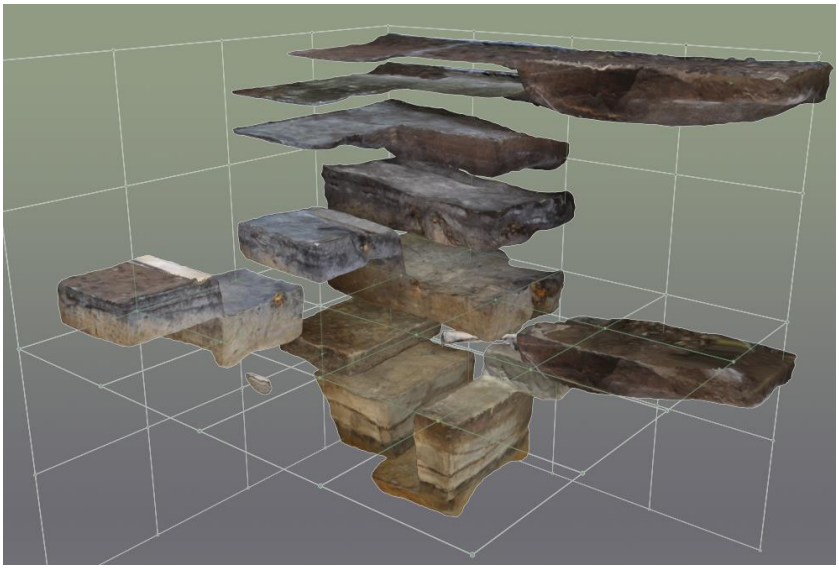
Etape suivante :

Etape suivante avec la mise en évidence de la couche indurée.

Dernière intervention

Et visualisation de l'ensemble des pièces.

Vision en éclaté et assemblée avec l'amorce du rocher.



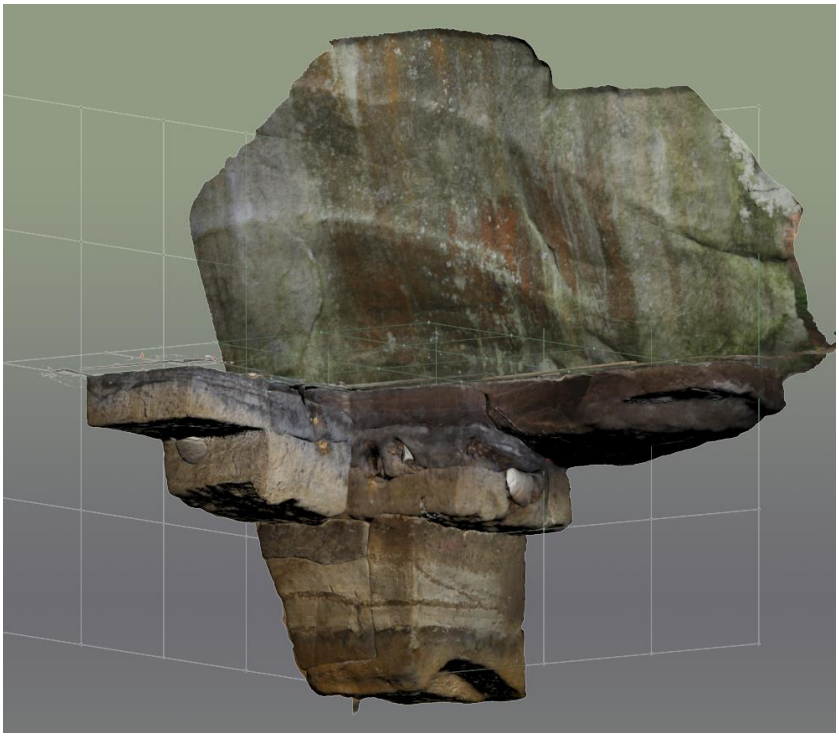
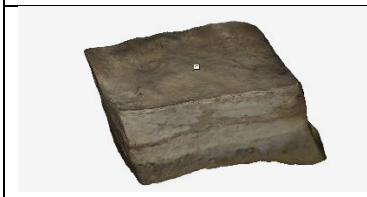


Tableau récapitulatif

Strate	Volume (m^3)	Altitude Sup (m)	Epaisseur (cm)	Nature
	1,16	0,00	0,01-> 0,50 max	Feuilles et humus
	0,16	0,00	0,01-> 0,15 max	Feuilles et humus

	0,69	-0,03 -0,20	0,04-> 0,28 max	Sable
	0,88	-0,28	0,40	
	0,69	-0,10 -0,71	0,28 0,32	
	0,35	-0,96	0,19	Couche induré e
	0,86	-0,01 -0,40	0,40 0,48	
	0,98	-1.17	0,68	
	1,63	-0.03 -0.65 -0.96 -1.89	0,38max 0,31 1,09 0,24	Humus sable
	0,02	-0,61		Divers racines
total	7,49			

Nota : la différence de volume avec le précédent résultat tient de la prise en compte du volume de feuilles et d'humus de la couche très supérieure de la fouille.

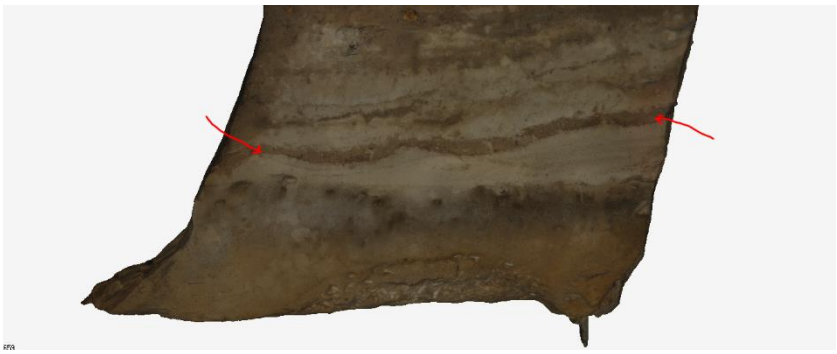
Déduction de la géométrie de chacune des strates.

La fouille a suivi une logique d'enlèvement en fonction de la nature du sol, mais également d'une logique archéologique identifiant les couches riches en matériels de celles plus pauvres. Il est cependant

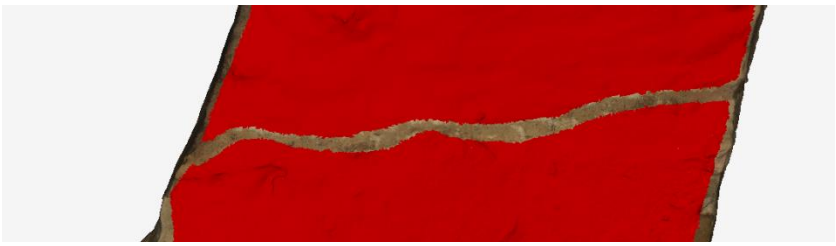
possible de déduire les strates géologiques en fonction des traces. Comme on possède les lignes de dépôts sur au moins 3 faces de la fouille, il est alors facile de recréer le volume caractérisant la strate. Il s'agit là de travailler avec le vide, plutôt que le plein.

Plusieurs méthodes peuvent être mobilisées, la première consistant à retracer un contour 3D sur chaque face puis assembler les splines en un volume unique, l'autre solution cherche à sélectionner les polygones et les assembler. C'est cette dernière technique qui sera montrée ici. Là encore, n'importe quel logiciel 3D fait l'affaire.

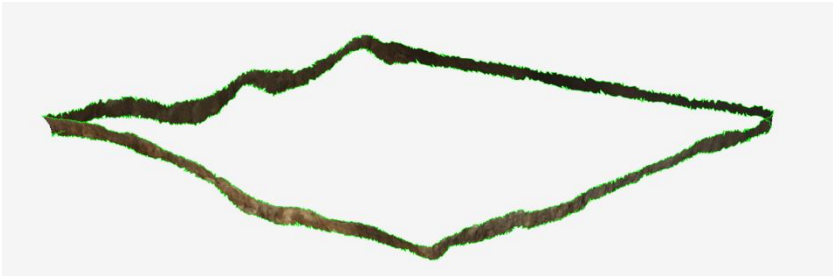
Pour le détail de l'opération, cette strate est choisie :



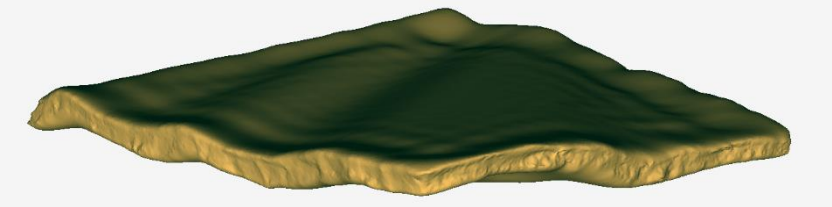
Il faut commencer par retourner les faces afin d'avoir les normales vers l'extérieur. La sélection se fait face par face en laissant des polygones sur les bords.



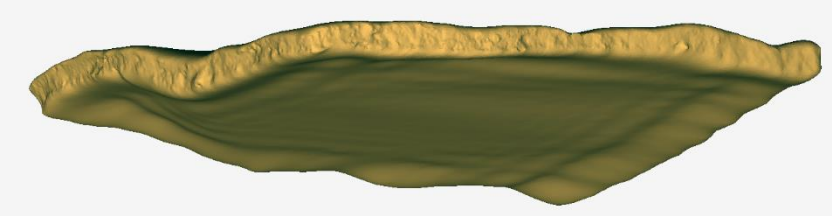
La couche est isolée, il ne reste qu'à « capuchonner » les faces du dessus et du dessous.



Le comblement est effectué :



Sous un autre angle :



Le volume est de 0,1534m3 et les altitudes sont de -1,47 pour la face du dessus au centre et -1,57. Le développement donne ceci :

Chaque strate est découpée. En écartant les strates les unes des autres, l'on obtient ceci :

Là encore, chaque élément peut être mesuré et qualifié.

Photomodélisation d'un percuteur

Présentation

Le percuteur est un objet faisant 7,63 x 7,42 x 13,28 cm de forme prismatique à base triangulaire. Toutes les faces contiennent de l'information ce qui demande de pouvoir le saisir entièrement. Bien entendu, cela ne peut se faire en une seule passe, ce qui implique une stratégie de prise de vue bien particulière.

Enjeux

L'objectif de la modélisation est de pouvoir obtenir les informations suivantes :

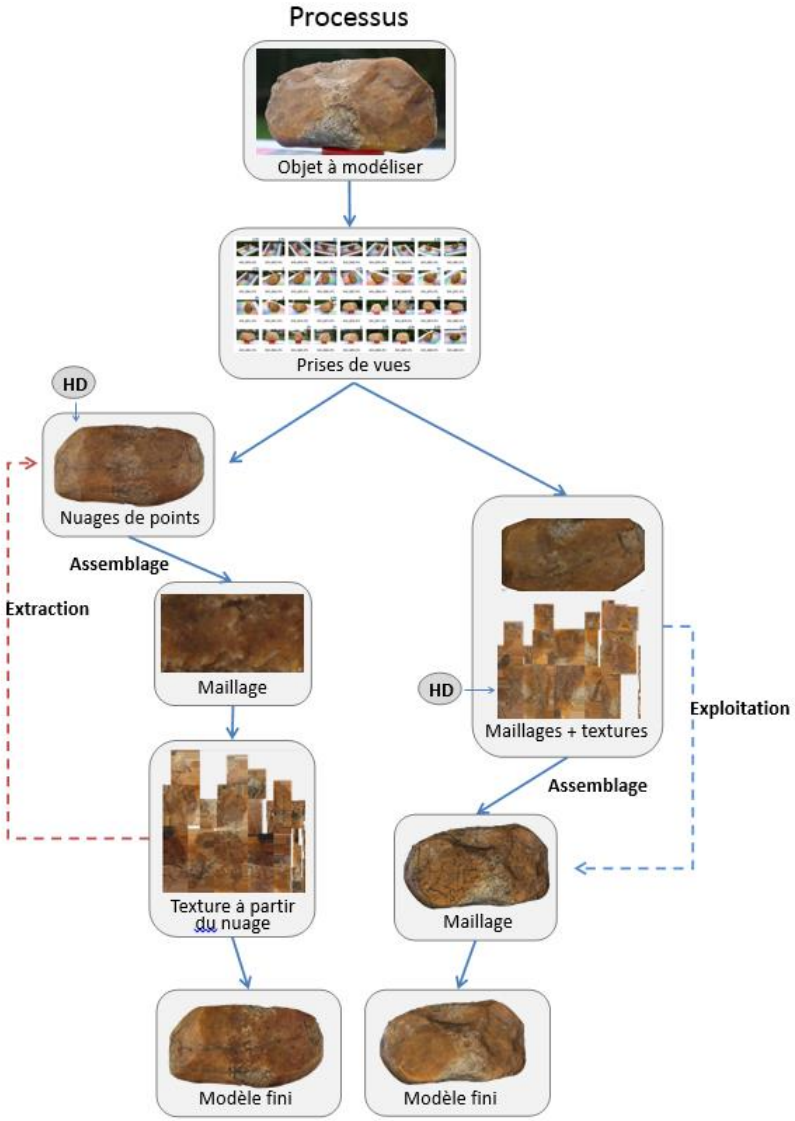
- Un nuage de points de l'objet complet
- Un maillage dense
- Une texture détaillée couvrant l'ensemble des faces.

Les contraintes pour cela sont les suivantes :

- La lumière doit être parfaitement homogène et suffisamment diffuse pour qu'on ne puisse distinguer sur l'objet l'origine de la source principale.
- Plusieurs géométries seront obtenues, il faut pouvoir parfaitement les assembler et pour cela maitriser parfaitement la mise à l'échelle du relevé.
- Il faut se garantir des reflets sur la surface de l'objet.

Il existe globalement deux moyens d'obtenir un résultat propre : le premier consiste à exploiter le nuage de points en très haute résolution, l'autre consiste à tirer parti d'un maillage maillé, la texture étant calculée en très haute résolution. La première solution contraint à travailler avec des nuages de points assez lourds que l'on va assembler, puis mailler. La texture sera ensuite extraite du nuage de base et reprojeter sur la maille. La deuxième exploite une texture très haute définition qui sera posée sur un maillage retravaillé.

La première solution cherche à conserver le plus possible les détails géométriques de l'objet, ce parfois, au détriment des détails d'aspect dépendants de la résolution du nuage. La deuxième, plus technique, cherche à conserver les aspects de surface le plus fidèlement possible et peu se travailler avec un maillage moins dense.



Préparation du sujet.

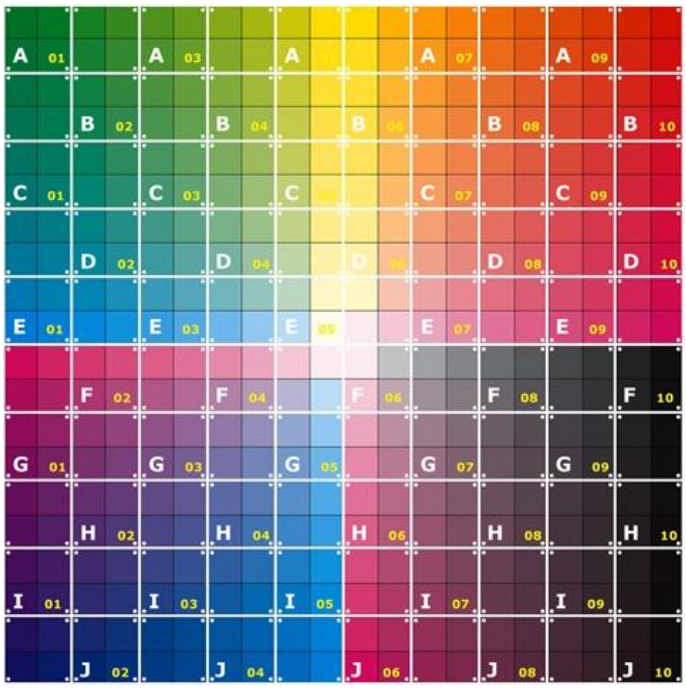
Il existe plusieurs façon de créer une lumière diffuse : orienter des projecteurs vers des parapluies réflecteurs permettant de récupérer que la valeur diffuse des sources, éclairer à travers une surface diffusante comme un verre peint ou une toile ou bien alors, positionner le sujet dans une tente aux parois blanches et photographier à l'intérieur.

Lorsque l'on ne dispose pas de tout ce matériel, le plus simple est de se mettre soit dans une très grande pièce aux murs peints en blanc ou comme dans le cas traité ici, à l'extérieur alors que le temps est très couvert.

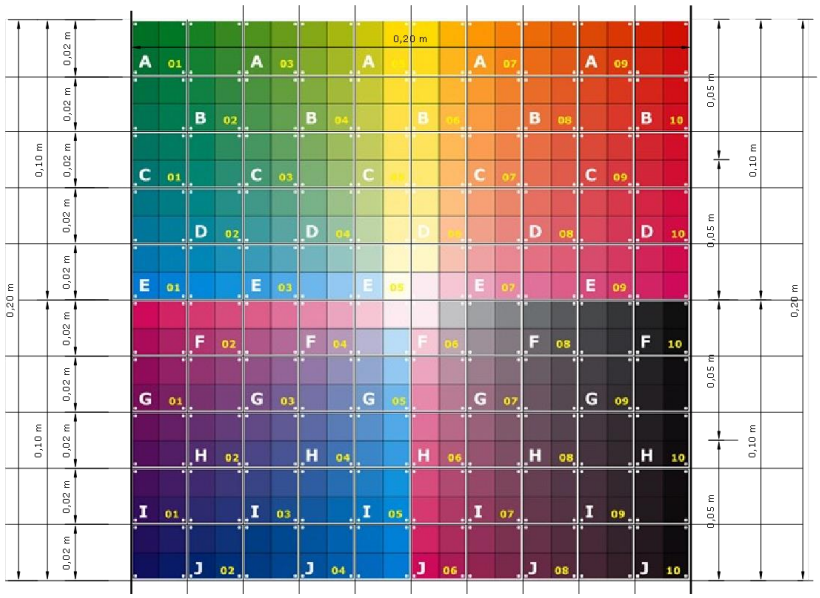
Pour assembler parfaitement les géométries obtenues, il faut pouvoir placer le percuteur dans un repère orthonormé qui servira d'échelle et de support à la photomodélisation. Pour réaliser l'opération avec succès, il faut éviter tout support répétitif : plus il y a de variations, meilleure est la reconstitution, ce qui peut être en contradiction avec l'idée d'une grille normée régulière.

Le choix s'est porté ici sur une trame servant à positionner les UVW en modélisation 3D ou, autrement dit, poser les textures sur un objet 3D. La trame permet de vérifier la régularité du maillage et donne des indices sur le développement du dessin habillant la géométrie.

La trame se présente ainsi :

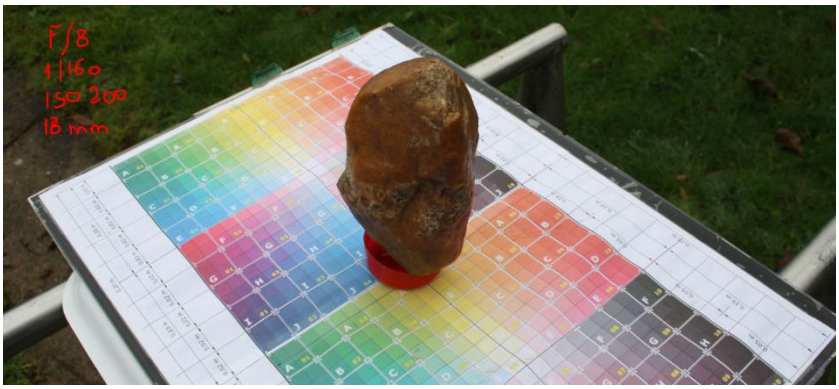


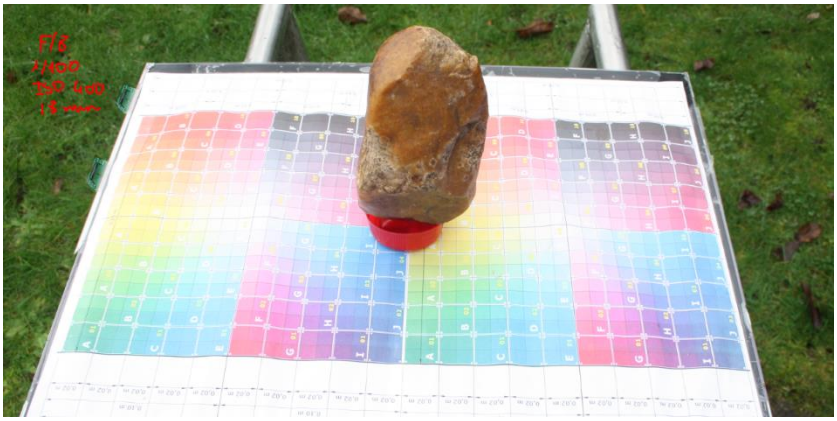
Pour correspondre à la forme et à la contrainte de précision, elle a été légèrement retouchée pour obtenir un repère tel que suit :



Ce fond de trame peut ensuite être pavé sur une plaque rigide en fonction de l'objet à saisir. Il est à noter qu'une approche plus sophistiquée demanderait un nuancier normé afin de servir de base colorimétrique au modèle. En l'état, la base de la grille et la fiabilité de l'imprimante utilisée ne permette pas une telle approche. On peut éventuellement constater une dérive entre la grille et le rendu.

Le réglage de la prise de vue va ensuite déterminer la qualité et la lisibilité de l'objet et par effet retour, sa construction en 3D. Un compromis doit être trouvé entre la vitesse, l'ouverture et la profondeur de champ.

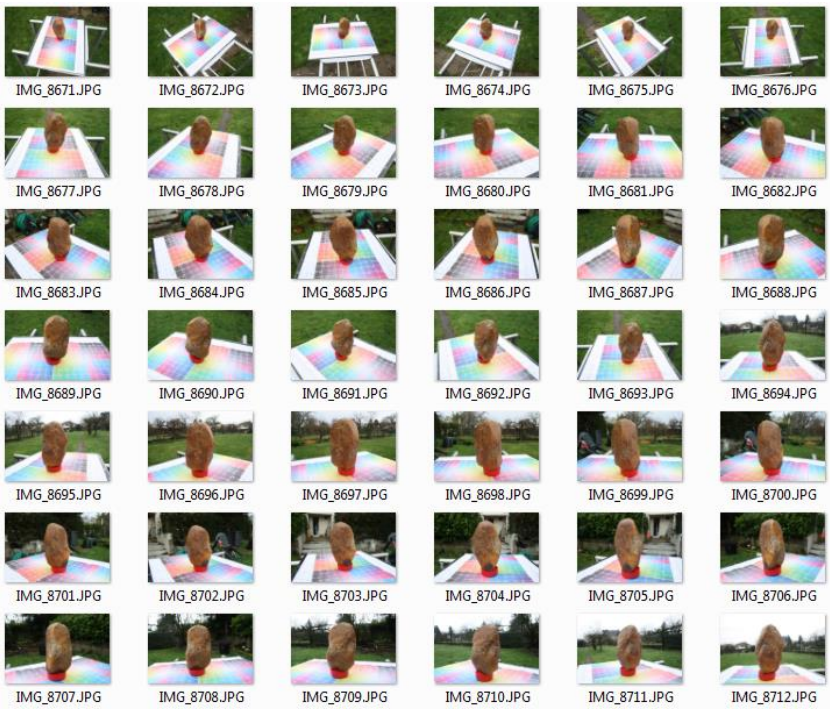




La dernière solution a présenté un compromis acceptable.

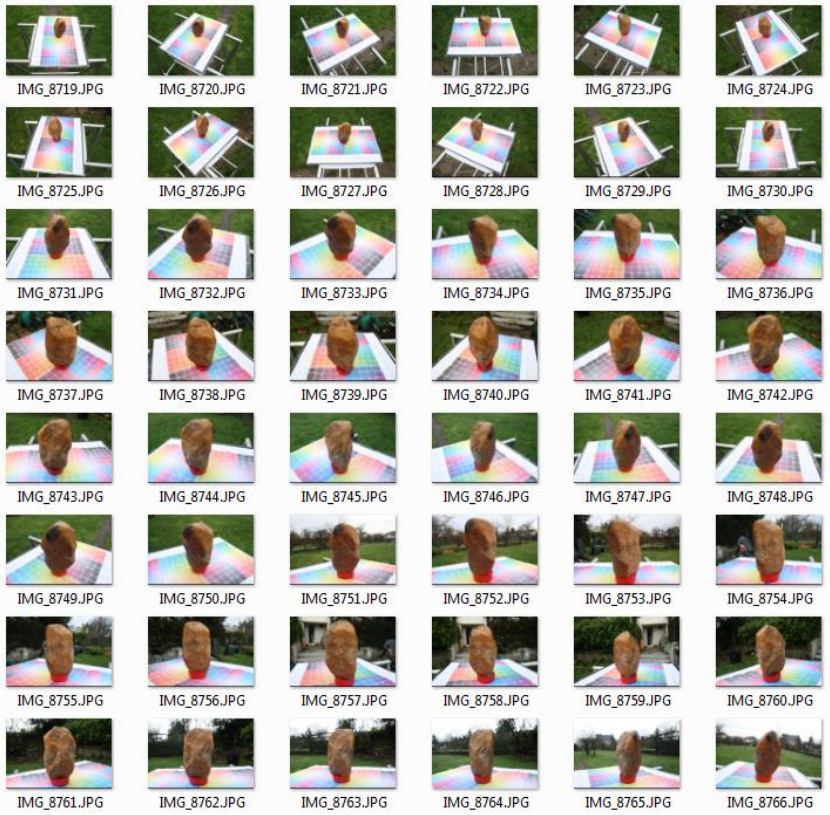
La prise de vue.

Le percuteur est positionné dans un premier temps sur l'une de ses pointes et sera retourné ensuite. Il est ici simplement posé sur une capsule de jus de fruit.



Une première série de photos est prise en cadrant sur la grille de repère et en tournant tous les 45 degrés environ, puis avec une élévation de 45° oblique une série plus rapprochée est réalisée tous les 20°. Enfin, une troisième série, placée perpendiculairement au sujet, est effectuée tous les 20°.

L'objet est retourné, pour la nouvelle série.



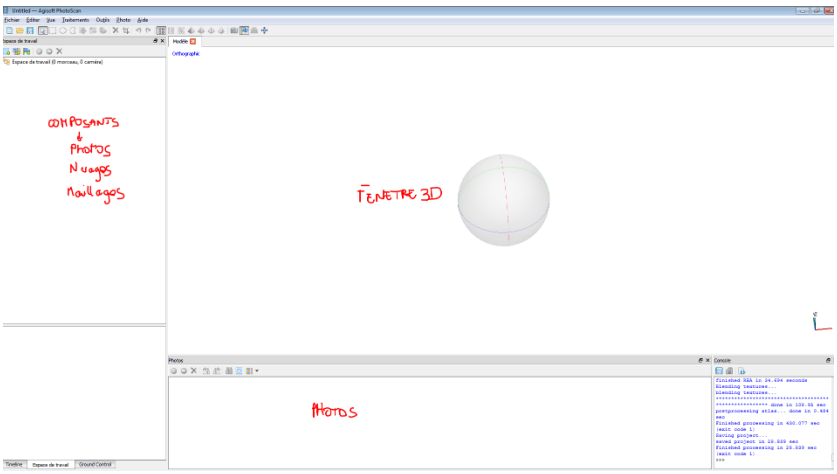
Nota, pour éviter de confondre les deux séries et généralement pour distinguer les séries de prises de vue, il peut être utilisé une ardoise ou une planchette qui sert de clap. On peut y noter, la date, le sujet, les conditions de prise de vue et le nom indicatif de la série. C'est un accessoire à prévoir.

Le jeu de photos peut ensuite est exporté

Traitement dans Photoscan.

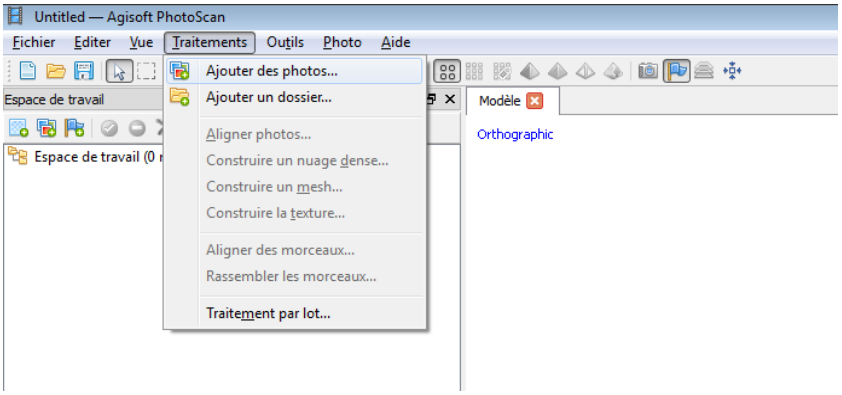
Photoscan est un logiciel russe édité par la société Agisoft LLC basée à Saint Petersburg. Le logiciel date de 2010 dans sa première version et en est actuellement (fin2014) à sa version 1. Il existe près d'une cinquantaine d'autres solutions de photomodélisation que ce soit des applications propriétaires ou distribuées. Photoscan se place dans les solutions professionnelles abordables en termes de coûts et de facilité d'apprentissage.

L'interface présente 3 grandes zones de travail : « l'espace de travail » où l'on va retrouver les éléments calculés : les photos alignées, les nuages et les maillages calculés, la « fenêtre 3D » où l'on verra le modèle 3D et enfin la zone « Photos » où sont visibles les collections de photos.



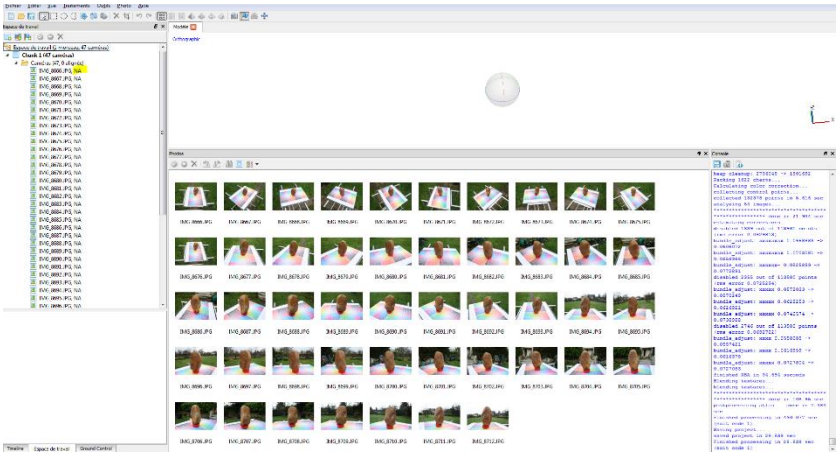
Ajouter des photos

Dans un premier temps, il faut **ajouter le jeu de photos**, c'est le menu « traitement/Ajouter des photos ». L'on va ensuite puiser dans les photos préparées.



Les photos ajoutées, on voit que dans l'espace de travail s'est créé un « Chunk » ou morceau qui contient les informations du travail en cours. Il sera possible de créer plusieurs « chunk », de les combiner si besoin. L'indication « NA » précise que les photos ne sont pour le moment « Non Alignées ».

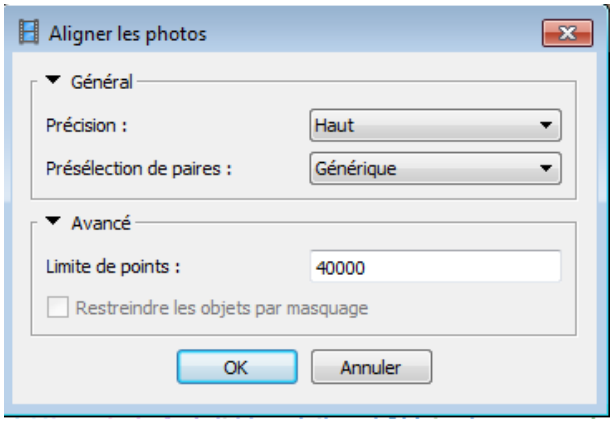
Les photos sont visibles dans le cadre « Photos » en bas.



Aligner les photos

Les photos doivent maintenant être alignées, cela signifie que le logiciel va retrouver la position de l'appareil, en fonction du sujet photographié, ce pour chaque vue.Pour cela il va utiliser les informations communes à chaque image comme les détails de surface, dénotant soit des reliefs ou encore des caractéristiques colorimétriques.

Le réglage par défaut convient bien.



***Nota** : si la surface de l'objet à modéliser est brillante, il y a fort risque que les éclats spéculaires soient mal interprétés. Au mieux, il y aura un trou dans le modèle, au pire si cet éclat spéculaire bouge (parce que la lumière change, parce que l'on crée un reflet avec son appareil ou que le modèle tourne un peu) il y aura une impossibilité de reconstruction.*

Les propriétés optiques de l'appareil sont également interprétées pour la reconstruction du modèle.

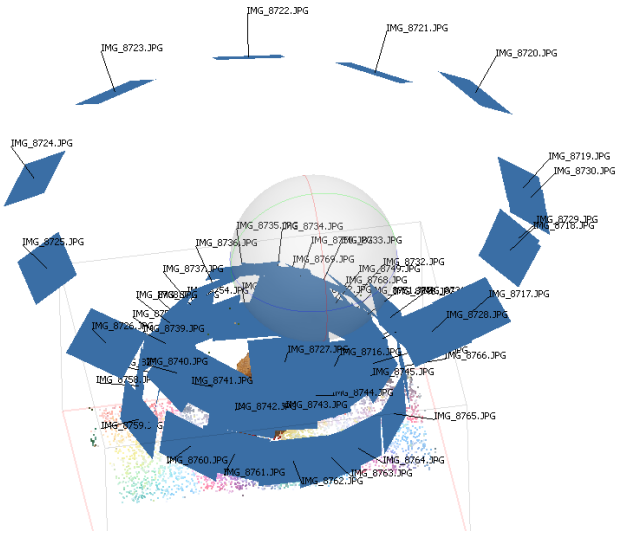
***Nota** : les propriétés optiques de l'appareil sont stockées dans les informations EXIF. Ces données sont importantes bien qu'il soit possible de réaliser des photomodélisations sans elles. Il convient donc de les conserver, surtout s'il y a volonté de retoucher l'image.*

Un logiciel gratuit comme XnView (http://www.xnview.com) permet de visualiser les informations EXIF, si la photo est retravaillée avec ce logiciel, il est demandé si ces informations sont à conserver.

révisu | Propriétés | Histogramme | EXIF | Catégories

Camera	
Fabricant	Canon
Modèle	Canon EOS 1000D
Orientation	haut-gauche (1)
Résolution en X	72
Résolution en Y	72
Unité pour la résolution	Pouce
Date de modification	2014:12:15 11:53:27
Positionnement YCbCr	accollé (2)
Image	
Temps d'exposition [s]	1/100
Nombre-F	8.0
Programme d'exposition	Manuel (1)
Sensibilité équivalente ISO	400
Version EXIF	02.21
Date¦heure d'origine	2014:12:15 11:53:27
Date¦heure numérisées	2014:12:15 11:53:27
Configuration des composantes	YCbCr
Vitesse d'obturation [s]	1/99
Indice d'ouverture	F8.0
Valeur compensation exposition	0
Mode calcul exposition	Multi-segment (5)
Flash	Pas de flash
Longueur de focale [mm]	18
Commentaire utilisateur	
Heure fractions de sec.	34
Heure d'origine fractions de sec.	34
Heure numérisée fractions de sec.	34
Version FlashPix	01.00
Mode de couleur (BPP)	sRGB
Largeur de l'image	3888
Hauteur de l'image	2592
Position interopérabilité	9478
Résolution plan focal X	324000/73
Résolution plan focal Y	2592000/583
Unité résolution plan focal	Pouce (2)
Rendu personnalisé	Processus normal (0)
Mode exposition	Manuel (1)
Équilibrage des blancs	Auto (0)
Type de capture de scène	Standard (0)

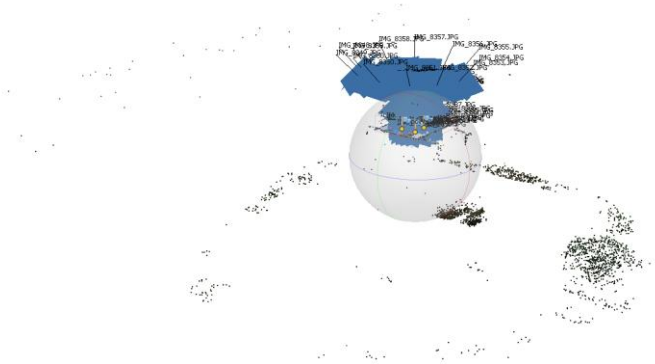
Une fois le calcul effectué, le logiciel produit un nuage épars dans lequel les positions de caméra, sont figurées par des rectangles bleus. Les positions de caméra sont précisément les points d'où on été prises les photos.



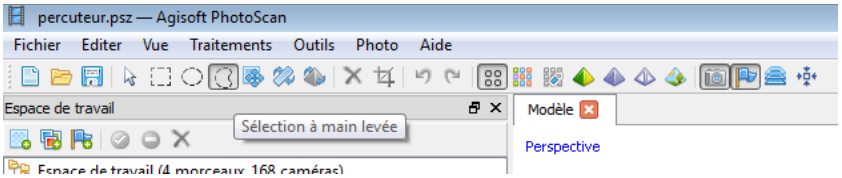
En zoomant un peu, on voit le nuage et la correspondance entre la photo d'origine et sa position dans l'espace 3D du nuage.

Selon la façon dont a été photographié le sujet, le nuage « basse définition » peut englober un espace beaucoup plus large que le sujet lui-même. Cela peut avoir une conséquence sur le temps de calcul et la qualité du modèle. En effet, on donnera au logiciel un « objectif » de points à constituer. La quantité de points déterminant la qualité du modèle. Il faudra essayer au mieux de concentrer l'information sur les sujets à traiter et éviter de la ventiler dans les nuages, les environnements lointains ou de la végétation alentour.

Par exemple dans la copie d'écran ci-après, des points éloignés du sujet sont visible :



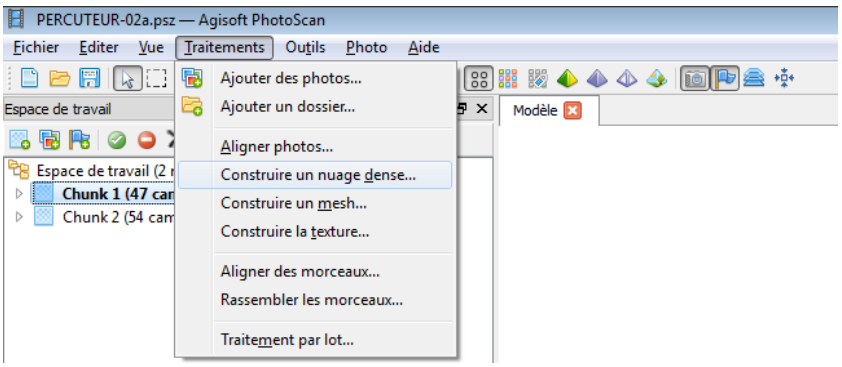
Il conviendra de les effacer en sélectionnant les points voulus avec l'outil « Sélection » puis la touche « Effacer » ou « Suppr ». Il est souvent plus facile de sélectionner ce que l'on souhaite conserver, puis d'inverser la sélection, ainsi, le moindre point, très éloigné ou peu visible, sera traité.



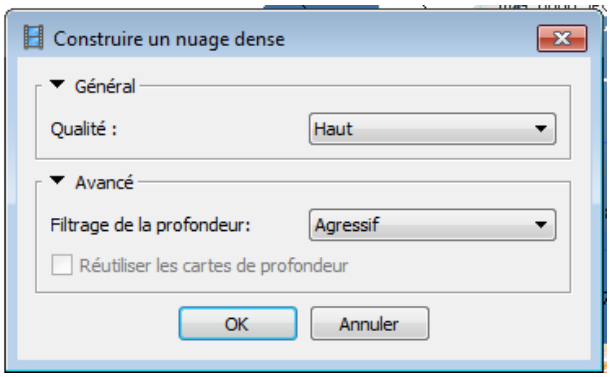
Nous verrons par la suite qu'il est également possible de définir la boite de calcul.

Construire un nuage dense

On peut maintenant lancer le calcul du **nuage dense**. Pour cela, il faut activer la fonction « Traitements/Construire un nuage dense »



Une palette demande la qualité à atteindre :

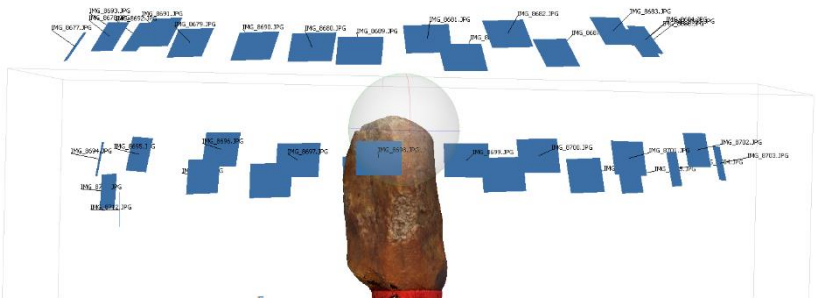


Dans le cas qui nous intéresse, nous allons choisir « Haut », il existe une option « Très Haut » pour une encore meilleure qualité et « Moyen », « Bas », « Très bas » pour des qualités inférieures. De fait, il s'agit là d'un ratio entre la précision de l'information à recueillir, la pertinence de cette information en regard du sujet traité et bien entendu de la puissance de la machine. Des essais doivent être tentés pour calibrer tout cela.

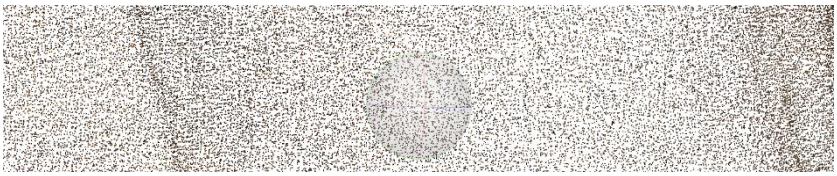
***Nota** : il sera toujours possible avec le logiciel libre Cloud Compare (http://www.danielgm.net/cc/) de définir le pas du point et de choisir un point tous les milimètres par exemple pour un objet ou tous les centimètres, mètres pour des modèles à plus grande échelle.*

Le filtrage des profondeurs va permettre de polariser le calcul sur une zone bien précise, évitant de prendre en compte des éléments d'environnement. Nous verrons ensuite, **qu'il est possible d'isoler complètement le sujet de son contexte** pour obtenir la meilleure concentration de points possible. Dans le cas illustré ici, il est nécessaire d'avoir le percuteur et la grille d'échelle.

Le calcul terminé, nous obtenons ici près de 3 millions de points après environ 5 heures de calculs sur un portable équipé d'un i7 à 2,70GHz avec 16Go de RAM, une carte graphique Quadro 1000M avec 2Go de RAM et un disque dur SSD. Cette opération de création d'un nuage dense peut donc être très couteuse en temps.

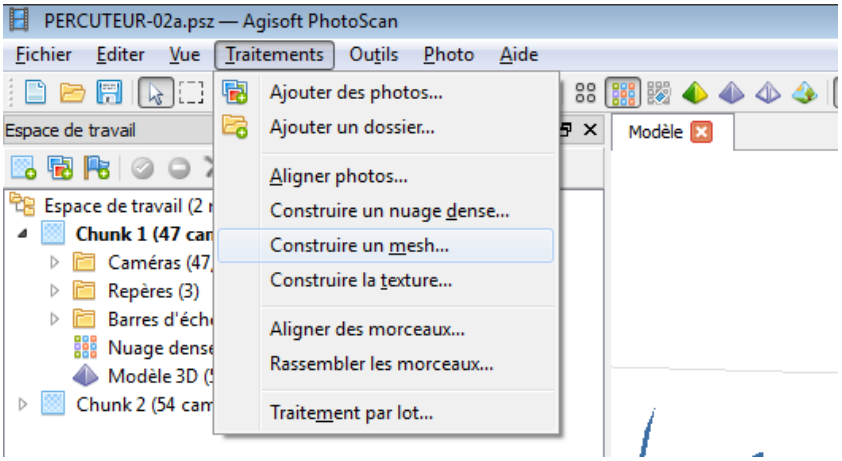


La densité des points est telle que le modèle semble être fait d'une surface continue, mais si l'on zoome, l'on aperçoit les points se distinguer.

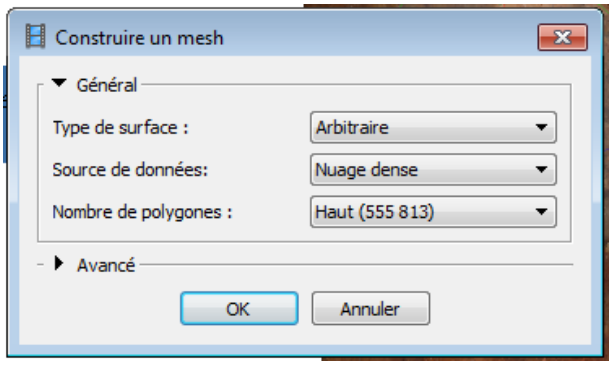


Construire un mesh

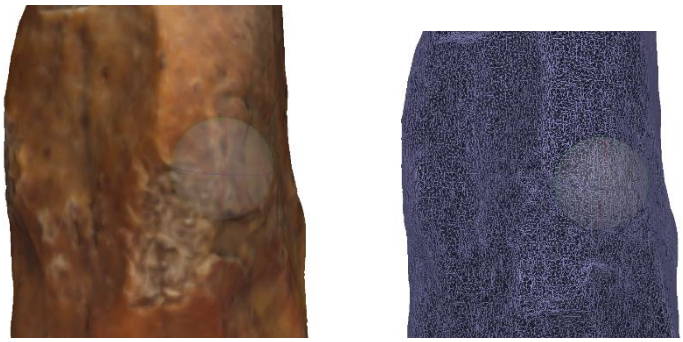
La prochaine opération consiste à mailler le nuage de points et créer ainsi une surface continue. Il faut lancer le menu « Traitements/Construire un mesh » :



Il faut choisir ici le type de surface « Arbitraire », l'autre choix renvoyant plutôt aux MNT (Modèles Numériques de Terrains) ; il convient de prendre ensuite le « Nuage dense » afin de travailler sur la meilleure précision et définir le nombre de polygones en fonction de la résolution choisie. Il reste toujours facile de simplifier un modèle haute définition pour des usages ultérieurs de PDF 3D par exemple ou de temps réel.



L'opération est bien plus rapide que la précédente.



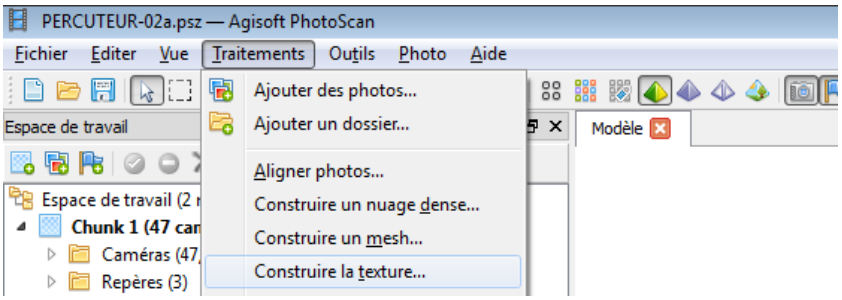
Par rapport au nuage de points, l'objet semble plus « flou ». Le calcul de Photoscan reste une boite noire. Il est toutefois envisageable d'exporter le nuage dense afin de le faire calculer dans une autre application.

Voici par exemple la comparaison entre le calcul de Photoscan à gauche et Geomagic à droite :

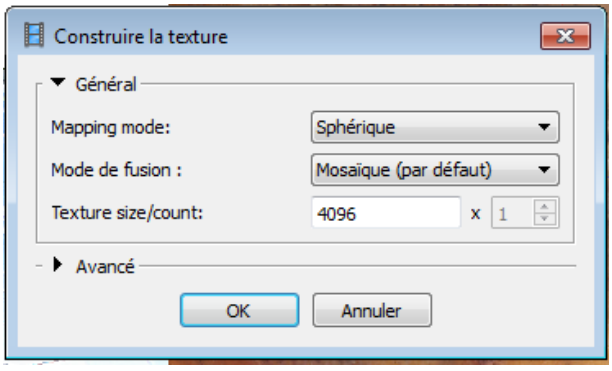
Photoscan a produit plus de 500 000 polygones, Geomagic a extrait du nuage 5 millions.

Construire la texture

La dernière étape consiste à construire la texture de l'objet. La texture redonnera de la définition en tirant des photos les moindres détails d'aspect. Toutefois, il faudra savoir distinguer ce qui relève de la géométrie de l'objet, de son aspect visuel donné par la texture, ce particulièrement dans les opérations de mesures fines.

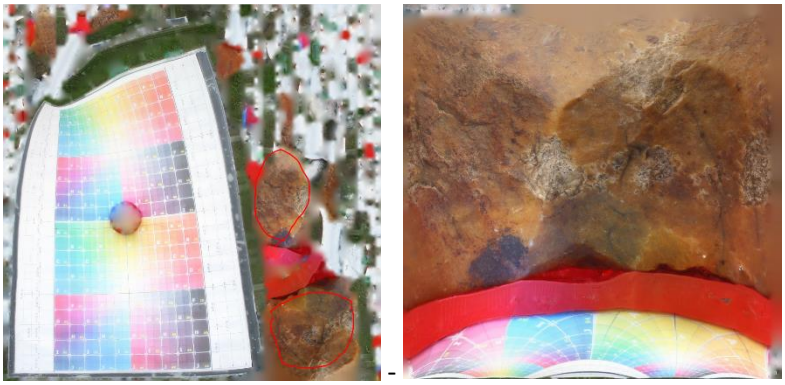


Il faut choisir entre différents type de textures.



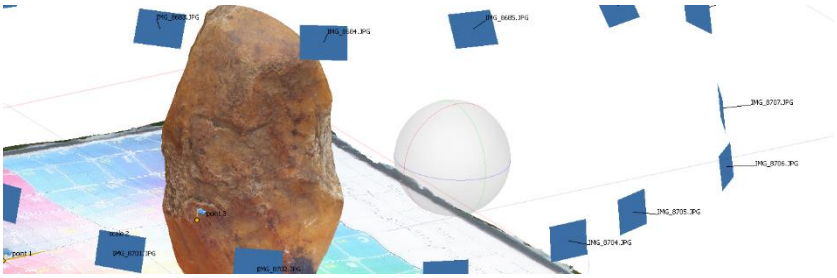
Pour le cas présent, il sera choisi ce type de configuration. Les autres modes vont avoir une influence sur la façon dont sera menée la suite du travail. Une orthophoto conviendra pour retoucher l'image, ajouter des informations. Pour plus de détails sur cette question, il faut se référer à la question des UVW maps qui n'est pas traitée dans ce chapitre.

Voici la différence entre la texture Générique et Sphérique. Il faudra remarquer le nombre de pixels affectés à la définition de l'objet.



Cette différence se retrouvera dans l'appréciation de la qualité du modèle.

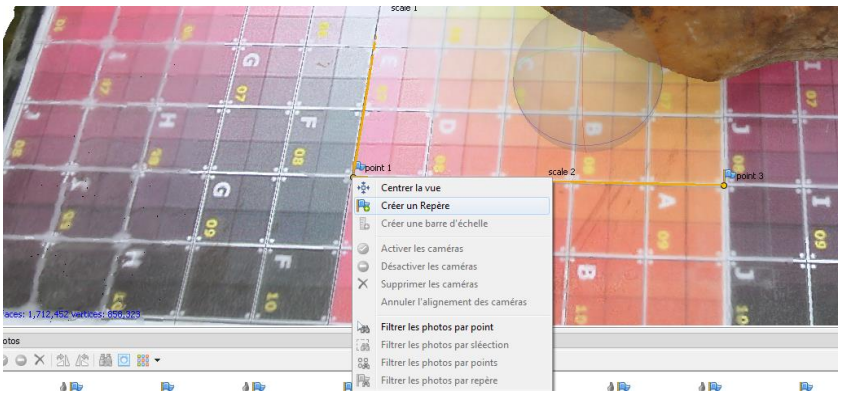
Le calcul fini, on obtient ce type de rendu :



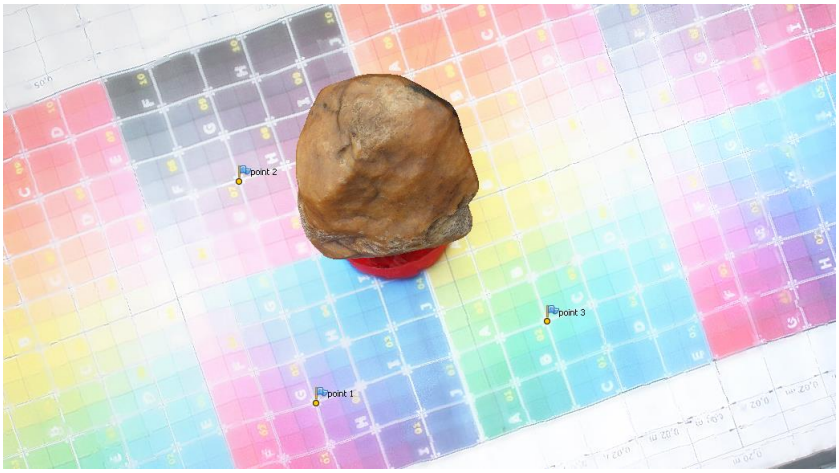
Positionner et mettre à l'échelle.

L'opération suivant, pouvant être réalisée toutefois plus tôt, consiste à positionner l'objet dans l'espace, lui redonner son plan horizontal et vertical et surtout lui redonner son échelle réelle. La grille va ici être très utile en parvenant à donner ces deux informations simultanément.

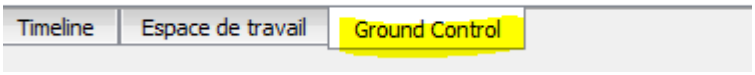
Dans un premier temps il faut positionner des repères. Sur la grille, à une intersection connue, faire bouton droit, « Créer un repère ». On positionne ainsi un premier point qui sera l'origine.



Sur la même horizontale en X, mais 10cm plus loin, un 2ème repère est créé et un 3ème en Y. On pourrait imaginer de créer une grille verticale pour le repérage des Z.



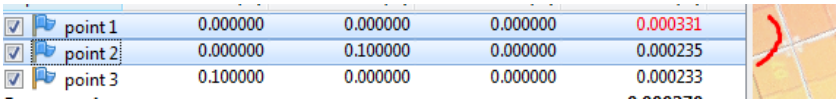
On va pouvoir à partir de ces points indiquer qu'ils forment un triangle décrivant le **plan horizontal**. Pour cela il faut dans l'onglet :



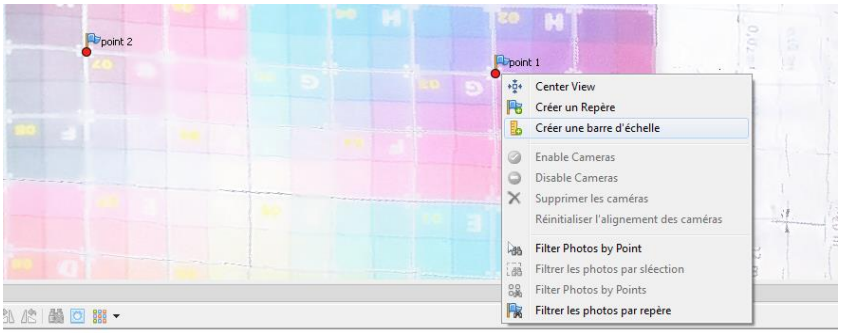
Il faut ensuite définir que le premier point est l'origine, lui donner comme coordonnées, (0,0,0). Le deuxième point sera à 10cm sur l'axe des X et l'autre à 10cm sur l'axe des Y, donc de coordonnées (1,0,0) et (0,1,0).

Repères	X (m)	Y (m)	Z (m)	Error (m)
point 1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000331
point 2	0.000000	0.100000	0.000000	0.000235
point 3	0.100000	0.000000	0.000000	0.000233
Erreur totale				**0.000270**

Ensuite, il faut mettre le modèle à l'échelle. Il faut pour cela sélectionner 2 points, cliquer bouton droit et « créer une barre d'échelle ».



Deux points sont sélectionnés, ils sont surlignés en bleu.



Apparait un segment joignant les 2 points repère.

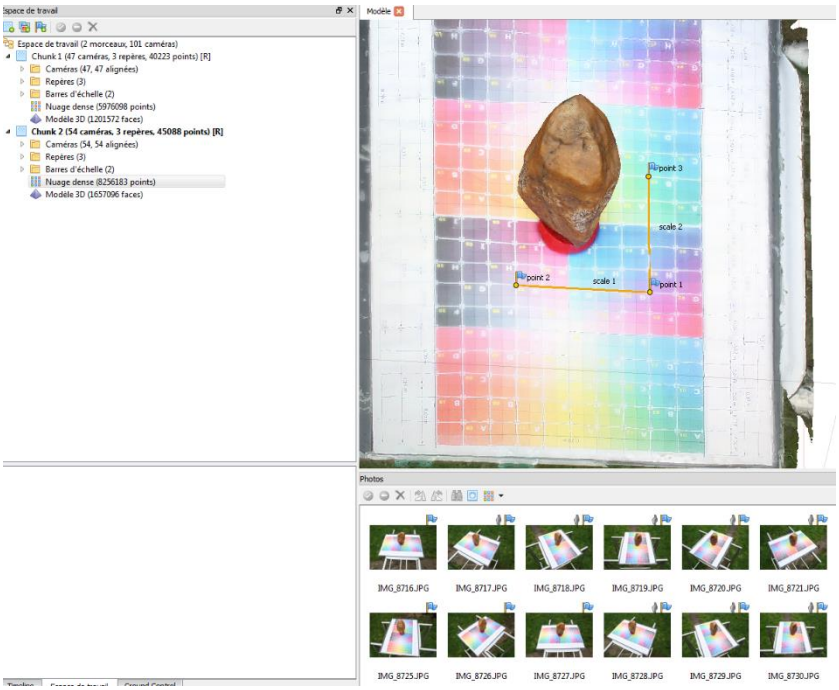
Dans l'onglet « Ground Control » on va mettre à la bonne échelle la barre en lui donnant la bonne longueur. Dans notre cas, 10cm soit 0.1

Barres d'échelle	Distance (m)	Error (m)
scale 1	0.100000	-0.000489

Il faut répéter l'opération avec deux autres points sur l'axe Y, mais ce n'est pas forcément nécessaire.

Nota : Il faut ensuite rafraichir la base et le modèle en cliquant sur l'icône « Update ». Sans cela les modifications ne sont prises en compte.

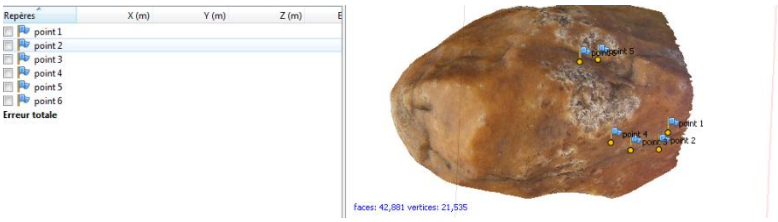
Il faut ensuite renouveler l'opération pour avoir les deux pointes du percuteur.



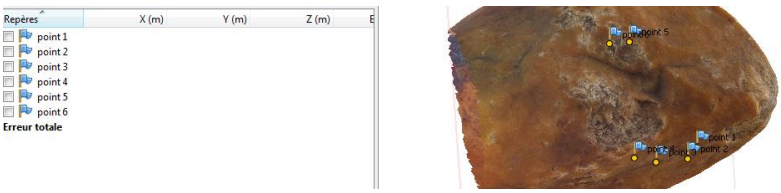
Assembler les morceaux

Il faut maintenant pouvoir assembler les morceaux obtenus. Il existe plusieurs méthodes selon que l'on va se servir des caméras, des points ou des repères. Pour peu que la mise en place de repères ait été facile soit par ajout de marqueurs soit par identification, comme c'est le cas ici, de singularités de surface, le calcul par la méthode des repères peut être extrêmement rapide et économique. La **précision de l'assemblage** viendra bien entendu de la précision de la position des repères dans chacune des géométries. L'assemblage à partir des points est plus long, mais se révèle plus précis.

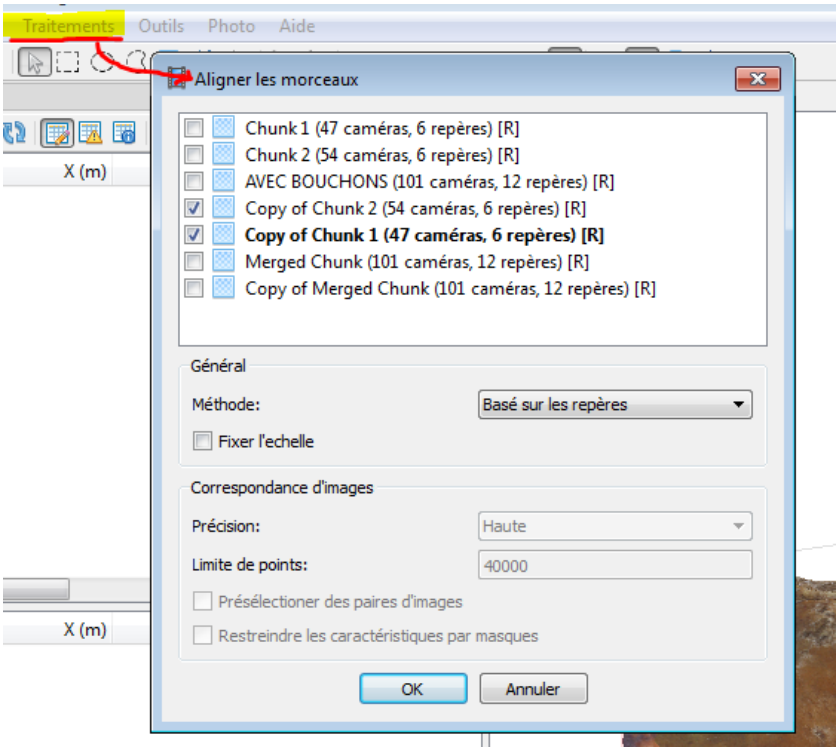
Dans un premier temps, il s'agit de placer des repères sur le modèle, quelle que soit la formule choisie, cela permet de mieux caler le modèle. Pour se faire et éviter des confusions futures, les anciens repères d'échelle peuvent être effacés. Sera également enlevé la grille de repère.



Sur le deuxième morceau, on procède de même, il faut effacer la grille de repère puis placer des points, strictement aux mêmes emplacements. Pour cet exemple, les singularités de la surface du percuteur sont mises à profit pour cette opération.

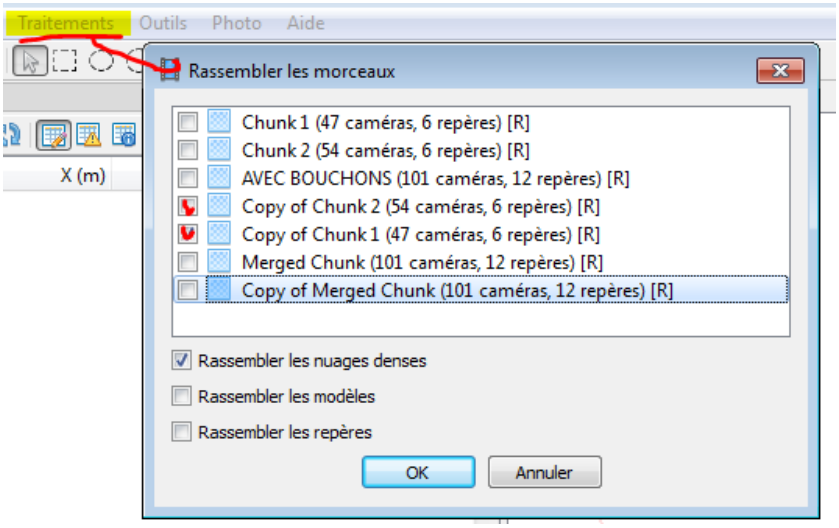


Il faut ensuite **aligner les deux morceaux**. On va pour cela dans le menu Traitements/Aligner les morceaux, dans un premier temps, l'on va choisir selon les repères :

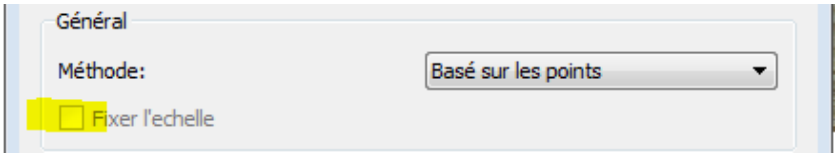


Une fois le calcul effectué, on voit que les repères sont superposés et de fait, le modèle reconstitué. Il faut dès lors les **fusionner**. Pour cela, il faut lancer le menu Traitements/Rassembler les morceaux et choisir

d'assembler soit les nuages de points, soit les maillages (ici appelés modèles), soit les repères :

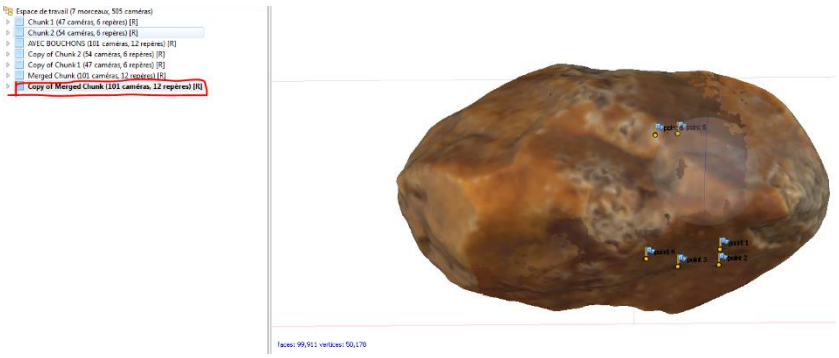


L'autre option plus précise et moins rapide, est d'assembler à partir du nuage dense. L'opération est identique à un réglage près :

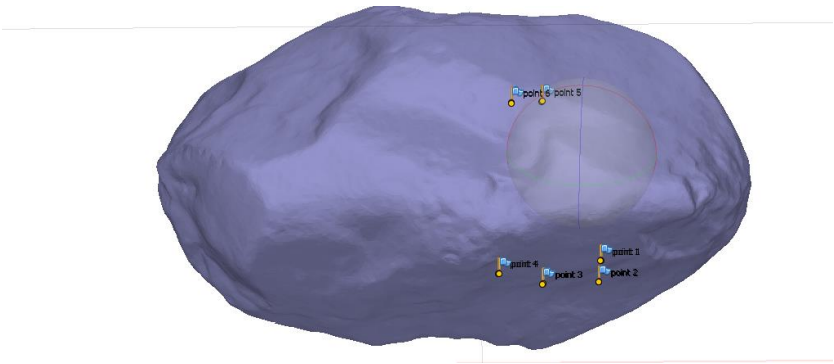


Si les étapes précédentes sont bien réalisées, il n'est pas nécessaire de « fixer l'échelle », option à tester en fonction des configurations.

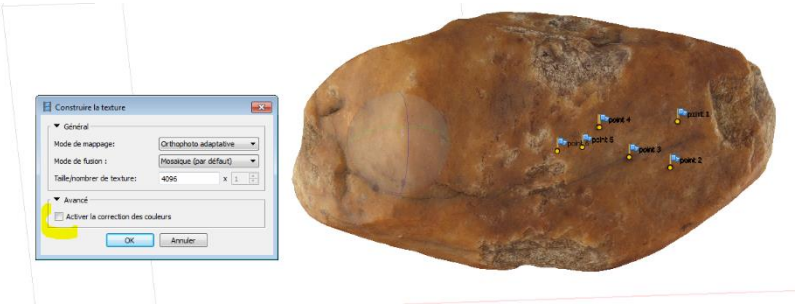
Une fois fait, la géométrie ainsi constituée est disponible dans nouveau morceau.



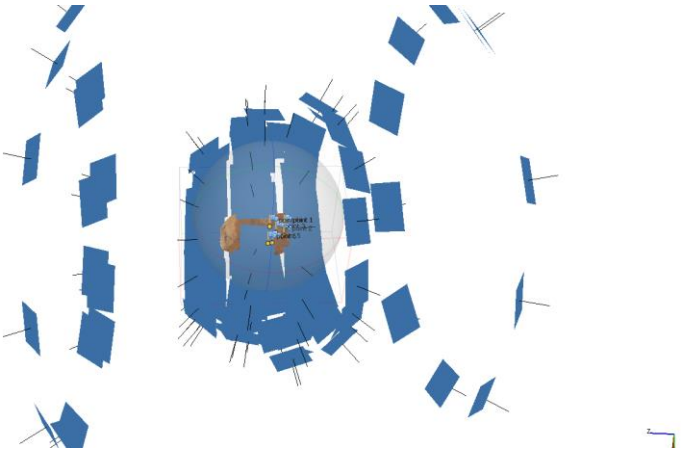
Le nouveau bloc est défini par 101 caméras, soit, la somme des caméras des deux morceaux et fait 50000 faces. La géométrie obtenue est régulière et détaillée.



Il va être ensuite possible de reprojeter la texture sur le modèle afin d'éliminer les effets de « collage » que l'on perçoit dans la couleur du modèle. Cet effet est dû aux légères différences de nuances résultantes du changement de position de l'objet dans le premier dispositif de prise de vue.



En observant la position des caméras, on voit que le dôme initial est transformé en double dôme ou en sphère, couvrant parfaitement la totalité de l'objet.

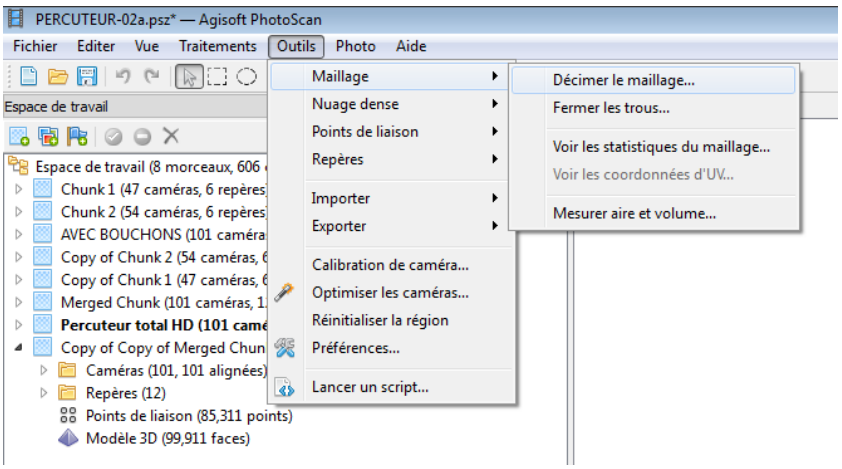


Simplifier le maillage

Pour des besoins de temps réel par exemple, pour exporter le modèle sur le net pour une consultation en ligne, le maillage doit être simplifié. Cette opération peut se révéler complexe parfois car la décimation peut se faire au dépend de la texture ; la conservation des coordonnées de textures (les coordonnées UVW) n'est pas toujours garantie. Photoscan permet de réaliser cette opération sans soucis.

Nota : Il convient, pour plus de sécurité, de dupliquer le morceau à traiter afin de préserver la résolution de qualité optimum.

Il faut aller dans le menu Outils/Maillage/Décimer le maillage et choisir ensuite le nombre de polygones à maintenir.



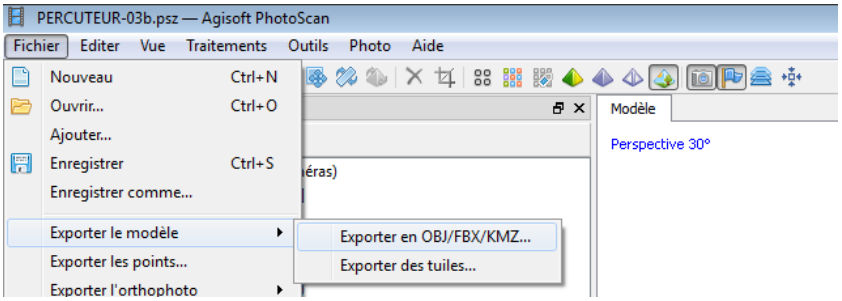
Une fois cela fait, le modèle aura perdu sa texture qu'il s'agira de recalculer.

Le modèle a 10 000 face (simplification de 10%, c'est-à-dire que l'on est passé de 100000 à 10000 faces), maintient, grâce à la parfaite résolution de la texture, un aspect parfaitement défini. Il pourra être utilisé pour le temps réel.

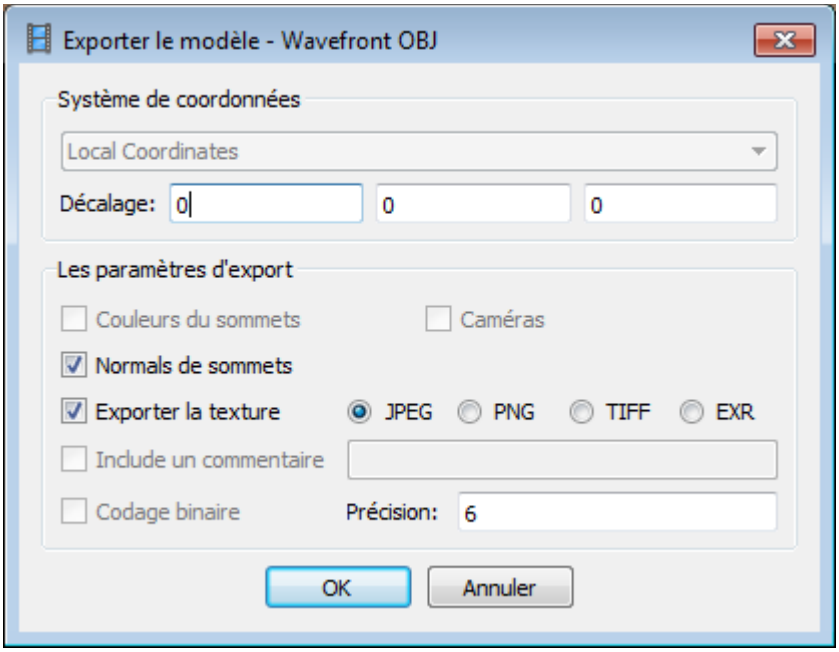
Le modèle parfaitement assemblé et texturé, n'a plus qu'à être exporté.

Export

Les différents morceaux sont exportés au **format OBJ** (Fonction/Exporter le modèle) pour être ensuite post-traités dans un autre logiciel.



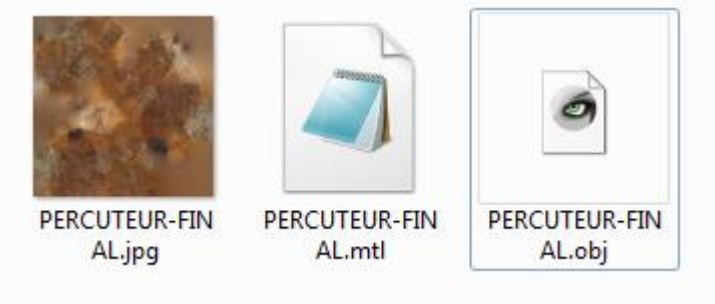
A l'export, on peut choisir entre différents formats graphiques qui dépendent de la suite de l'exploitation du modèle. Le format JPG est compressé et destructif, mais est le format le plus courant et sera celui privilégié s'il n'y a pas trop de réintervention sur la texture. Le format PNG est compressé et non destructif, il peut aussi contenir une couche Alpha, c'est-à-dire des informations de transparence. Le format TIFF peut être privilégié pour des utilisations liées à l'édition, mais est plus lourd car non compressé (pas toujours disons pour être précis) ; il peut contenir aussi une couche Alpha. Le format EXR, enfin, créé par ILM, code une texture en haute qualité, avec un codage des canaux RVBA en 8, 16 ou 32 bits en nombre flottant ou non, ce qui en fait un format recommandé pour obtenir une texture de très haute qualité.



Le compromis se fait donc entre les besoins ultérieurs, la qualité et la compatibilité des formats.

Post-traitements du modèle.

Le modèle 3D au format OBJ se compose de trois fichiers portant pratiquement le même nom :



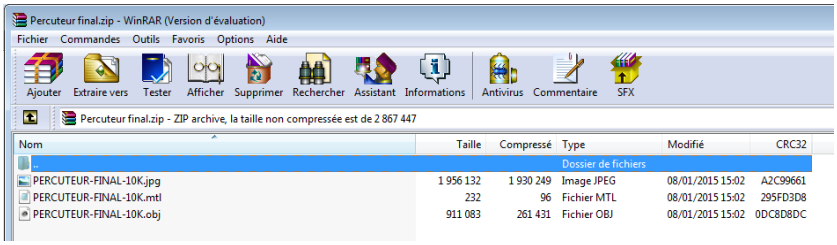
Il y a le fichier avec l'extension .OBJ qui contient la géométrie, il y a le ou les fichiers d'extension .JPG ou .PNG qui contiennent les textures et parfois les informations de relief et le fichier .MTL qui décrit comment la texture se positionne sur la géométrie 3D.

Le format .MTL est ouvert et éditable, il se présente ainsi :7 newmtl Solid

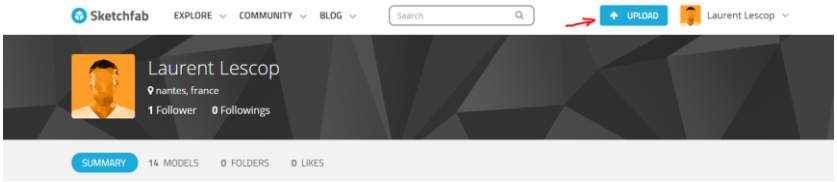
```
Ka  1.0 1.0 1.0
Kd  1.0 1.0 1.0
Ks  0.0 0.0 0.0
d  1.0
Ns  0.0
illum 0

newmtl PERCUTEUR-FINAL
Ka  1.0 1.0 1.0
Kd  1.0 1.0 1.0
Ks  0.0 0.0 0.0
d  1.0
Ns  0.0
illum 0
map_Kd PERCUTEUR-FINAL.jpg
```

Il faut remarquer la ligne contenant les informations liées à la texture qui peut être facilement corrigée si la texture n'apparait pas lors du chargement de la 3D.

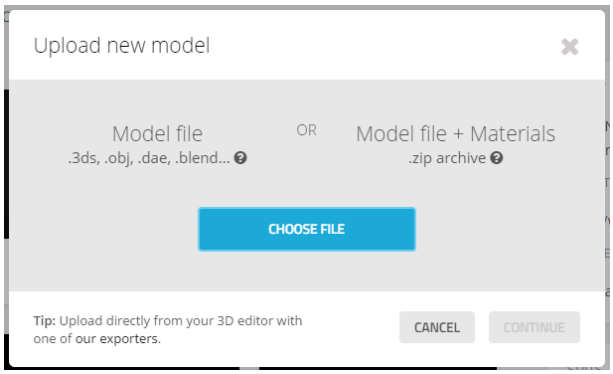
Pour une **consultation en ligne** du modèle, on peut utiliser le service en ligne **Sketchfab** (www.sketchfab.com). Il faut pour cela faire un fichier .ZIP (archive compressée) contenant l'ensemble des fichiers (.OBJ, .MTL et .JPG) du modèle. Ce .ZIP sera ensuite envoyé au site Sketchfab.

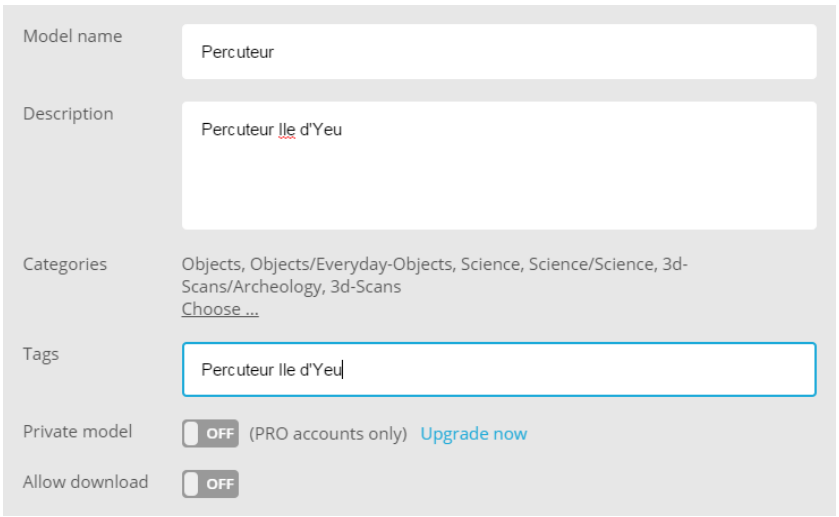


Après avoir fait son inscription, l'interface propose de faire un « Upload » d'un modèle :



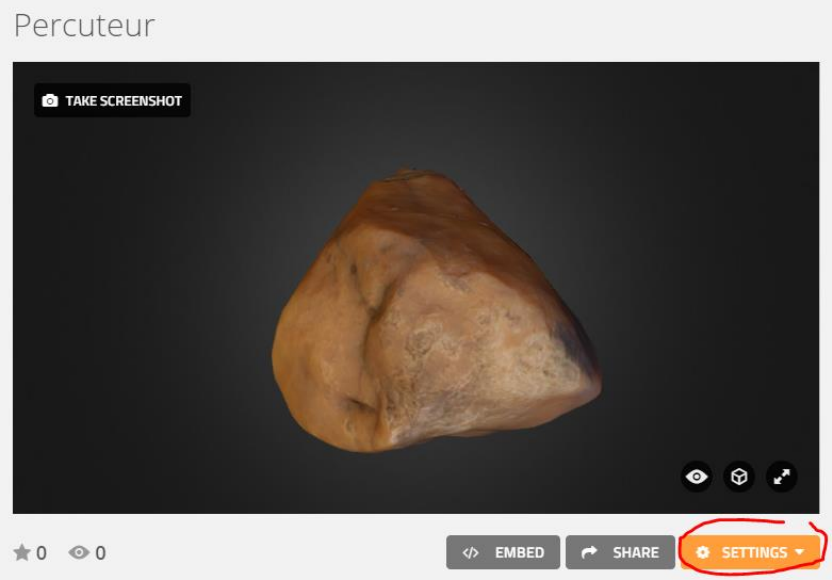
Il faut ensuite choisir son fichier, on prendra le format .ZIP préparé préalablement





Dans le cas contraire, le modèle n'aurait pas de texture, même s'il sera toujours possible de réparer cela ensuite. Pendant le chargement, on remplit le questionnaire :

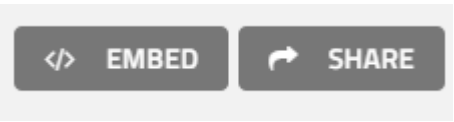
Ol va être possible de raffiner les réglages : en cliquant sur Settings/3D settings :



Il sera possible de définir une orientation privilégiée en travaillant sur l'orientation du modèle en X, Y ou Z puis en rotation (0°, 90°, 180°, etc…)

On peut ajouter un arrière-plan, jouer sur la texture et faire pas mal de réglages qui ne seront pas détaillés ici. Il est possible également d'ajouter des annotations qui attireront l'attention sur certains détails du modèle. Il faut ensuite « photographier la vue » - « Take ScreenShot » qui sera l'image visible en mode statique.

Le modèle est prêt à être publié sur un site : « Embed », il faut dès lors copier le code HTML et le coller sur sa page web, ou le publier sur les réseaux sociaux via le bouton « Share ».

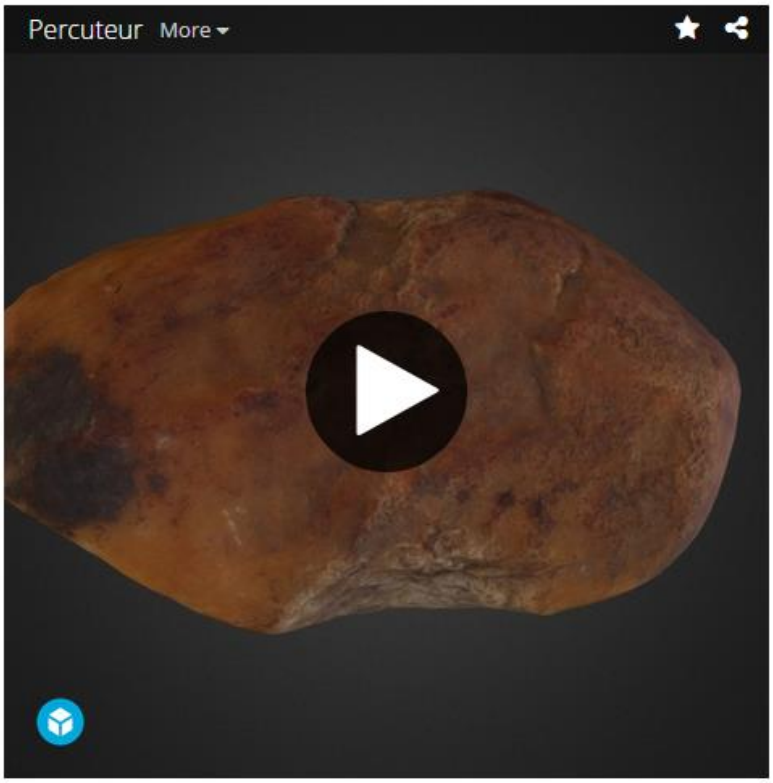


Sur FaceBook : Sur le Web

ARCHÉOLOGIE, CONCEPTION, MÉTHODOLOGIE, PHOTOMODÉLISATION

3D PHOTO-PERCUTEUR

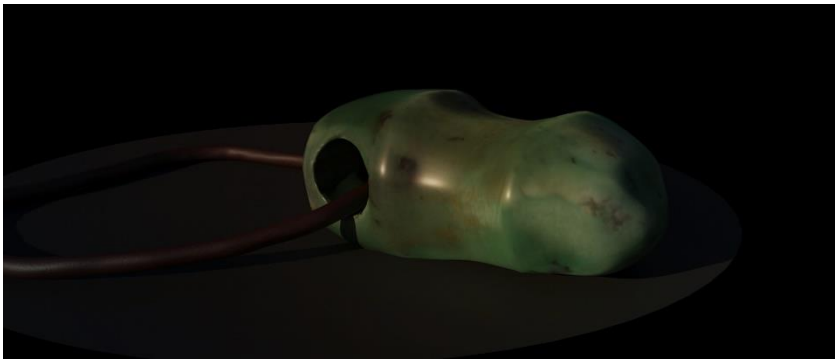
01/08/2015 LAURENT LESCOP LAISSER UN COMMENTAIRE MODIFIER



Percuteur by Laurent Lescop on Sketchfab

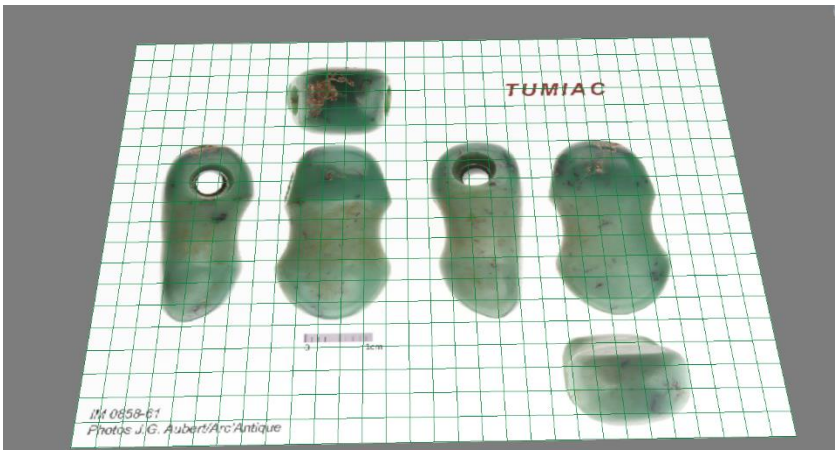
PERCUTEUR PHOTOMODÉLISATION

Création d'une pendeloque en variscite d'après photos.

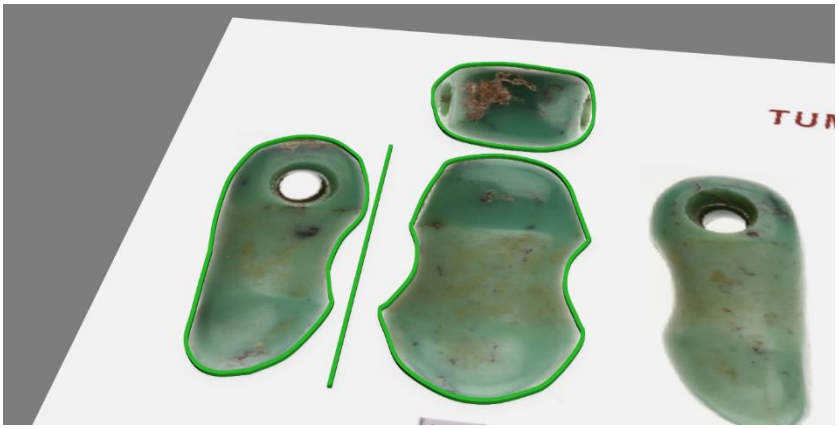


Modélisation

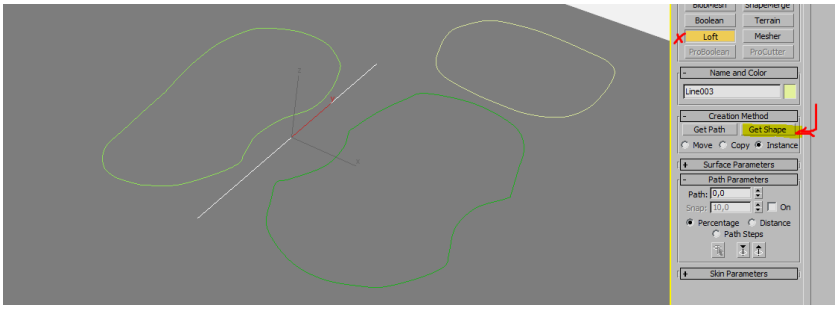
La photo est texturée sur un simple plan dont le maillage servira de repère pour la suite.



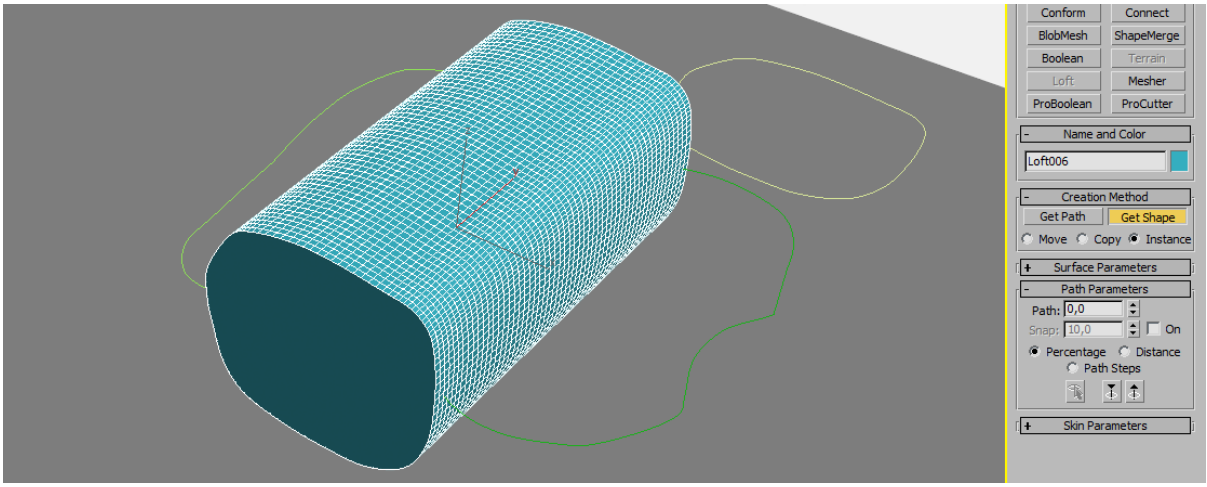
Il faut ensuite détourer le profil, la face et la coupe en travers avec une *spline*. Il faut ajouter également un segment dont la longueur sera celle de la pièce.



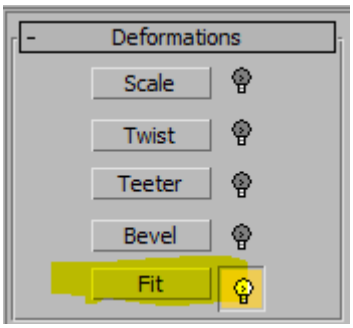
La fonction « Loft » va être utilisée pour constituer la 3D. Sélectionner le segment puis aller dans « *compound Objects / Loft* » puis activer la fonction « *Get Shape* » et sélectionner la coupe en travers.



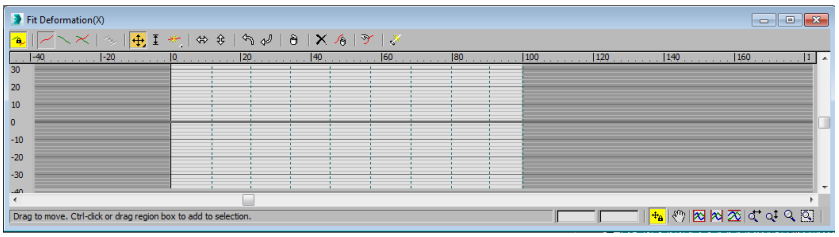
On obtient une forme extrudée.



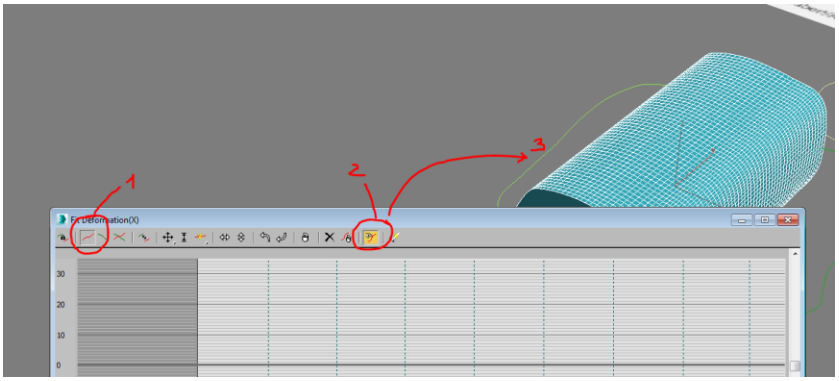
Aller dans l'onglet « *Modify* » pour accéder aux fonctions avancées du Loft. Choisir la fonction « *Deformations / Fit* ».



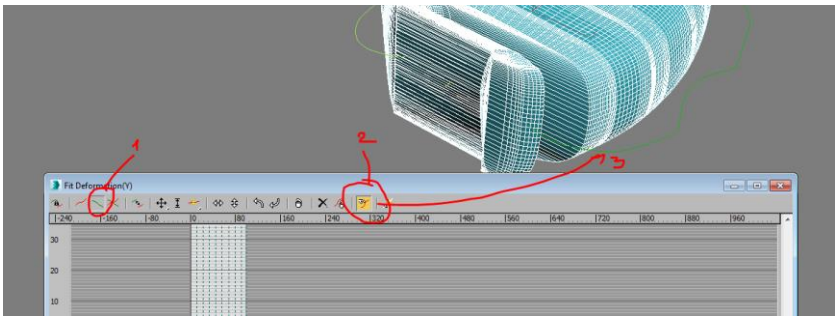
Une grille de déformation apparait avec laquelle il faudra travailler.



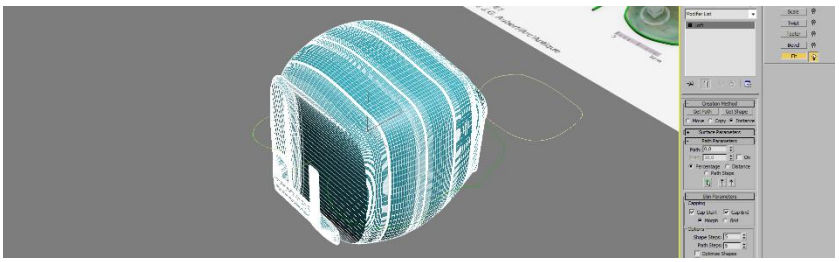
Décocher le verrou unifiant les deux plans de courbe . Saisir la première courbe et la placer dans le premier profil (le rouge).



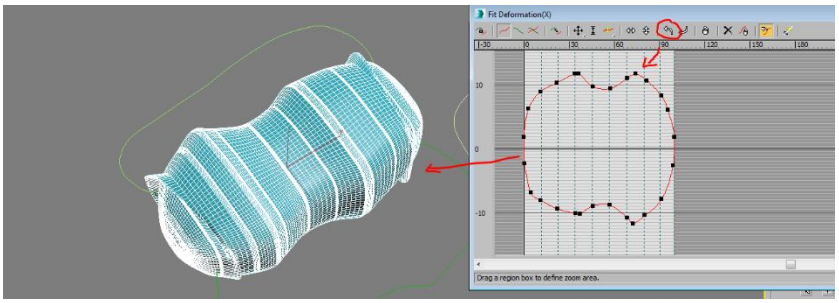
Faire la même chose avec le profil vert :



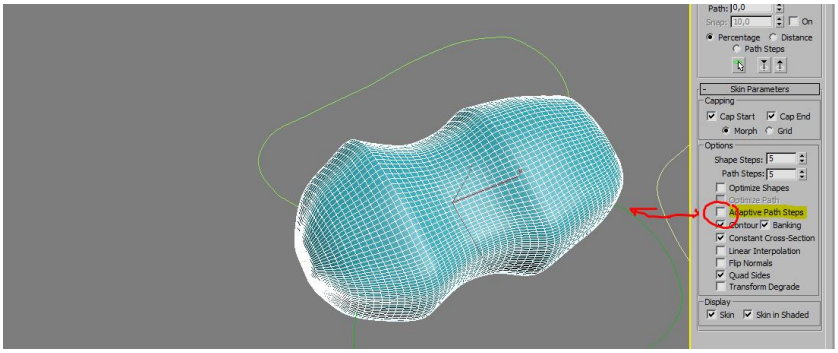
Les deux profils sont en place mais le modèle ne correspond pas.



Il faut effectuer une rotation des profils.



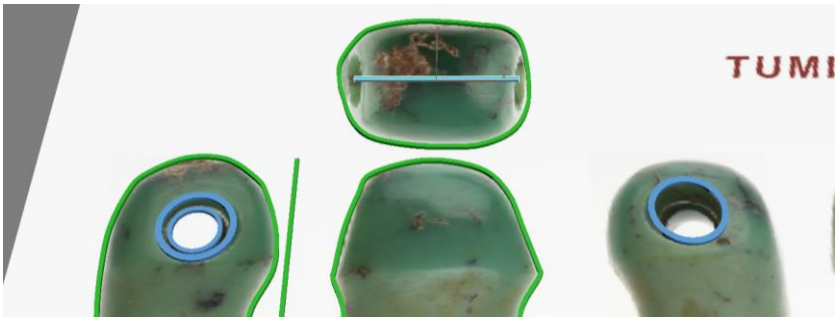
La forme est maintenant correcte, mais elle conserve des erreurs qui seront corrigées. Décocher « *Adaptative Path Steps* ».



La forme générale est finie, il faut maintenant la percer. Le plus simple sera de réaliser une opération booléenne que l'on trouvera dans l'onglet « *Creation / Compound Objects* ».

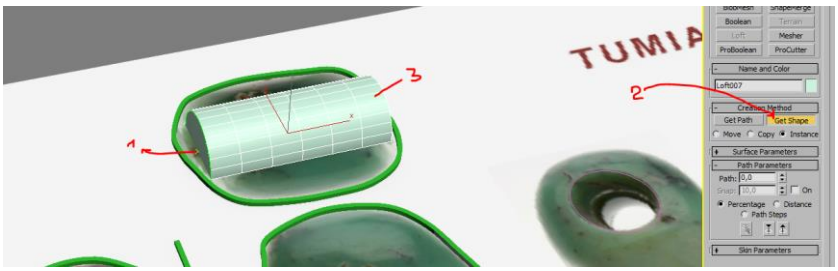
Dans un premier temps il faut créer la forme à enlever.

Comme le percement est légèrement désaxé, l'on va dessiner des cercles correspond aux percements à la surface de l'objet puis en son centre, soit 3 cercles. La fonction « *Loft* » permettra de lier ces trois cercles en une seule forme.

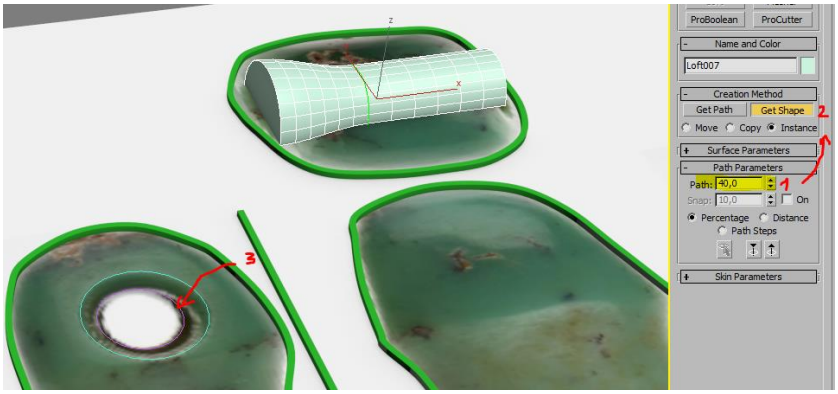


Il faut donc ajouter un serment figurant l'axe du percement.

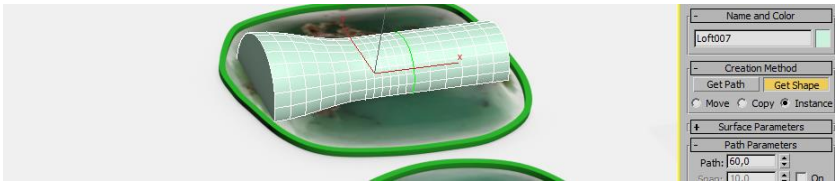
Le premier mouvement ressemble à ce qui vient d'être effectué. Sélectionner le segment puis « *Get Shape* » et sélectionner l'un des cercles.



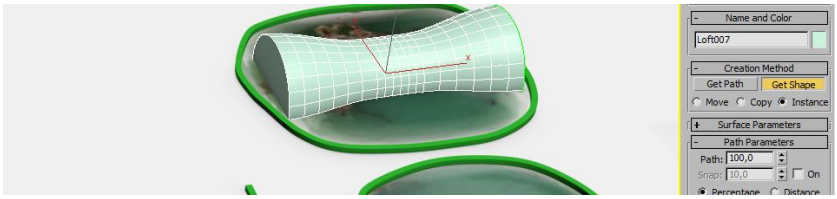
Pour continuer de sculpter la forme, il faut aller dans « Path » et choisir la partie pratiquement médiane soit 40% et aller dans « *Get Shape* » et choisir le cercle correspondant au centre de l'objet.



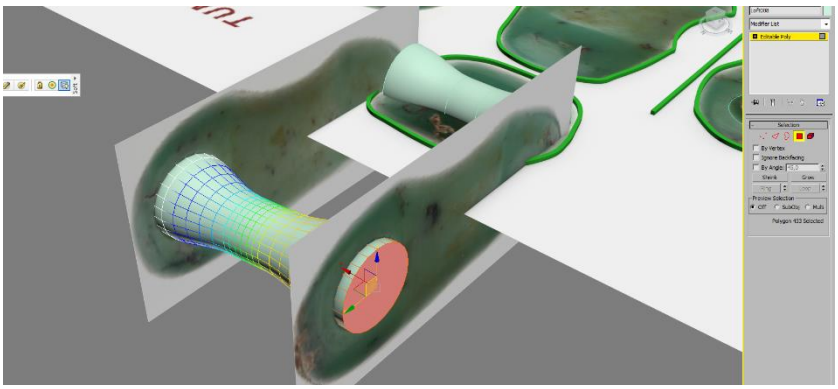
Renouveler l'opération en montant à 60% et reprendre le même cercle.



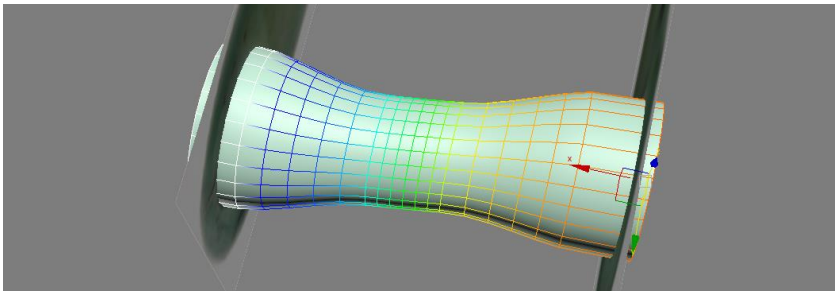
Terminer en prenant le dernier cercle monté à 100%.



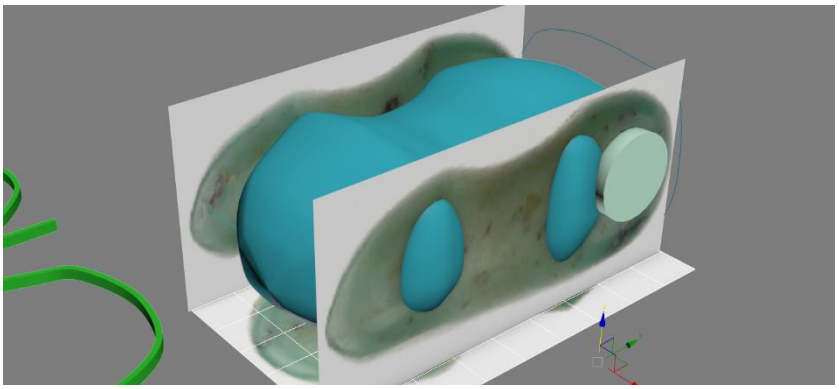
Il faut maintenant lisser et positionner cette forme. Le plus pour cela est de placer les plans de projection en correspondance l'un par rapport à l'autre. Le « percement » (transformé en Polygone) modélisé en positif est placé dans la bonne position puis on utilise une déformation adoucie « *Soft Selection* » pour placer correctement la pièce.



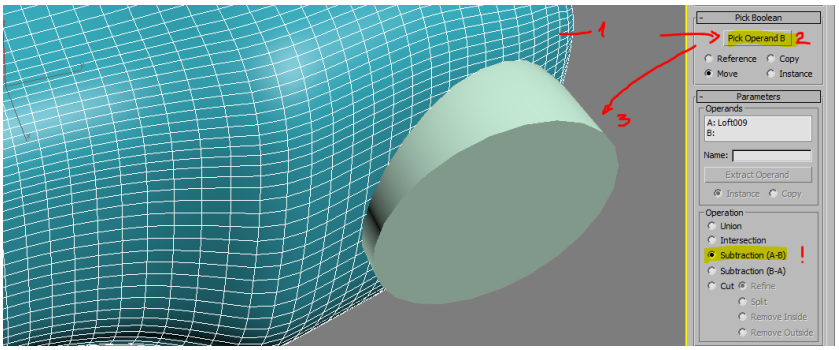
Vu d'un autre angle, on voit que le percement connait une dérive importante.



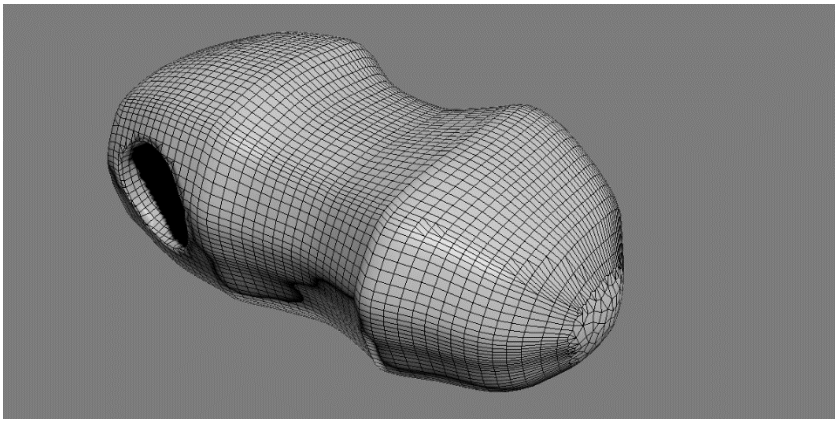
Il faut maintenant replacer la pendeloque. On peut s'aider des plans de projection pour vérifier les positions.



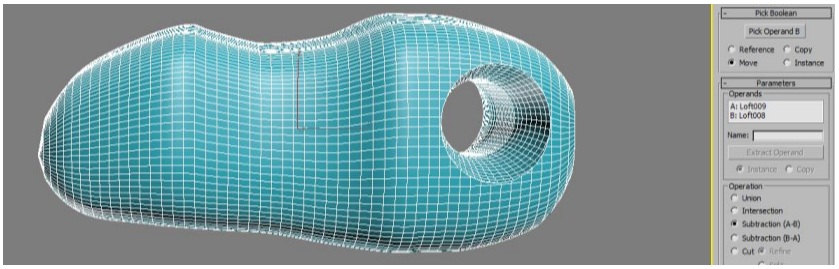
On applique maintenant l'opération booléenne. Il est fortement conseillé de créer des copies des objets avant chaque étape. Sélectionner la pendeloque, aller dans « *Boolean* » et cliquer dans « *Pick Operand B* » puis choisir le percement. Vérifier que l'on est bien dans une opération de « *Substraction (A-B)* ».



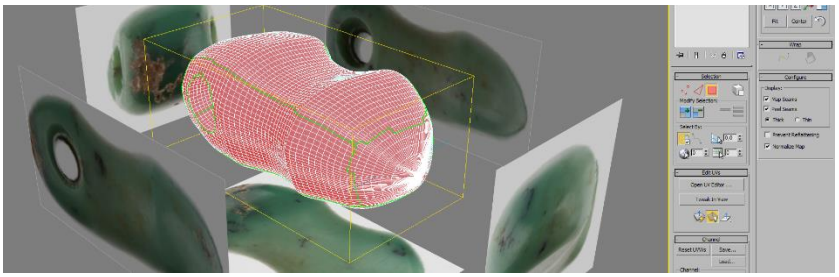
Le résultat se présente ainsi. La géométrie est terminée.



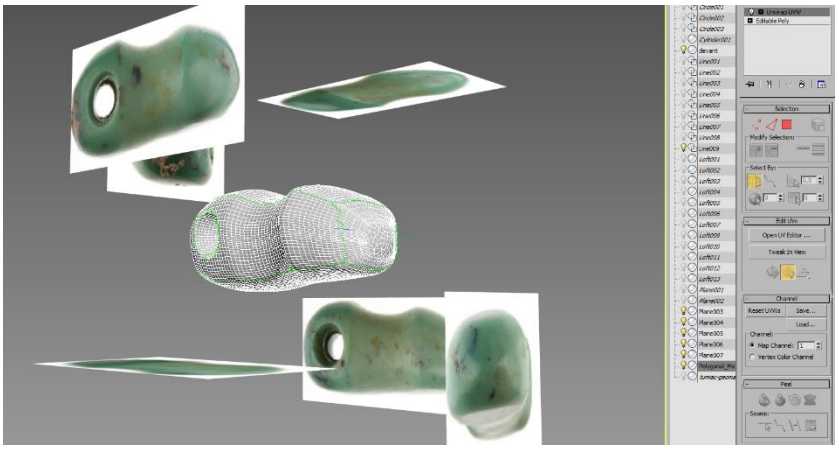
Texturing

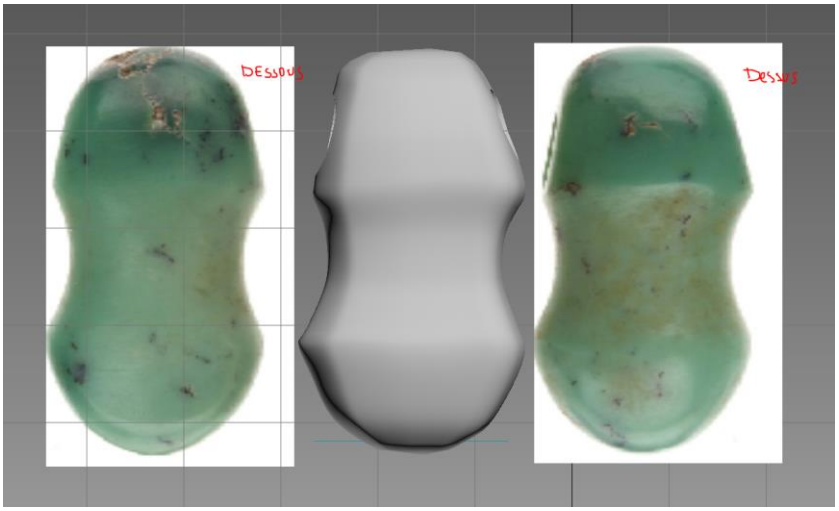


Il faut maintenant projeter les textures sur l'objet. Pour cela il existera plusieurs techniques plus ou moins facile à mettre en œuvre. La première d'entre elle permet de rester dans 3Ds . Il faut commencer par déplier les UVW en ajoutant un modificateur « *UVW Unwrap* ».

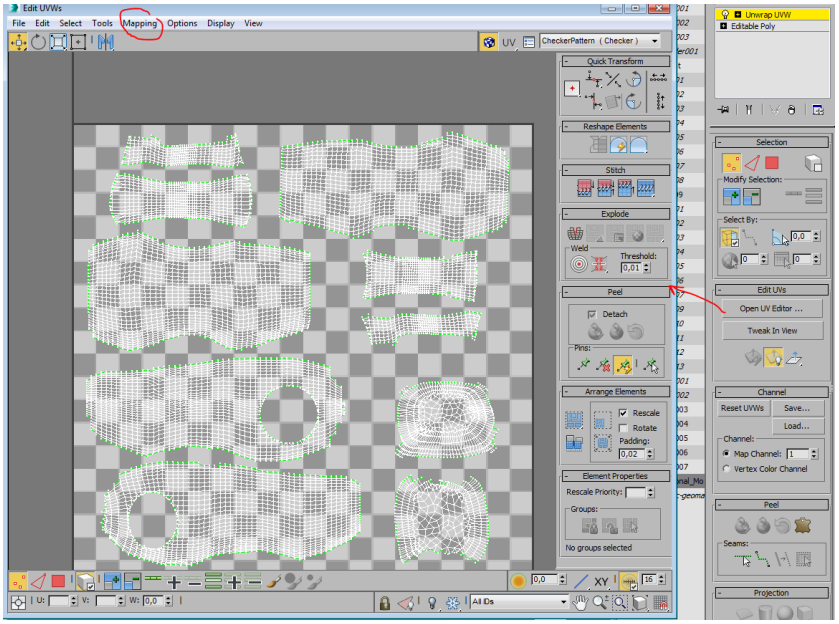


Les vues en références sont placées tout atour du modèle en correspondance, puis translatées afin d'avoir la vue image à côté du modèle à texturer.

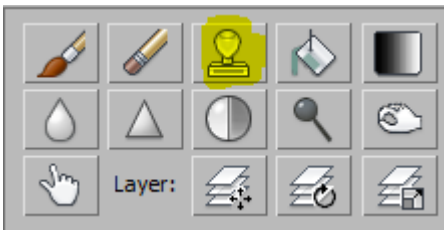




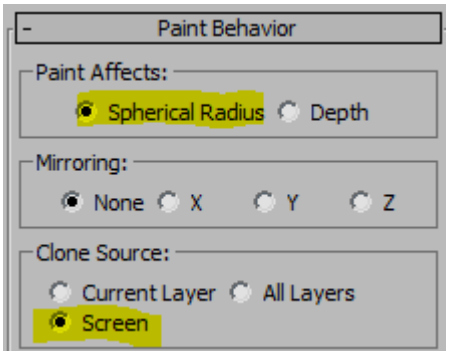
Le dépliage se fait en *« Flatten Mapping »* avec une valeur de 55° afin d'évité l'émiettement des UVW. Une réorganisation des objets dépliés peut aider à gagner en ratio polygone/pixel.



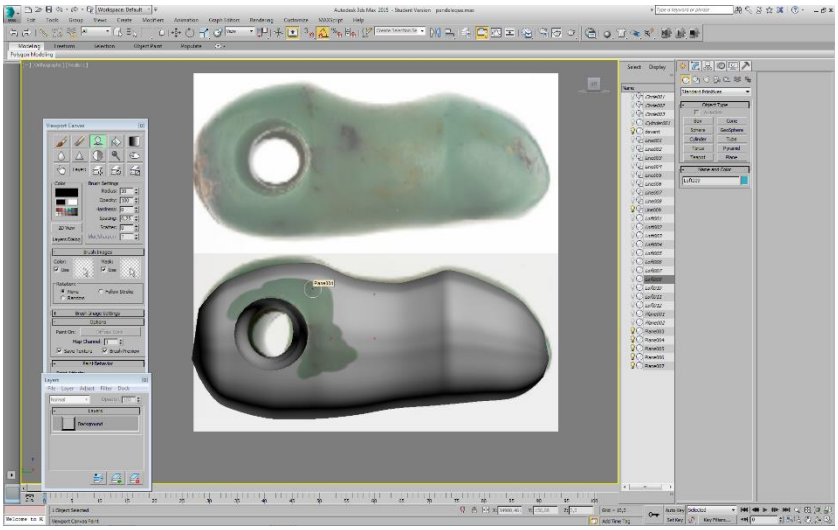
Il faut activer ensuite la fonction « *Viewport Canvas* » et dans ce cas activer l'outil « Clone »



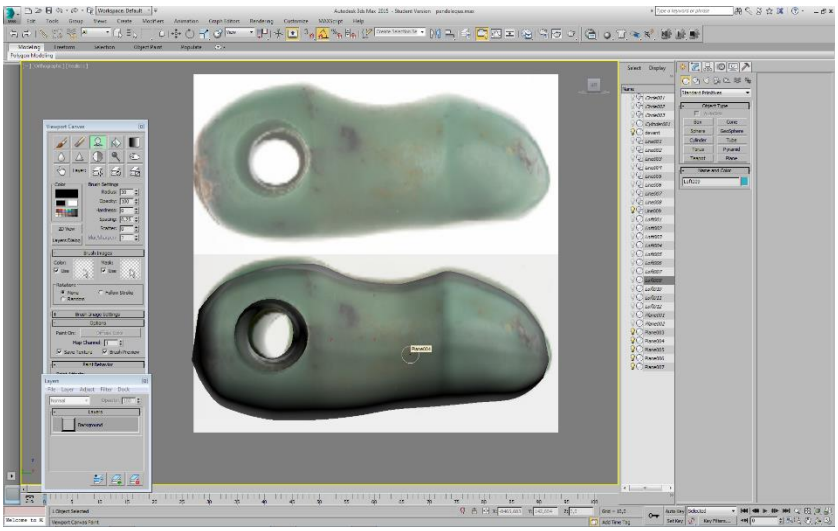
Il faudra bien faire attention de dans le *« Paint Behavious »* de choisir « *Screen* » comme « *Clone Source* » pour que le transfert des pixels fonctionne.



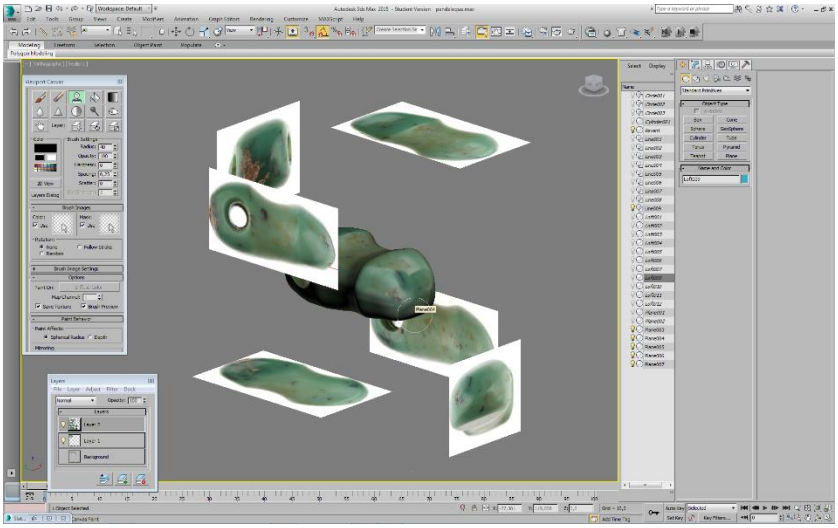
Il faut pointer le point de démarrage en appuyant sur la touche « ALT » sur la photo d'origine, puis peindre directement sur la 3D.



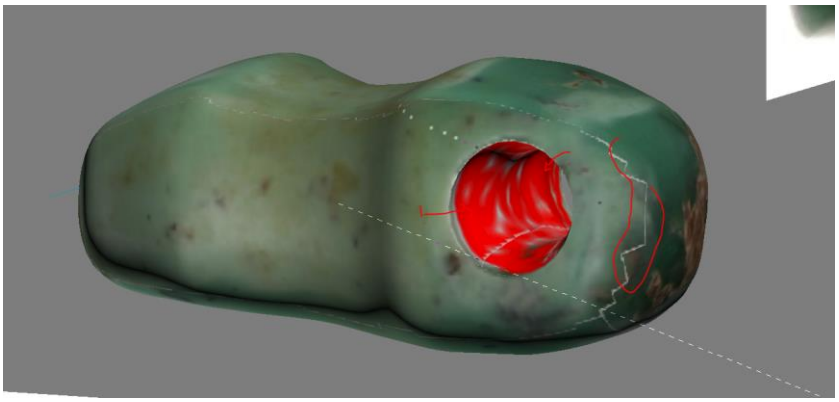
La photo étant en perspective et le modèle en élévation, il faut reprendre des positions pour la projection corresponde bien.



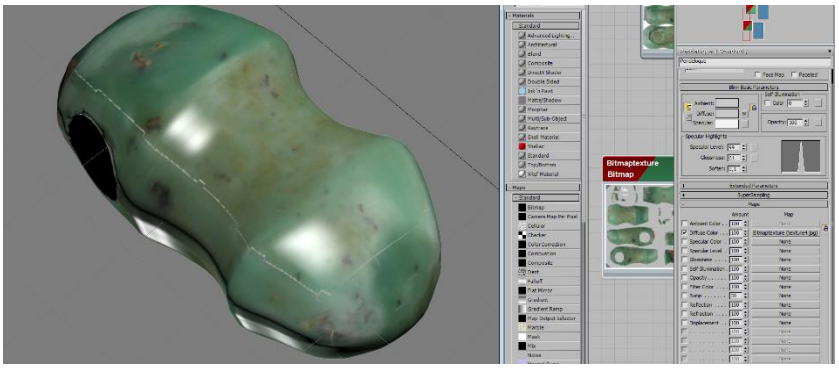
Une fois terminé, on change de côté et ainsi de suite.



L'intérieur des percements étant difficile à reprendre, il peut être signalé d'une autre couleur et repris dans un logiciel de dessin tel que Photoshop.

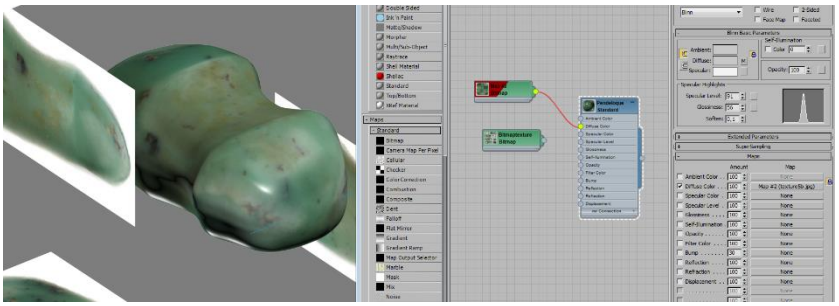


Une fois les faces terminées, on peut constater une ligne de pixels venant signaler la jointure des UVW. Il faudra corriger cela en reprenant la texture.



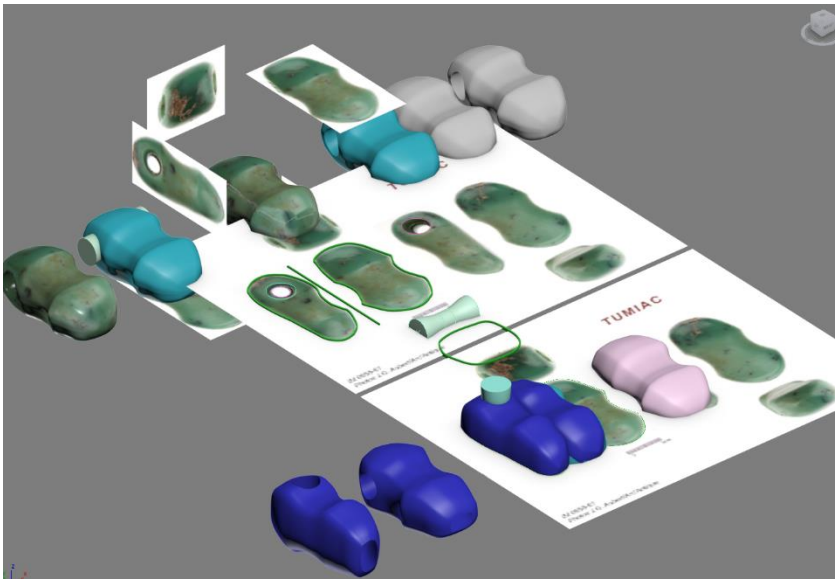
Une des solutions consiste à étendre d'un pixel la bordure de chaque élément graphique. Cela doit être fait sur une copie de la texture afin d'éviter tout incident.

Cette fois-ci le modèle est parfait. Il peut être rendu ou exploité en 3D. On ajoute à la texture des informations spéculaires afin de retrouver le brillant d'origine.



Ici dans SketchFab.

Voici le tableau synoptique de l'ensemble des étapes rendant compte de la mise au point graduelle.



Et la comparaison photo et modèle.

TUMIAC
0
1cm
IM 0858-61
Photos J.G. Aubert/Arc'Antique

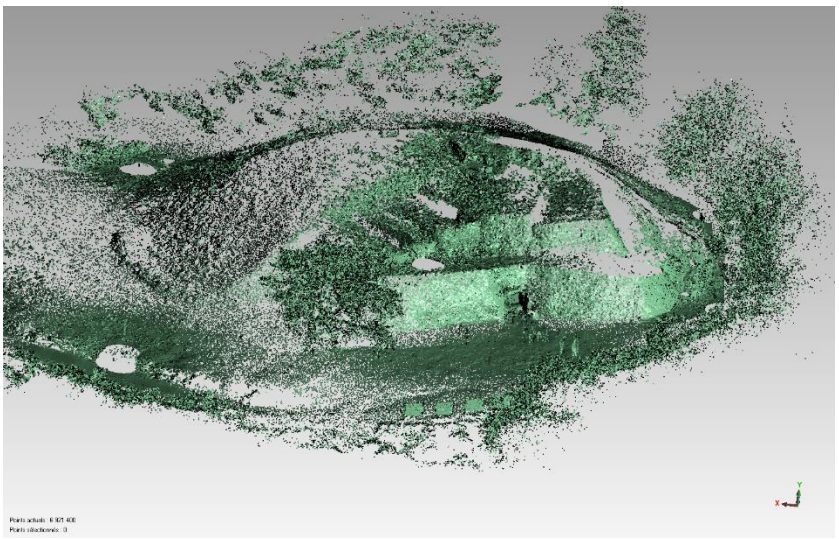
IM 0858-61 Aubert/Arc'Antique
Photos J.G.

Calcul du volume de Gavrinis.

Le scan complet du cairn de Gavrinis permet d'obtenir toutes les informations géométriques indispensables à son étude complète. Le volume total du cairn en est une.

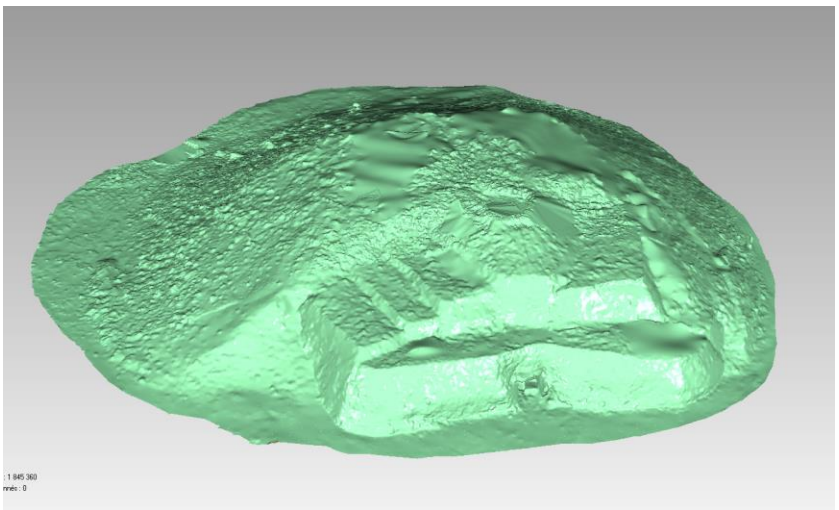
Méthodologie.

Dans un premier temps, le nuage de point est nettoyé de toutes les informations parasitaires au calcul du volume, à savoir la végétation, les fantômes des opérateurs, etc… L'illustration ci-dessous montre un extrait du scan avant traitement.



Après avoir nettoyé les points, illustration 2, le volume du cairn est limité à son contact avec le sol moyen. Le changement de pente favorise l'établissement d'une frontière entre le sol et le début de pente.

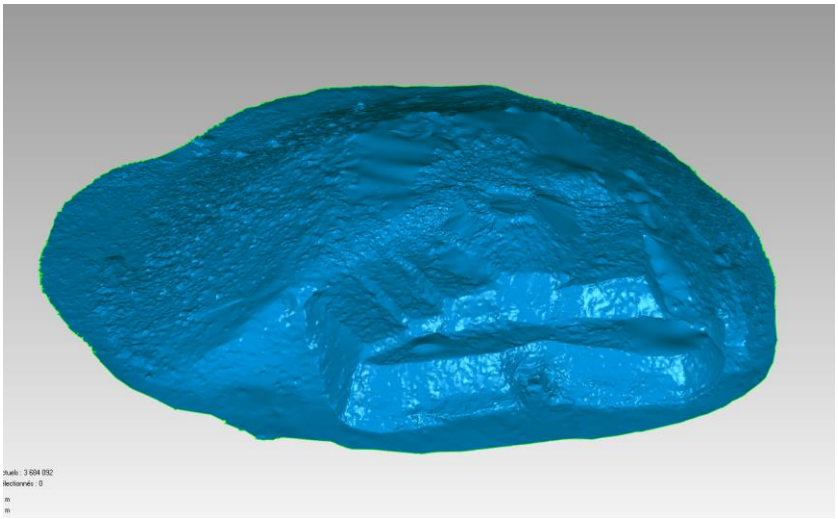
Illustration 1



L'échantillon est ici de 1 845 360 points.

Le nuage de points est ensuite maillé, rendant ainsi un volume comprenant 3 684 092 faces, (illustration 3).

Illustration 2



Pour calculer le volume, il n'est pas nécessaire de disposer d'une telle précision. Afin d'augmenter la vitesse de traitement des opérations de calcul, une décimation à 10% est opérée.

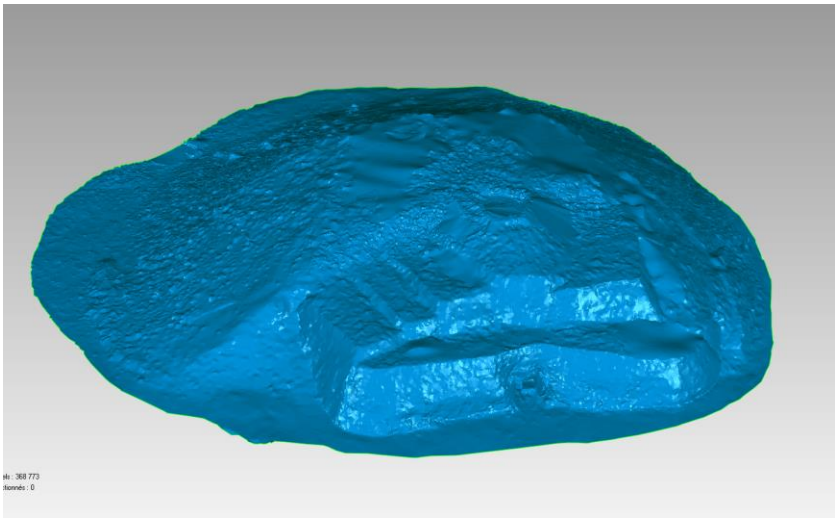
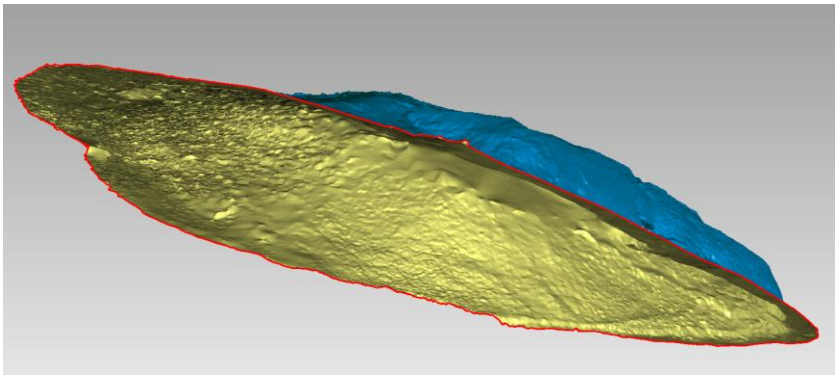


Illustration 3

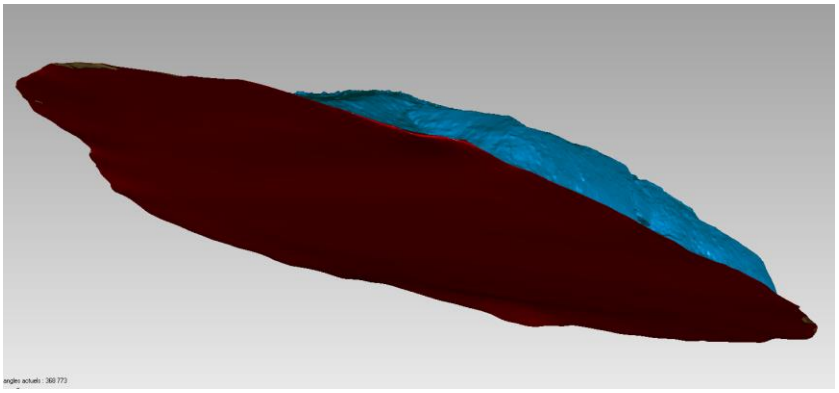
Le volume ne compte dès lors que 368 773 faces, (illustration 4). Il est à noter que le calcul de la boite englobante est donné en temps réel livrant ainsi les grandes dimensions du cairn, ici 56m par 49m pour 9m de haut.

Illustration 4

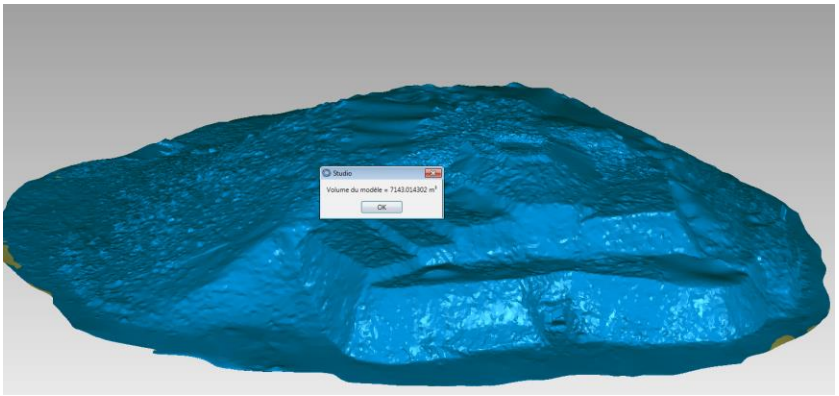
Pour calculer le volume, il faut que le maillage soit fermé, le maillage précédemment constitué ne fabriquant qu'une coque creuse, comme le montre l'illustration 5.



Un « fond » est donc calculé.



Il ne reste plus dès lors qu'à activer la fonction de calcul du logiciel.



On obtient donc un volume d'environ 7000m3. Le calcul prend en compte le cairn comme un volume plein, dans le détail, il faudrait soustraire le volume du couloir. Toutefois, les proportions de l'un par rapport à l'autre, ne modifierait guère l'appréciation générale des dimensions du site.

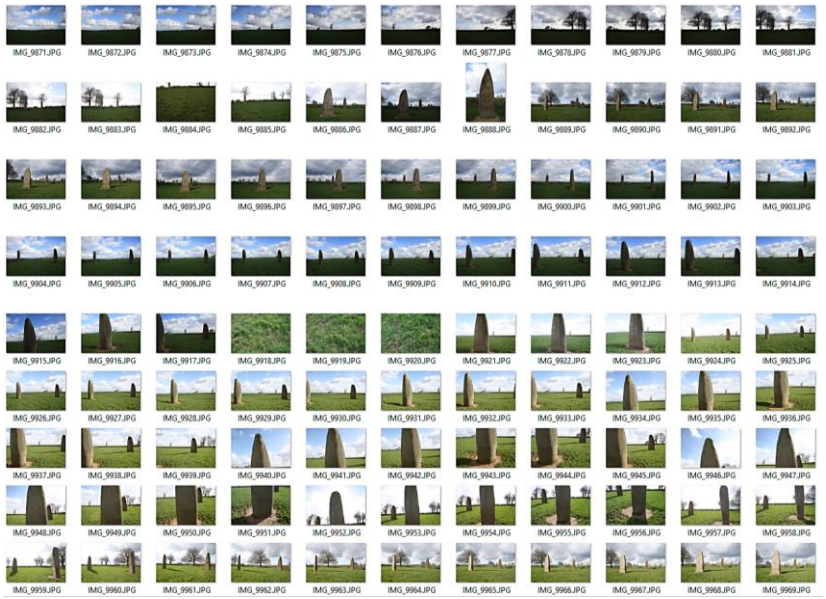
Photomodélisation et temps réel

La question est ici de n'utiliser que la photomodélisation pour réaliser une visite interactive d'un site et de pouvoir ajouter des informations directement dans la 3D.

Le projet utilise Photoscan[458] pour la photomodélisation, 3DsMax[459] pour la mise en place des volumes et Unity[460] pour le temps réel.

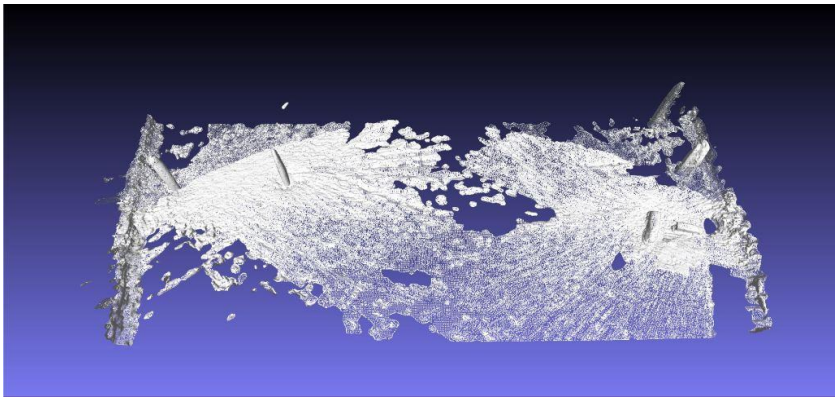
Le site choisi est le site des menhirs de Couches à Epoigny en Bourgogne.

La prise de mesures a été faite assez sommairement sur place, du fait des grandes distances qui séparent chacun des objets. Il est toutefois possible, sur le site de l'IGN[461], de coter avec une certaine précision. En croisant cette information et celle du relevé 3D, on arrive à vérifier les échelles et obtenir une géométrie relativement conforme, sans toutefois avoir la précision d'un vrai relevé de géomètre.

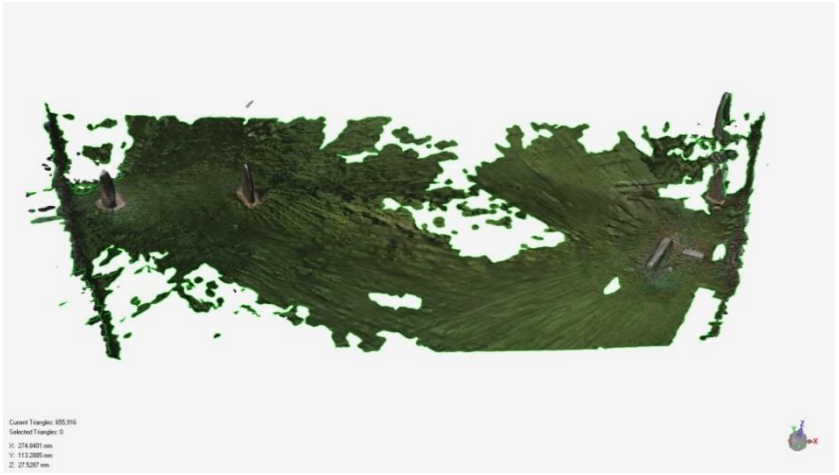


[458] http://www.agisoft.com/
[459] http://www.autodesk.fr/products/3ds-max/overview
[460] https://unity3d.com/
[461] http://www.geoportail.gouv.fr/accueil

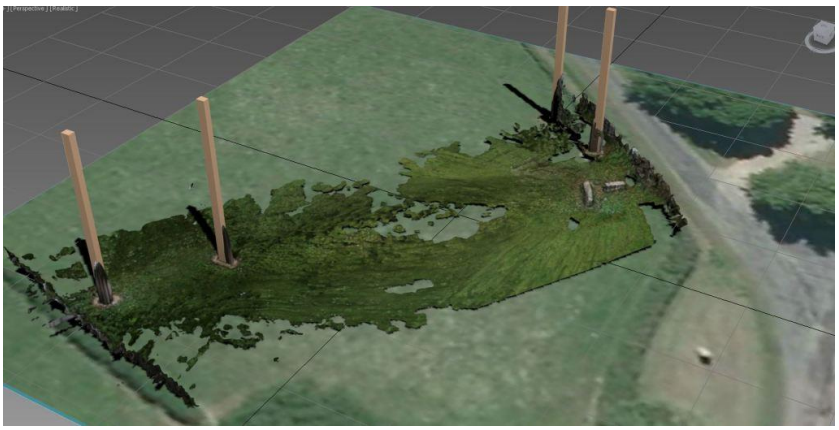
Le nuage de points obtenu de la photomodélisation décrit bien les menhirs, mais les irrégularités du terrain forment des trous importants.



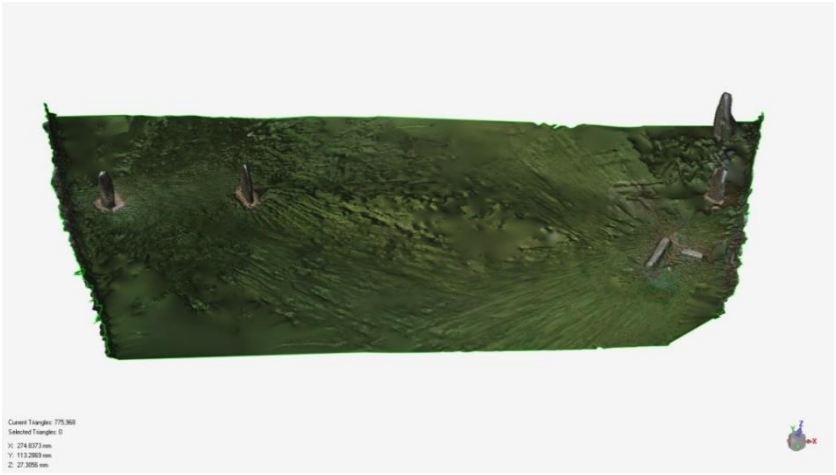
Ces trous n'empêchent pas le maillage d'être créé, il n'y a pas d'informations importantes sur le terrain, seul compte de retrouver le modelé général.



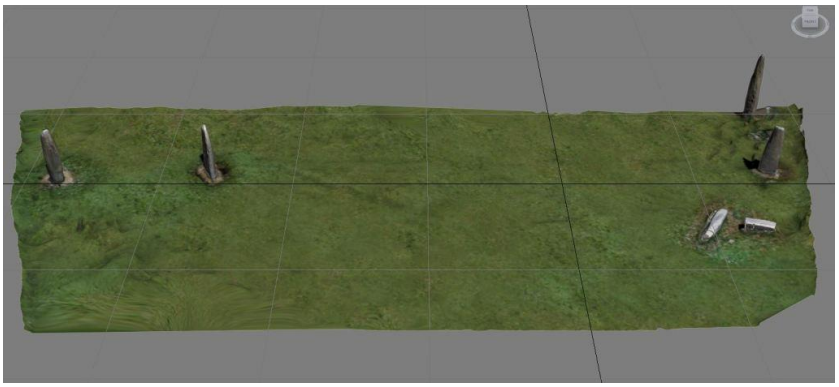
Des points de repère sont modelés (les grands poteaux verticaux) permettant de vérifier le bon positionnement des menhirs par rapport à la photo aérienne. Dans notre cas, il n'y a pas de déformations ou d'erreurs de proportions.



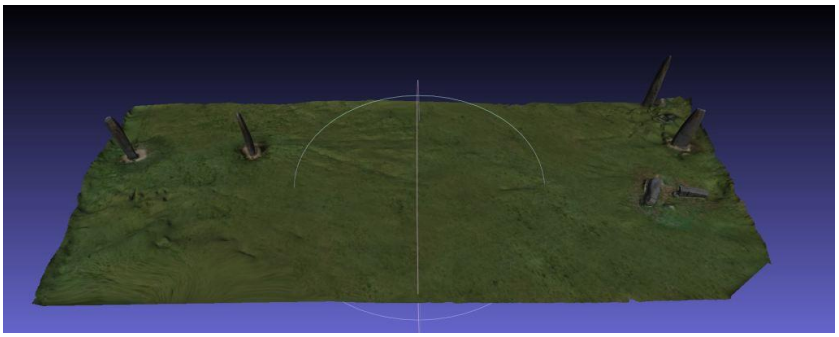
Le terrain est "réparé", les parties manquantes sont comblées avec de nouveaux maillages extrapolés depuis ceux existant.



La texture du sol est nettoyée et complétée dans un logiciel de dessin 2D comme PhotoShop[462] ou Gimp[463].



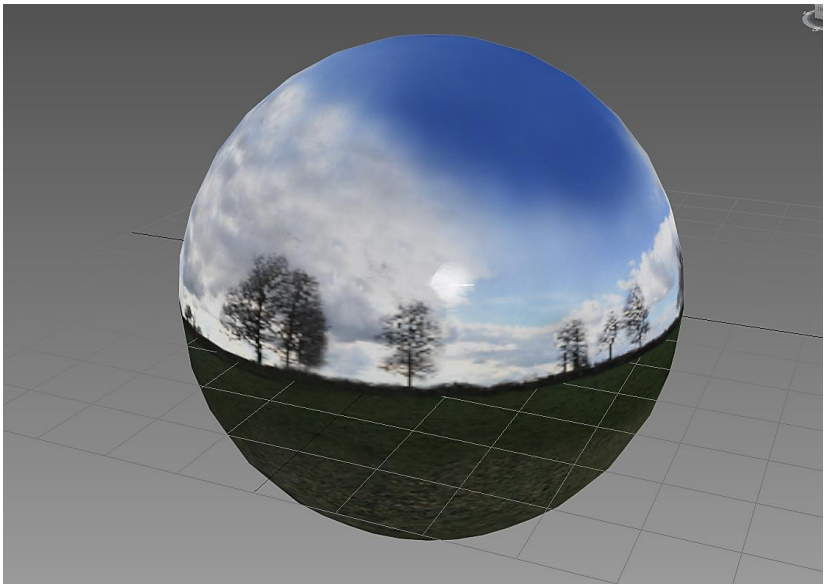
La première version du terrain avec les menhirs est terminée.



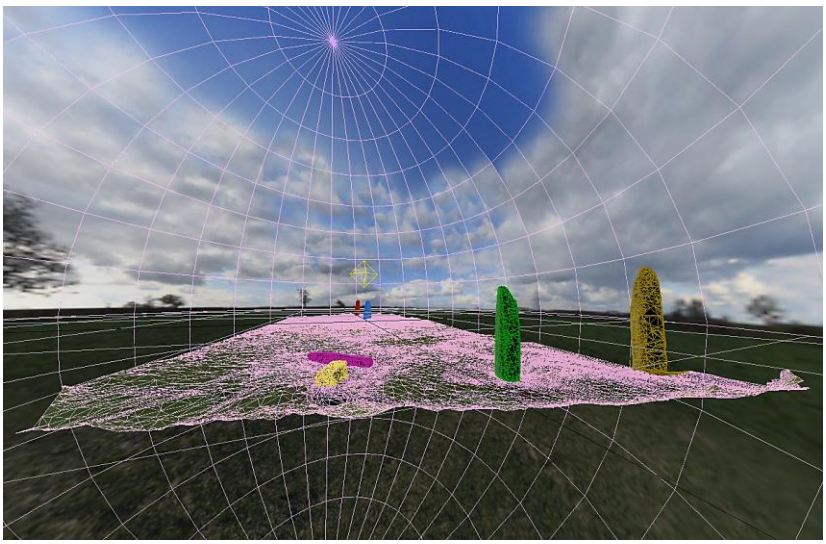
Il faut ensuite reproduire l'environnement et faire en sorte que le modèle 3D se fonde parfaitement dans une photographie sphérique et ce, sans rupture. La méthode employée est celle issue du cinéma et des jeux vidéo, c'est la sphère d'environnement.

A partir d'une photographie sphérique prise sur place, une sphère 3D est construite à laquelle est appliquée la photo sphérique comme texture :

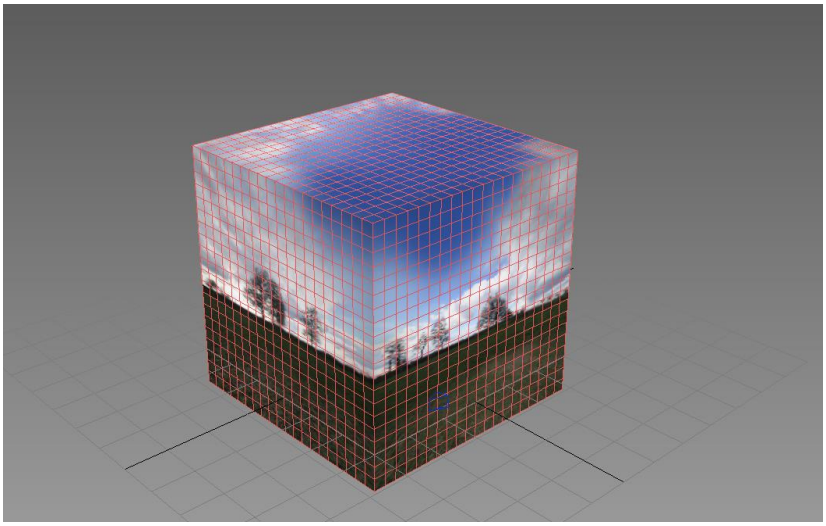
[462] http://www.adobe.com/fr/products/photoshop.html
[463] http://www.gimp.org/



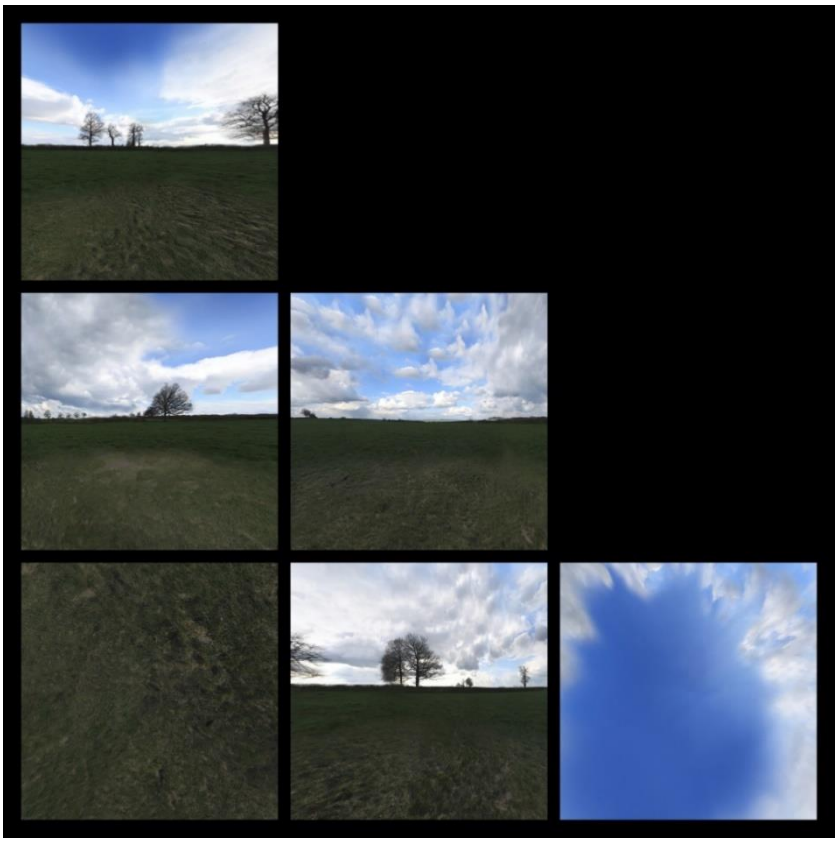
Vue de l'intérieur :



La sphère est transformée en cube afin de pouvoir extraire la texture de chaque face :

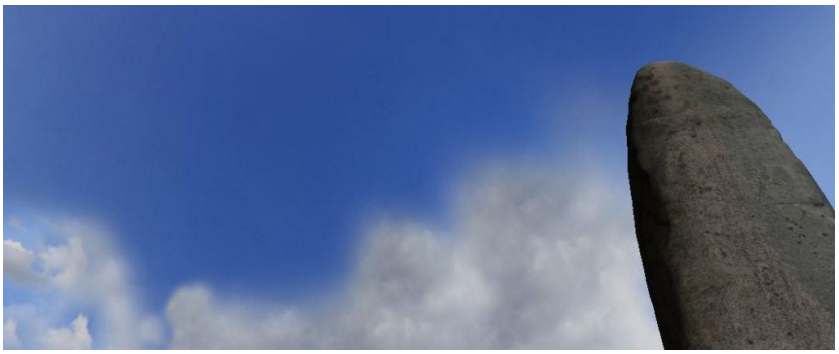


Car, c'est ce type de texture qu'exploite le rendu en temps réel.



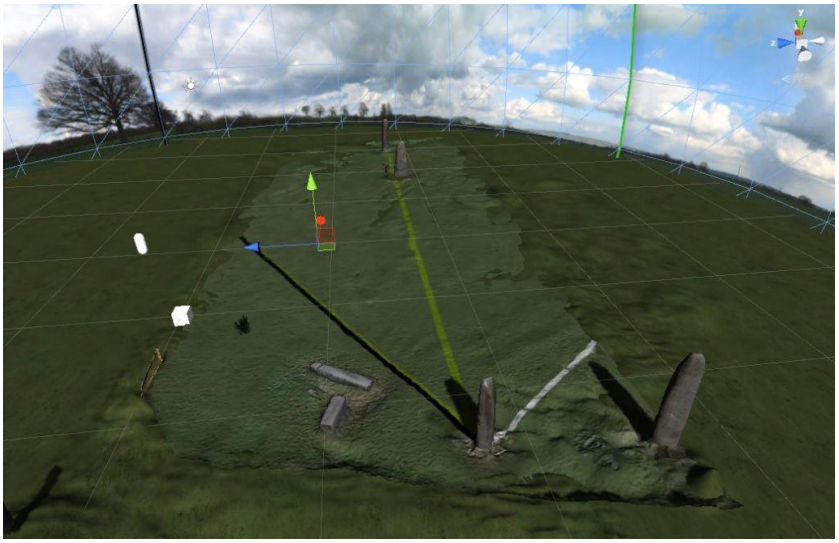
Il faut ensuite ajuster les raccords et la colorimétrie du sol afin que la 3D du sol se raccorde parfaitement avec la photo sphérique.

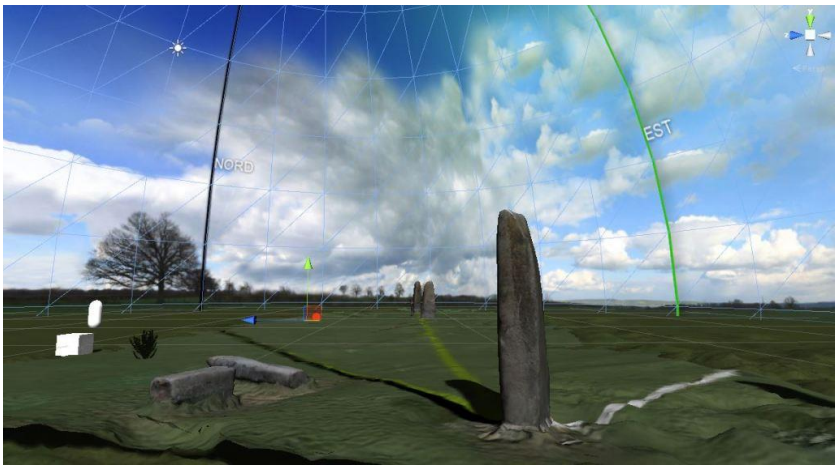
Il faut aussi nettoyer des détails de géométrie qui restent.



Cette fois, les raccords sont parfaits. Le fichier 3D est exporté dans Unity, les personnages sont ajoutés afin de donner l'échelle.

On peut ensuite créer des textures spécifiques qui viendront ajouter de l'information au modèle de base. Par exemple, les orientations.





L'utilisateur pourra, d'un simple clic sur un objet repère, modifier le ciel pour faire apparaitre les indications Nord/Sud/Est/Ouest.

Des arbres en 3D sont conçus spécialement pour pouvoir fondre le second plan en 3D avec l'arrière-plan en 2D. Les arbres sont de fait, contre la sphère.

En ajoutant un peu d'effets atmosphériques, la fusion est encore meilleure.

Il est possible de travailler ensuite sur le type de rendu. Ici, un rendu type BD, plus graphique.

Le ciel est alors modifié pour ressembler davantage à une aquarelle.

Les haies sont également reconstituées pour limiter le parcours de l'utilisateur. Il ne faut pas pouvoir s'approcher de la sphère d'environnement car cela révèlerait l'astuce concernant la

prolongation du décor. Les haies sont texturées avec des échantillons de la photo d'origine. La fusion est donc indétectable.

Le fichier est assez léger pour pouvoir fonctionner en temps réel sur un téléphone, une page web et à fortiori, un ordinateur ou une console de jeu.

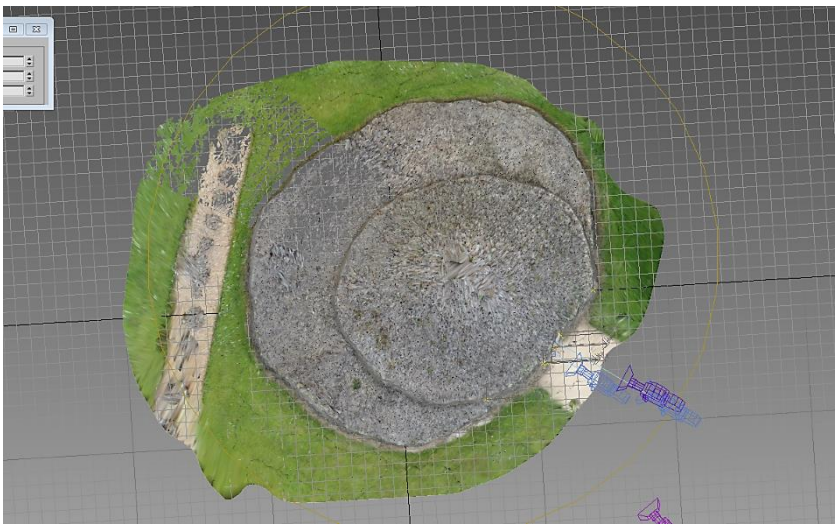
Replacement de documents anciens dans une géométrie 3D

Il peut être intéressant de travailler en 3D d'après des archives graphiques dont on ne maitrise pas toujours l'origine. Cela peut avoir plusieurs usages, superposer des vues avant/après, replacer dans l'espace des points de vue alors que l'environnement a changé, construire une photomodélisation d'une collection de photos ou encore projeter un état antérieur sur un état présent. D'autres usages sont encore à déterminer.

Si les documents à utiliser sont au format numérique, l'opération peut être assez simple et passer par un logiciel de photogrammétrie. Les géométries anciennes et nouvelles peuvent être assemblées par points homologues. Si les documents sont partiellement transformés ou très anciens, il faut procéder autrement.

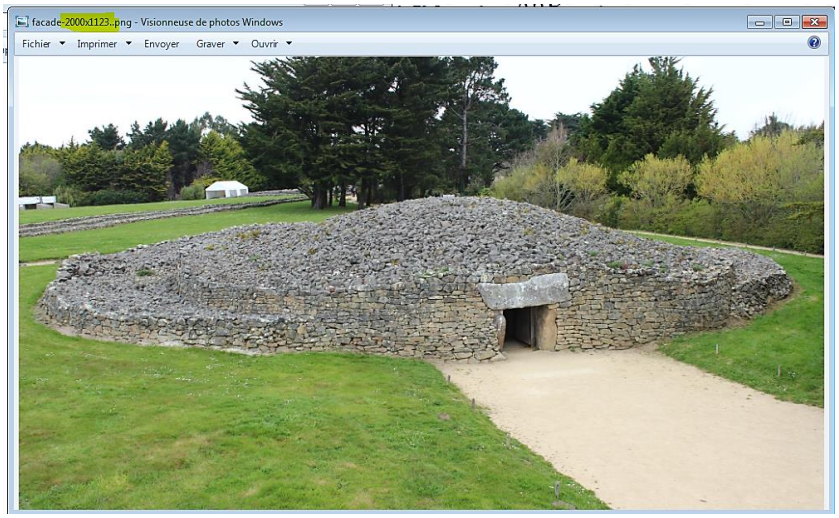
La technique la plus fiable, même si elle reste fastidieuse, est celle qui consiste à désigner sur le modèle puis sur la photo, les points homologues. C'est un procédé assez ancien qui a précédé les opérations automatisées des logiciels récents de photomodélisation. 3Dsmax possède les outils qui permettent de le faire, d'autres outils comme Blender, ont des protocoles assez proches.

Dans un premier temps, un test est réalisé sur une vue ayant servi à la photomodélisation de l'architecture. Il s'agit de vérifier dans un premier temps que l'on peut retrouver la position parfaite, puisque les documents sont cohérents.

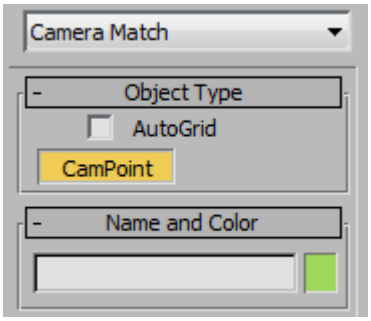


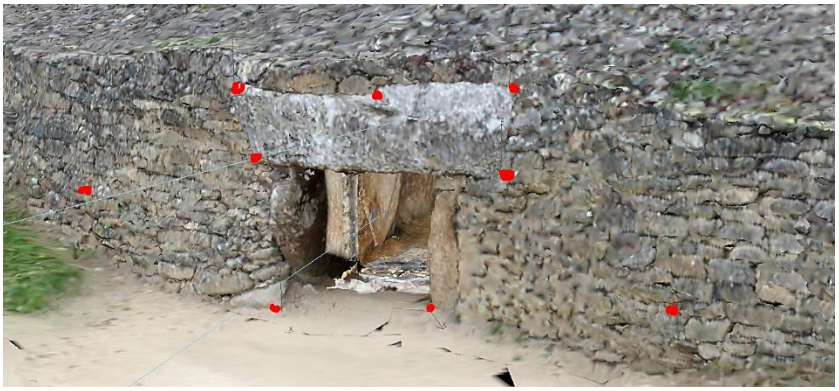
Le modèle 3D est chargé, la photo devant servir pour le calage est ramenée dans un format plus léger 2000x1123, une résolution plus

grande n'est pas nécessaire.



Avec la fonction « Camera Match » les points de corrélation sont positionnés sur la géométrie :



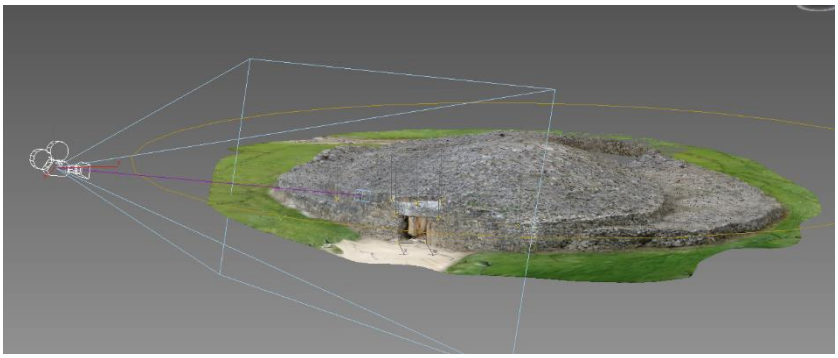


Puis les correspondances sont définies toujours avec la fonction « Camera Match »

Une fois fait, il faut créer une caméra et le modèle est positionné dans la perspective de la photo.

La superposition est parfaite, ce qui permet de retrouver la position de la caméra au moment de la prise de vue.

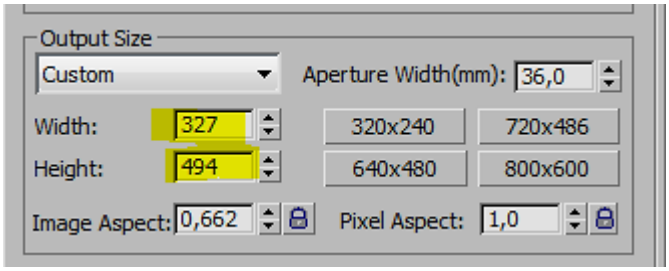
En semi transparence :



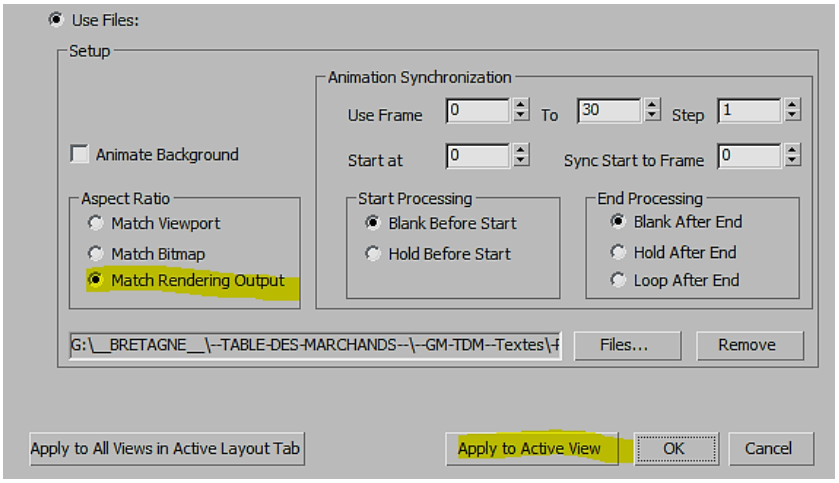
Dans cette seconde vérification, la photo est extraite du rapport au format PDF « Autour de la Table ». Les images sont

vraisemblablement recadrées et ont perdu toutes informations concernant la prise de vue.

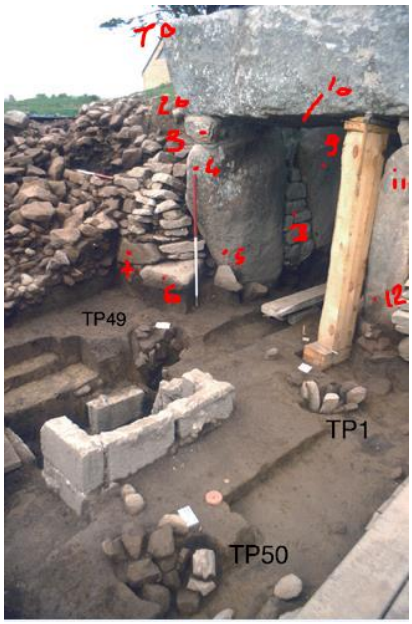
La photo au format 327x494 est placée en fond d'écran. Et les paramètres de rendu sont réglés dans les mêmes proportions.



L'image en fond d'écran est paramétrée de telle façon que son affichage correspondra aux proportions du rendu. Cela afin d'éviter toute déformation.



On détermine la position des points, il faut être précis car il n'y aura plus d'indications ensuite.



Une fois le choix fait, il faut placer les repères sur le modèle géométrique.

(On remarque qu'il manque une pierre sous le linteau, sur la photo à gauche.)

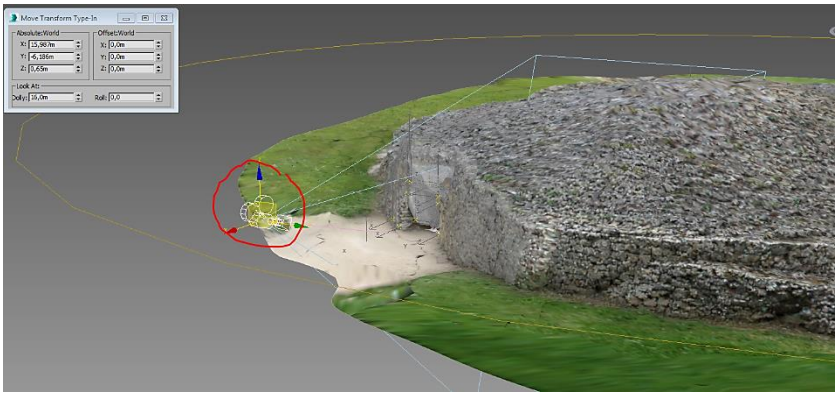
La texture étant montrée en basse définition, le jeu reste périlleux.

Il faut ensuite positionner sur la photo placée en fond d'écran, la correspondance de chaque repère.

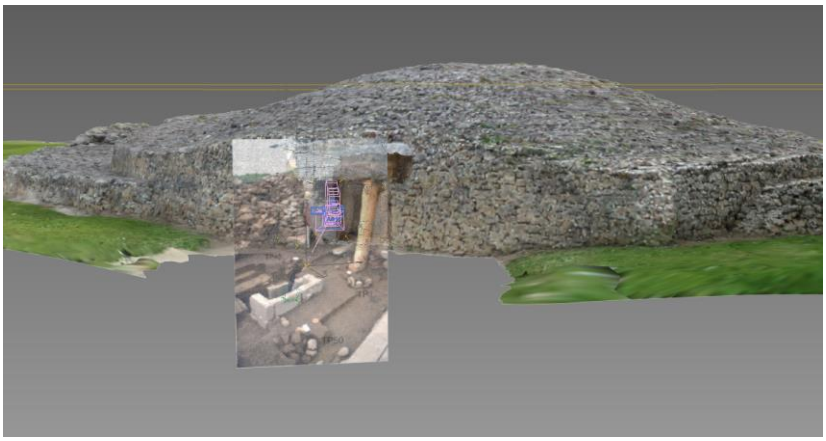
Une fois l'opération terminée, il faut créer une caméra. Si le modèle se positionne bien, c'est gagner, sinon, il faut repenser la position des points, il est important qu'il y ait des angles.

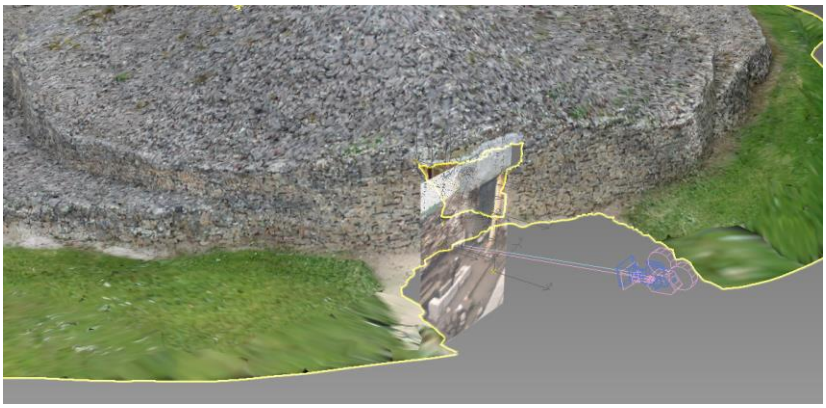
La vue est recalée, vérification en transparence :

On peut dès lors déterminer la position du photographe et, par extention, le réglage de son appareil au moment de la prise de vue. Mais dans cet exemple, le document est tellement modifié, que les erreurs sont probables :



En multipliant les exemples sur une campagne de fouille, il serait possible de replacer une bonne partie des vues et d'éventuellement détecter des anomalies ou détails qui avaient échappé à une première analyse.

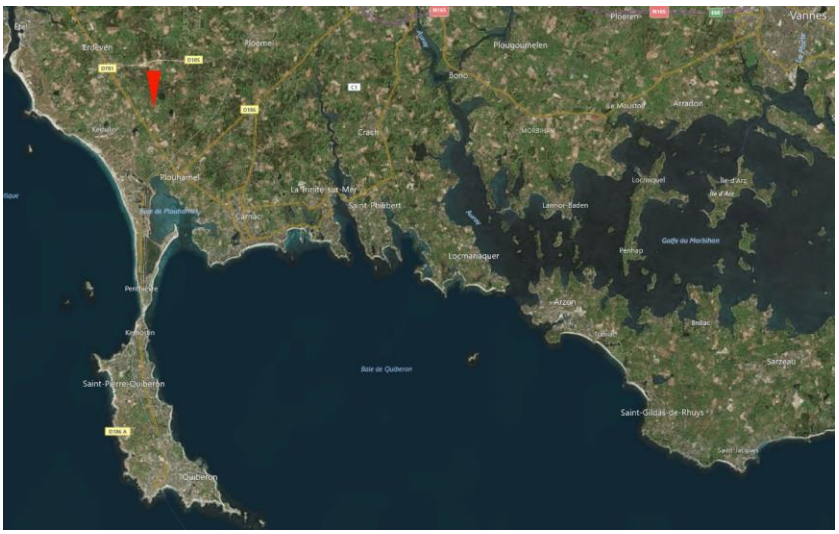




Modélisation de Crucuno.

Présentation générale

Crucuno est l'un des rares sites bretons reconnu comme étant construit en fonction de la course solaire. Félix Gaillard a restauré le quadrilatère en 1887, Alexander en a fait un relevé précis en 1973. C'est généralement ce relevé que l'on voit dans la littérature anglo-saxonne principalement, française quand il s'agit d'exposer les hypothèses solaires. Lorsque l'on veut contester ces dernières, l'on préfère présenter le plan de Dryden et Lukis établi en 1867.

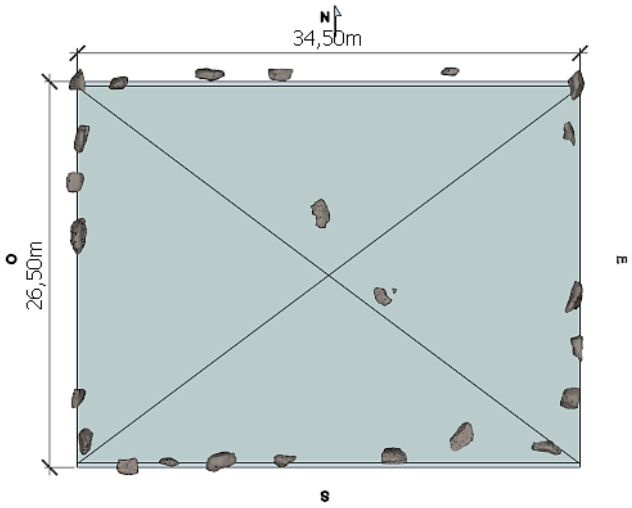


Le site de Crucuno se trouve sur la commune de Plouharnel, dans le village de Crucuno à la position géographique du site est : 47° 37' 27.141" N / 3° 7' 18.982" W ou 47.6242058, -3.1219394

Les enjeux du relevé.

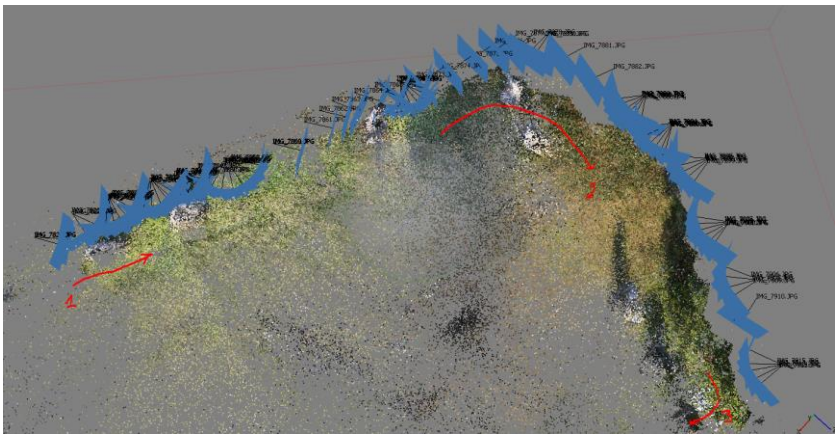
L'objectif est de relever l'ensemble du site en plan et en élévation. C'est-à-dire qu'il ne s'agit pas seulement de marquer et positionner l'ensemble des menhirs, mais d'avoir également leur volume en 3D. L'idée de départ était de réaliser l'ensemble de l'opération en photogrammétrie.

Cependant pour ce type de sujet plusieurs difficultés sont à anticiper. Le site est très large et les objets remarquables sont discontinus. Le site fait 40m sur 30m si l'on déborde les limites du périmètre des menhirs. Ces derniers sont distants de 2 à 3 mètres en moyenne, 11 mètres dans la partie la plus large. La hauteur des objets varie de quelques centimètres au sol à 2m20 pour les plus hauts. La végétation, abondamment décrite dans les textes est entretenue, le centre du quadrilatère est tondu et les buissons taillés. Il n'en reste pas moins qu'elle reste importante et donc source d'erreurs. Autre difficulté, il y a 24 objets à photographier, ce qui suppose une météo relativement stable afin de ne pas avoir trop de contrastes et de différences dans les prises de vue.

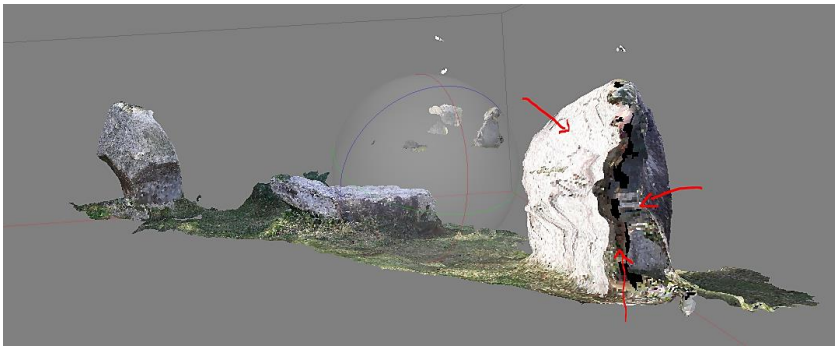


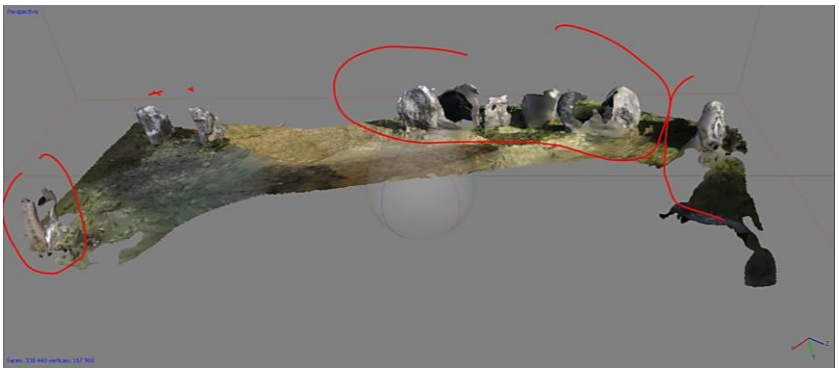
Dans un premier temps, une série de photos a été prise

La démarche étant de prendre chaque menhir en connexion avec son voisin afin de raccorder de proche en proche chacun des objets.

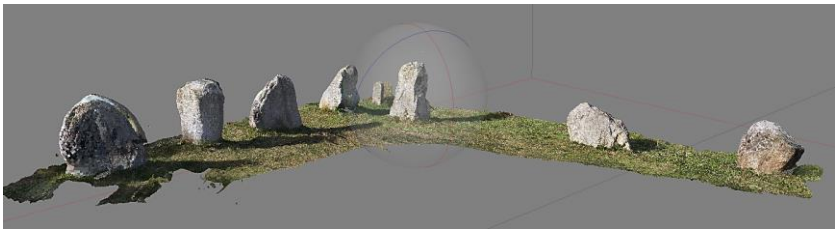


A vrai dire cette stratégie à moyennement fonctionné et il s'est avéré que de petites erreurs en petites erreurs, le début et la fin ne se sont pas raccordés. Le résultat final a plus ressemblé à une spirale qu'à autre chose. Il faut noter aussi, car la météo fait partie des contraintes de la prise de vue, que ce jour-là, le ciel était particulièrement éclatant, très contrasté, ce qui fait que les faces exposées au soleil ne se raccordaient pas toujours avec les faces à l'ombre.

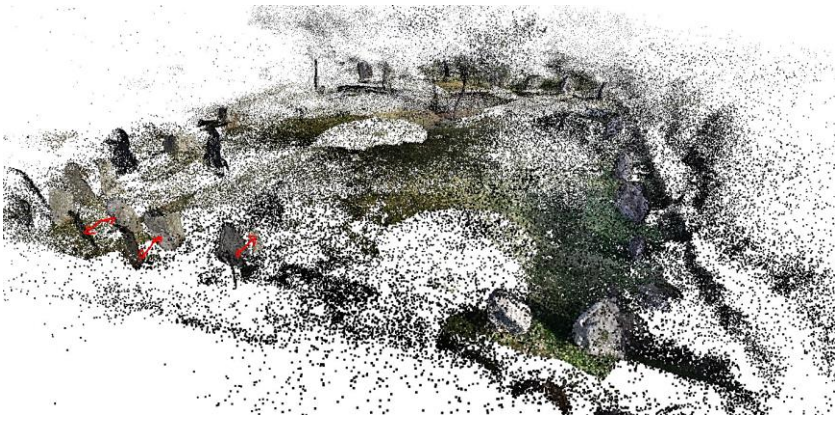




Finalement, par petits paquets, l'alignement des photos a pu se faire, mais sans qu'il soit possible de valider avec précision le remontage des objets un par un et leur position précise dans l'espace. Idéalement, il aurait fallu construire une grille au sol et se caler dessus.



Dans l'image suivante, on peut voir le décalage entre le point de départ et le point d'arrivée.

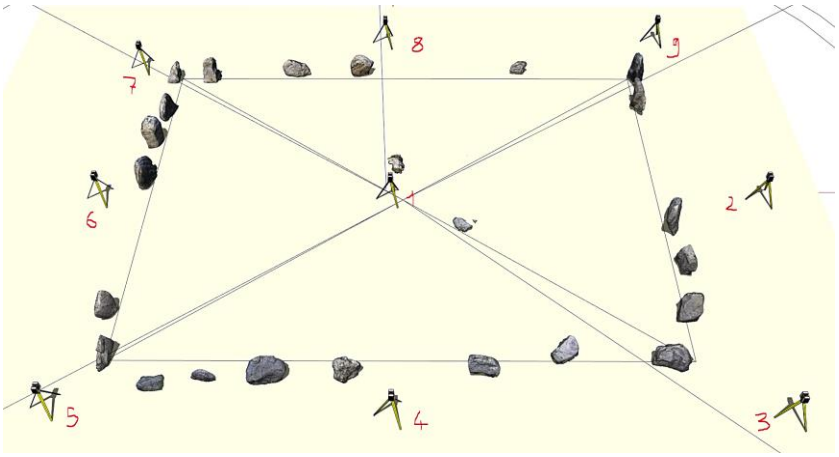


Finalement l'option choisie a été de faire un relevé laser simplifié et de positionner la photogrammétrie sur le relevé laser.

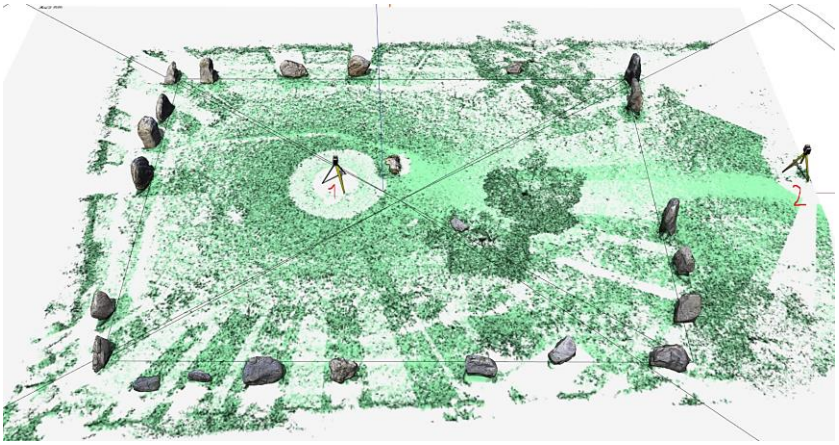
La solution lasergrammetrie/photogrammétrie.

Un scanner type temps de vol ou pulsé, modèle Leica ScanStation 2 permettant de réaliser 50 000 points par seconde (http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-2_62189.htm)

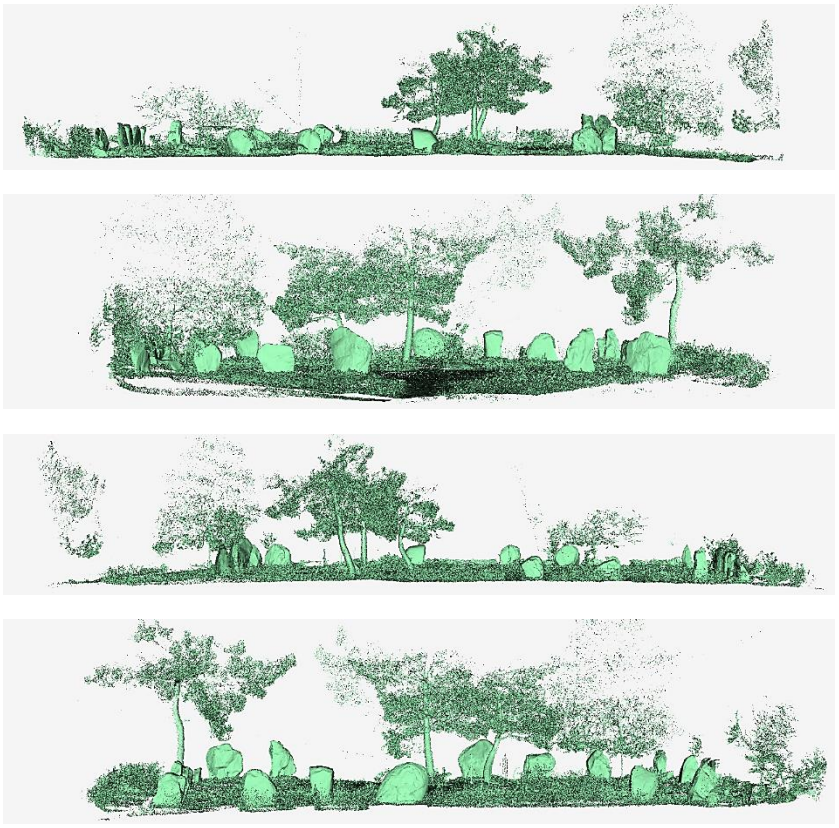
Le site est très contraint. Pour obtenir un levé laser complet de l'ensemble des faces, il faudrait faire au moins 9 stations, sachant que les abords sont assez malaisés. Les clôtures des champs enserrent de façon très proche le quadrilatère et les haies sont vite très denses.

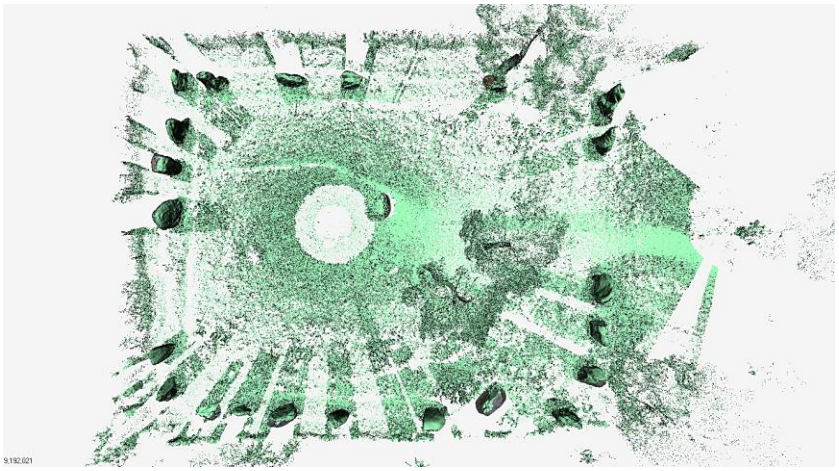


Le plus simple a donc été de ne réaliser que deux stations, l'une au centre du quadrilatère, l'autre à l'entrée Est. L'image dessous montre en vert l'information enregistrée par le laser.

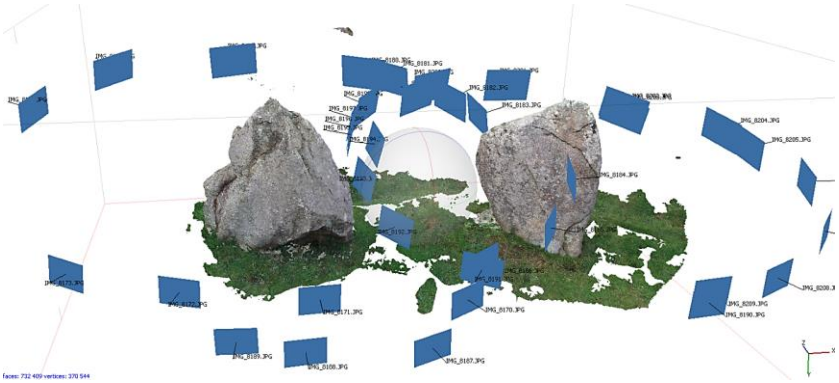


Le nuage de points permet d'obtenir une information suffisamment dense pour ensuite caler la photomodélisation, mais a surtout l'avantage d'être parfaitement juste en échelle, orienté en fonction du nord géographique et géoréférencé. Autant d'informations indispensables pour le calcul solaire.





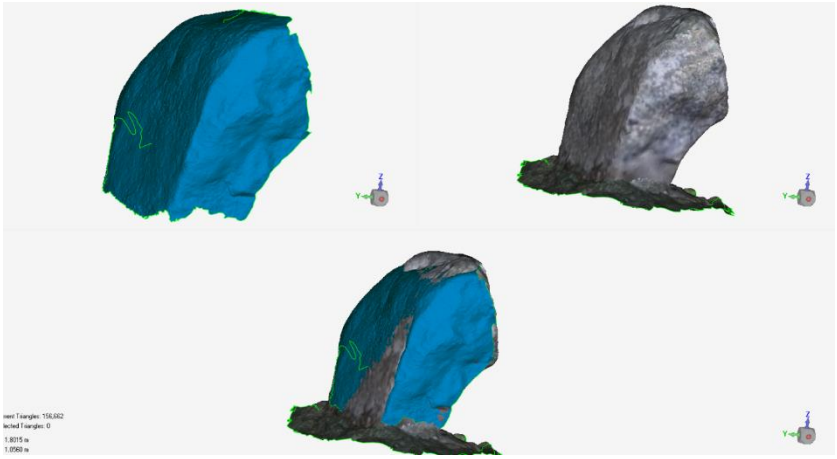
Les menhirs sont de nouveau photographiés pour pouvoir être assimilés au relevé laser.



Une quinzaine de photos est prise pour chaque objet. La photogrammétrie permettra d'obtenir une géométrie précise et une texture, c'est-à-dire, l'aspect visuel de la pierre.

Il faut ensuite fondre le relevé laser qui contient l'ensemble de l'information et les 24 géométries indépendantes issues de la photomodélisation. Le relevé laser est découpé, chaque menhir est placé dans un groupe indépendant. La végétation est réduite et les abords lointains effacés.

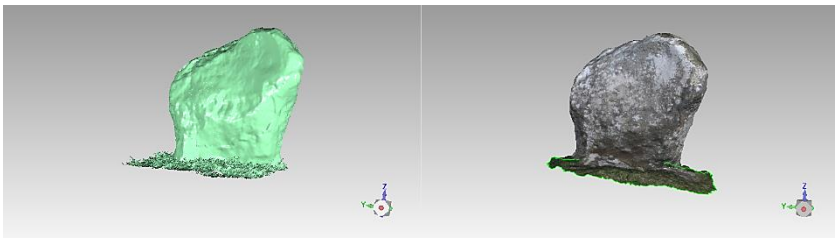
La géométrie de la photomodélisation est importée dans le même fichier que le nuage de points issu du laser. A un menhir du relevé laser est associé le menhir de la photomodélisation. On recherche les point homologues, détails de surface, relief particulier. Dans l'image ci-dessous, on voit, en bleu, le relevé laser auquel il manque un morceau du fait du nombre réduit de stations, en couleur, le relevé de la photomodélisation qui est lui complet, puis les deux fusionnés.



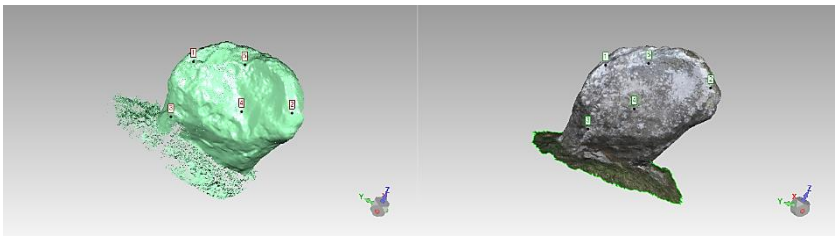
Il faut renouveler l'opération pour chacun des menhirs.

Par exemple, le menhir n°08 en nuage de points est sélectionné et dans Geomagic, on va utiliser la fonction « Alignement n points »

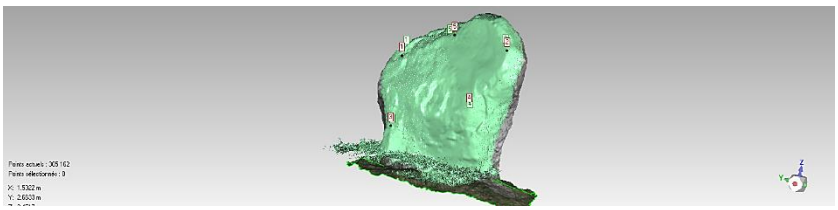
Dans un premier temps, il faut sélectionner la géométrie de référence, puis aller dans « Alignement n points » puis sélectionner la forme que l'on souhaite aligner.



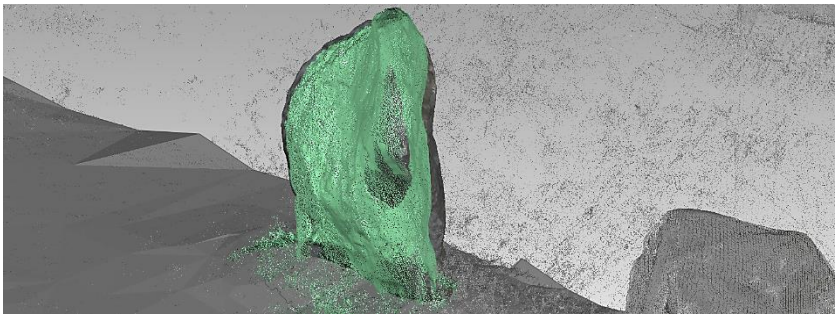
Ensuite, il reste juste à cliquer sur l'un des modèles un point de référence et cliquer ensuite dans le second pour créer une première correspondance.



A partir de 4 points les deux modèles sont déjà en place, mais il est possible d'ajouter autant de points nécessaires pour avoir un alignement parfait.

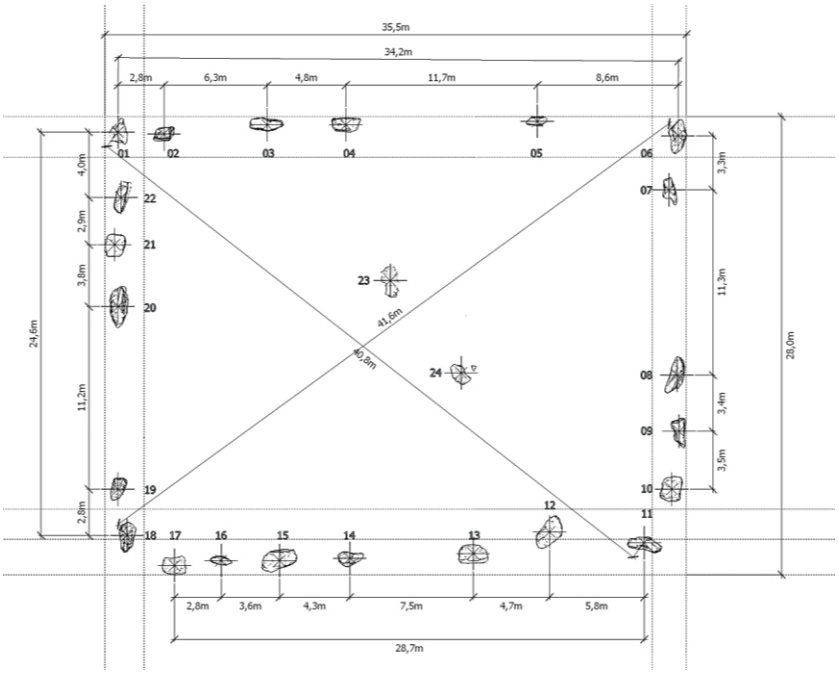


Une fois terminé, on peut sortir de la fonction pour vérifier le résultat.

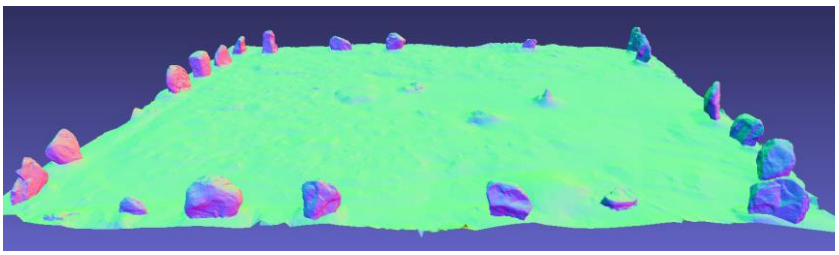


L'opération est réalisable de façon identique avec le logiciel gratuit **Meshlab** (http://meshlab.sourceforge.net/). Un tutoriel est disponible ici : https://www.youtube.com/watch?v=4g9Hap4rX0k

Une fois terminé, nous avons le plan précis :



Rendu en NormalMap :

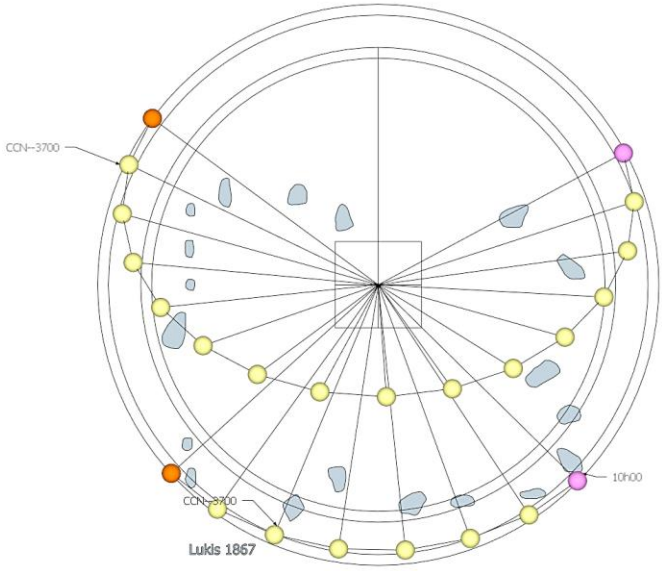


Extrapolation des parties cachées.

Le site de Crucuno a été relevé par Dryden et Lukis à deux reprises en 1867 et 1870, avant les restaurations donc. Les plans sont assez différents de celui produit par Gaillard et publié dans *l'Astronomie préhistorique* en 1897. Pour rappel, la restauration date de 1887. On a souvent utilisé cette différence pour dire que Gaillard avait arrangé

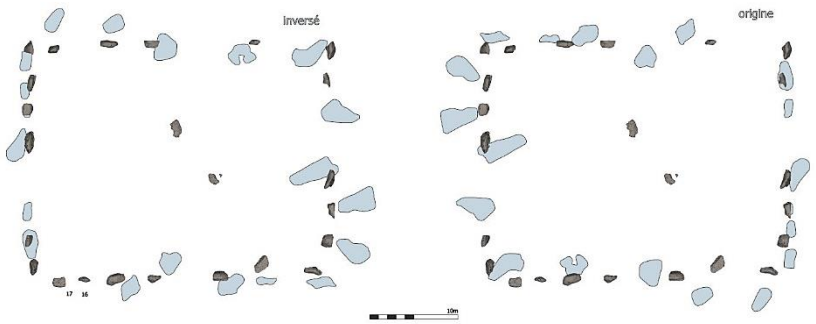
le dessin du quadrilatère pour le faire correspondre à ses théories sur les alignements solaires.

En fait, s'il s'agit de faire correspondre des points, il est toujours possible de trouver des alignements et même l'état ruiné de Crucuno tel que relevé en 1867 fonctionne pour peu que l'on soit au bon endroit. Il y a suffisamment de menhirs pour trouver de bonnes correspondances.



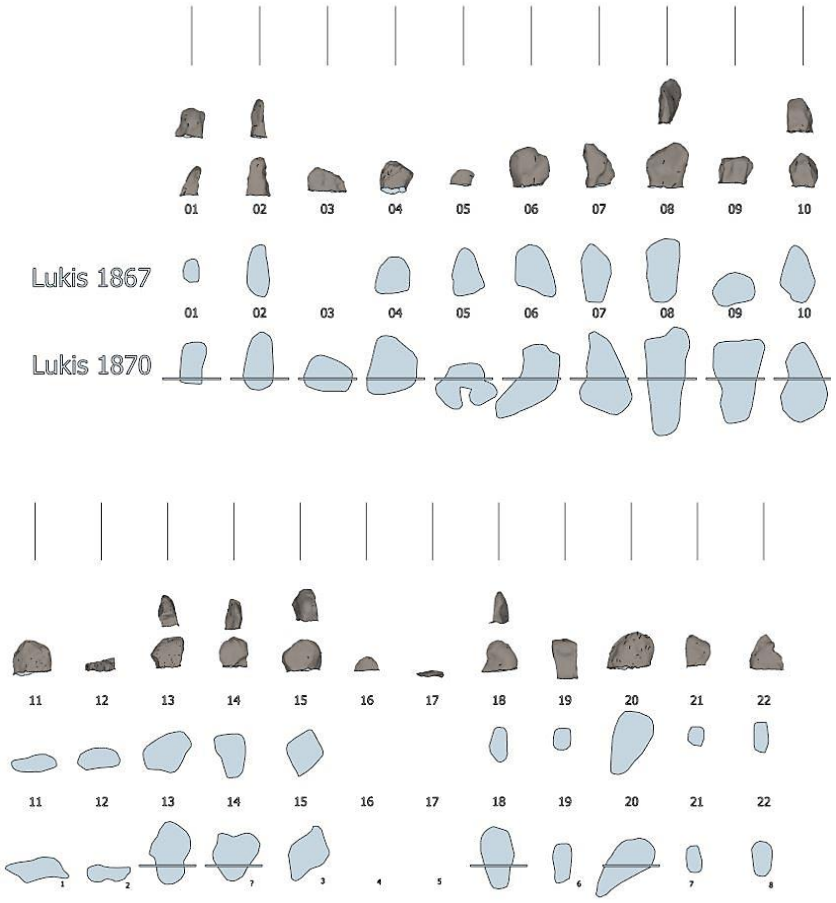
Pour tenter de retrouver les parties cachées, l'idée est de travailler avec les plans montrant les menhirs couchés. Ces derniers donnent en effet des silhouettes qui peuvent être mises en correspondance avec les élévations.

Cette mise en correspondance laisse toutefois penser que le plan de 1870 est édité en miroir comme si l'on avait imprimé le calque du mauvais côté. La comparaison avec le relevé laser/photos laisse en effet planer un doute certain :



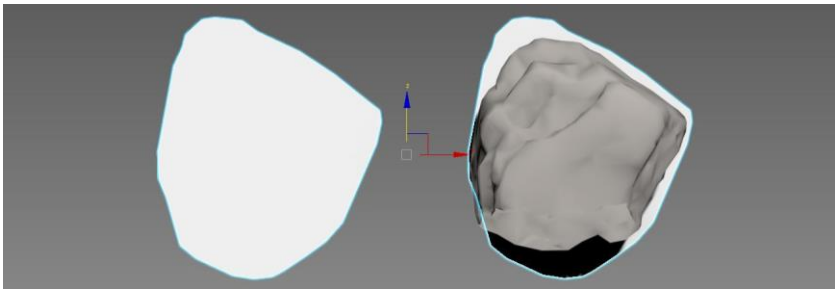
Si l'on conserve cette idée d'inversion, il est possible de mettre en vis-à-vis les élévations (et plans) des versions 1867, 1870 et contemporaine. Il faut trouver à quelle face contemporaine

correspond la silhouette dessinée en 1867 ou 1870, mais on trouve assez facilement les correspondances. Il faudrait vérifier si l'on trouve des traces d'érosion correspondant à ces hypothèses. Si par la 3D, il est possible de déterminer quelle face touchait le sol et quelle face était exposée à l'air, l'observation des traces d'écoulements doit pouvoir le confirmer. L'avantage de la photogrammétrie est que cette investigation peut être faite sur le modèle numérique.

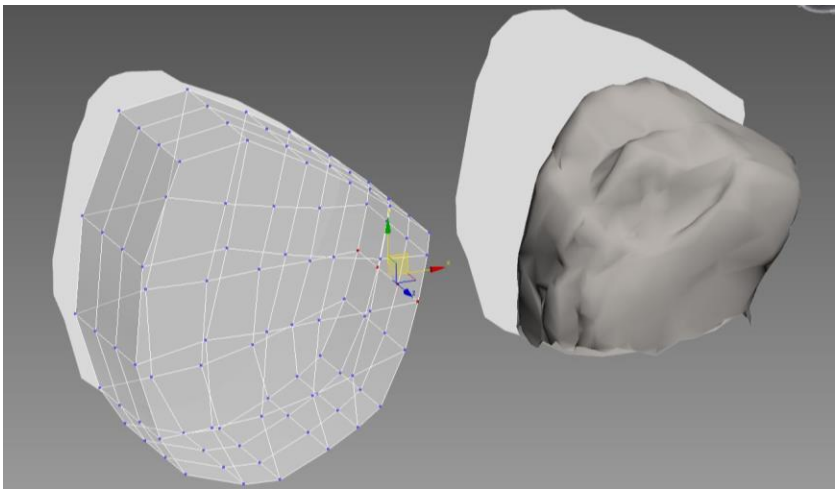


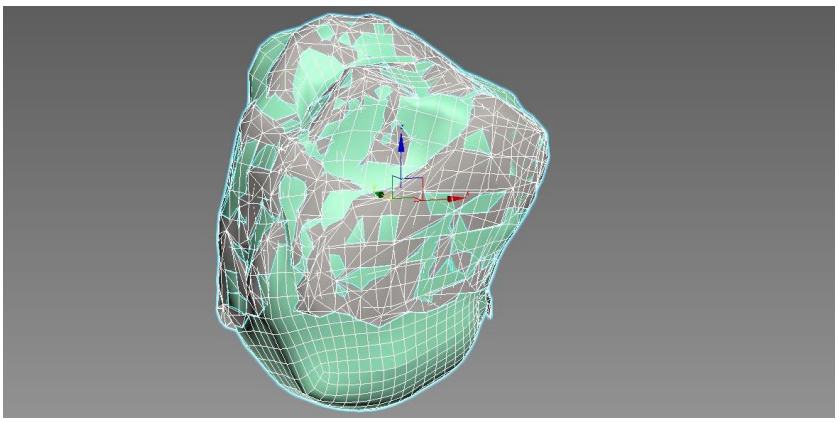
Il et ensuite relativement facile de sculpter les menhirs en fonction de la silhouette de Lukis et du volume du dernier relevé. L'opération est réalisable dans n'importe quel outil 3D comme Blender, Maya, Cinema4D ou Modo et encore plus facilement dans des logiciels de sculpture comme Zbrush ou Mudbox. L'opération est ici faite dans 3DsMax.

Dans un premier temps, avoir côte à côte la silhouette et le volume de référence.



Il faut ensuite créer un volume simple à partir de la silhouette. On utilise ensuite une fonction de conformation du maillage issu de la silhouette sur le volume de référence.





En testant ainsi tous les menhirs, il est possible de restituer la version 3D de

Lukis 1870

Validation des outils solaires

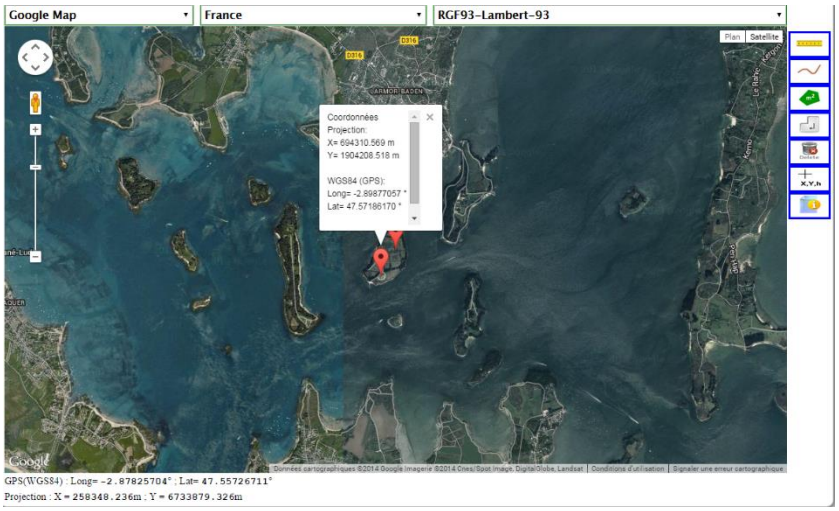
La réalisation des calculs solaires a demandé au préalable de valider les outils solaires disponibles afin de ne pas produire de résultats faux. La méthode choisie a été de calculer pour un même site, celui de Gavrinis, les positions et parcours solaires pour quelques dates choisies. Les grands logiciels du marché ont été mis à l'épreuve ainsi que des outils plus confidentiels ou en cours de développement.

Situation

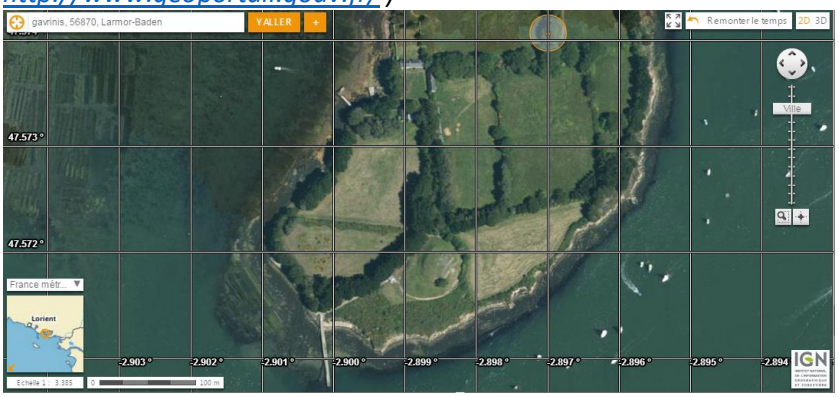
Site de Gavrinis

Latitude : 47° 34' 18,7" N Altitude : 0m
Longitude : 2° 53' 54,0" O Hauteur de l'observateur : 0,0m

Coordonnées géocentriques :
ro * cos(phi') = 0.675898695580329 rayon terrestre
ro * sin(phi') = 0.734523537728869 rayon terrestre



(*http://tool-online.com/conversion-coordonnees.php* et *http://www.geoportail.gouv.fr/*)



Conversion des coordonnées degrés/minutes/secondes en degrés décimaux :

Coordonnées Projection:
X= 694310.569 m
Y= 1904208.518 m

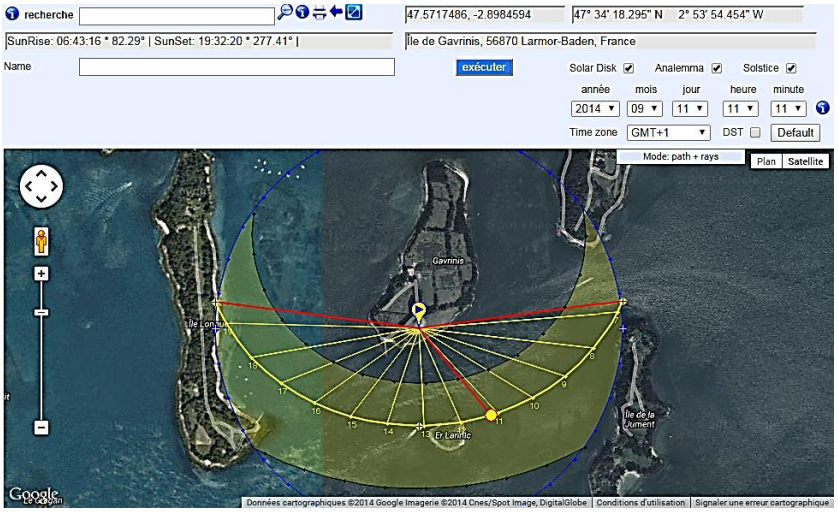
WGS84 (GPS):
Long= -2.89877057 °
Lat= 47.57186170 °

Latitude : 47° 34' 18,7" N -> 47.571861N
Longitude : 2° 53' 54,0" O -> 2.898333W

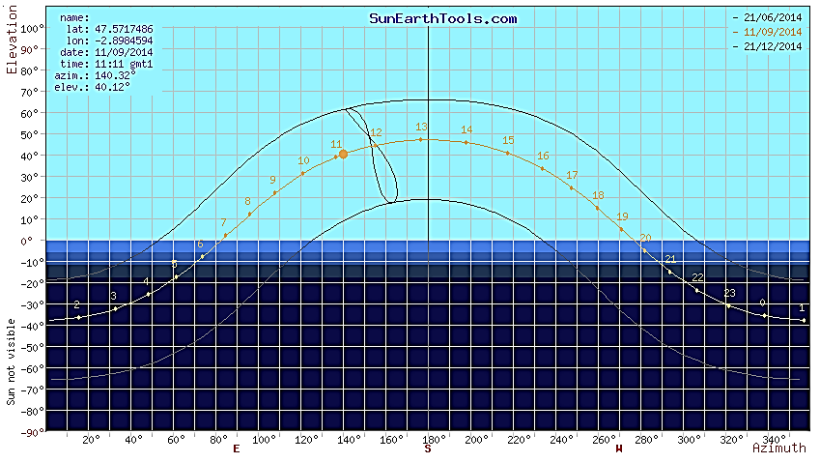
Source code en C : http://adamprescott.net/2013/07/17/convert-latitudelongitude-between-decimal-and-degreesminutesseconds-in-c/

Production de résultats avec le site SunEarthTools.com

Le site **sunearthtools**[464] permet d'obtenir très facilement la géolocalisation et le calcul des positions solaires pour les dates données.



Edition des graphiques polaires et cartésiens.
La course du soleil peut être tracée en **coordonnées cartésiennes ou coordonnées polaires.**



Dans un graphe cartésien, l'élévation solaire est tracée sur l'axe X et l'azimut est représentée sur l'axe Y.

Les coordonnées polaires se tracent dans un cercle contenant des cercles concentriques placés à égales distances où l'on va lire **l'élévation**, sur une échelle de 0 ° à 90 ° degrés.

[464] http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=fr

L'azimut est donné par l'angle entre 0 ° à 360 ° degrés divisant le cercle, l'horizon est indiqué par le cercle ultrapériphériques.

L'angle d'azimut indique la direction du soleil sur un plan horizontal avec le Nord en azimut de 0 ° et le Sud en azimut de 180 °.

Les trajectoires extrêmes du soleil dans le ciel sont exprimées par les courses du solstice avec un minimum le 21 décembre et le maximum le 21 juin. Les équinoxes sont en Bretagne sur une course médiane.

Un point est noté à toutes les heures à partir du moment où le soleil est visible.

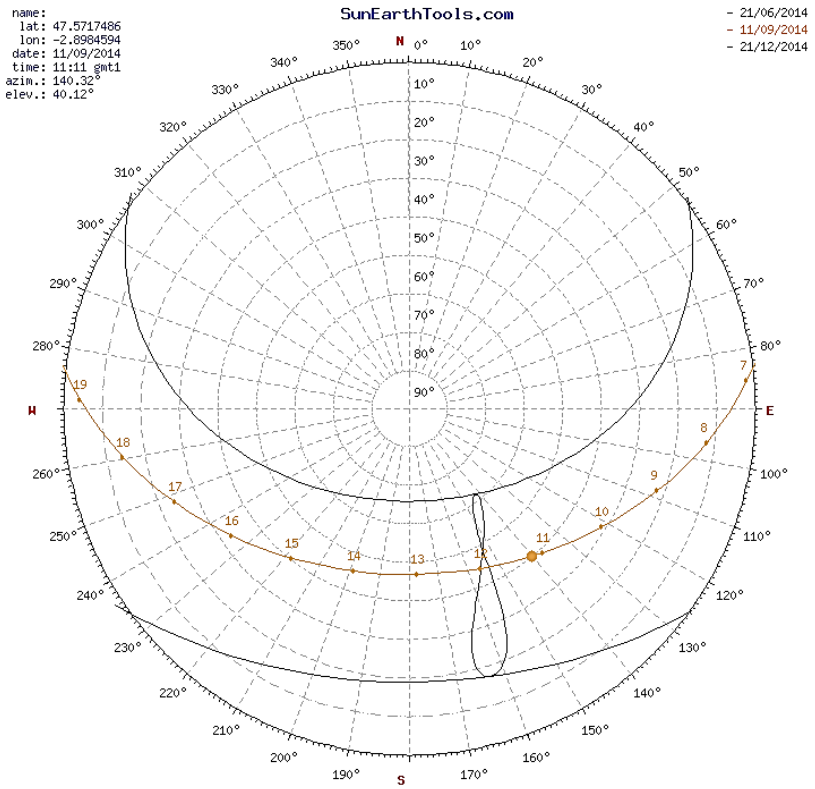


Tableau de la course solaire.

position du soleil	Elevation	Azimut	latitudes	longitudes
11/09/2014 11:11 | GMT1	40.12°	140.32°	47.5717486° N	2.8984594° W
crépuscule	Sunrise	Sunset	Azimut Sunrise	Azimut Sunset
crépuscule -0.833°	06:43:16	19:32:20	82.29°	277.41°
Le crépuscule civil -6°	06:12:02	20:03:24	76.45°	283.19°
Le crépuscule nautique -12°	05:34:45	20:40:31	69.27°	290.33°
crépuscule astronomique -18°	04:55:32	21:19:30	61.27°	298.25°
jour	hh:mm:ss	diff. dd+1	diff. dd-1	midi
11/09/2014	12:49:04	-00:03:22	00:03:23	13:07:48

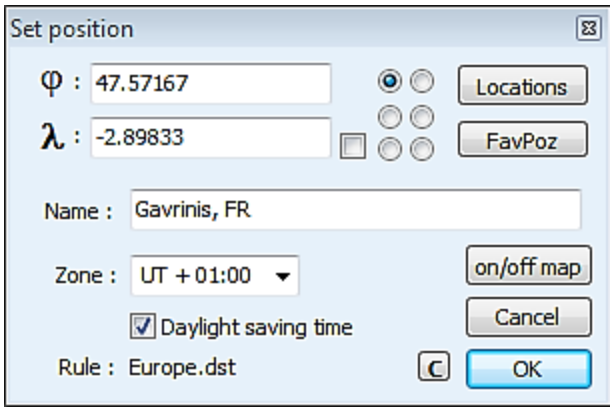
Coordonnée avec un pas horaire d'une heure.

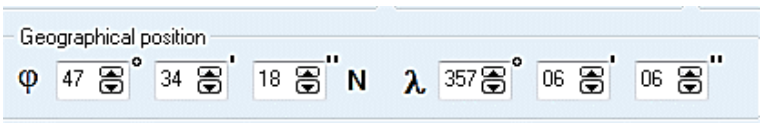
coordonnées:	47.5717486,	
emplacement:	-2.8984594	
heure	Elévation	Azimut
08:59:43	-0.833	124.27
07:00:00	1.97	85.38
08:00:00	12.06	96.51
09:00:00	21.92	108.29
10:00:00	31.08	121.53
11:00:00	38.9	137.14
12:00:00	44.49	155.78
13:00:00	46.87	176.99
14:00:00	45.48	198.56
15:00:00	40.65	218.00
16:00:00	33.32	234.38
17:00:00	24.44	248.16
18:00:00	14.7	260.24
19:00:00	4.61	271.45
17:30:47	-0.833	235.77

Mise en place et vérification dans AlmSun

Le logiciel polonais **AlmSun**[465] a été choisi pour la grande richesse d'informations qu'il produit et surtout parce qu'il est capable de lire les bases de la NASA permettant des calculs au-delà de la limite du premier jour Julien.

Les coordonnées géographiques sont entrées, la position peut être exprimée selon plusieurs modalités, en degrés, minutes, secondes ou décimal.





[465] http://almsun.pl/en/

Calcul de la position du soleil :

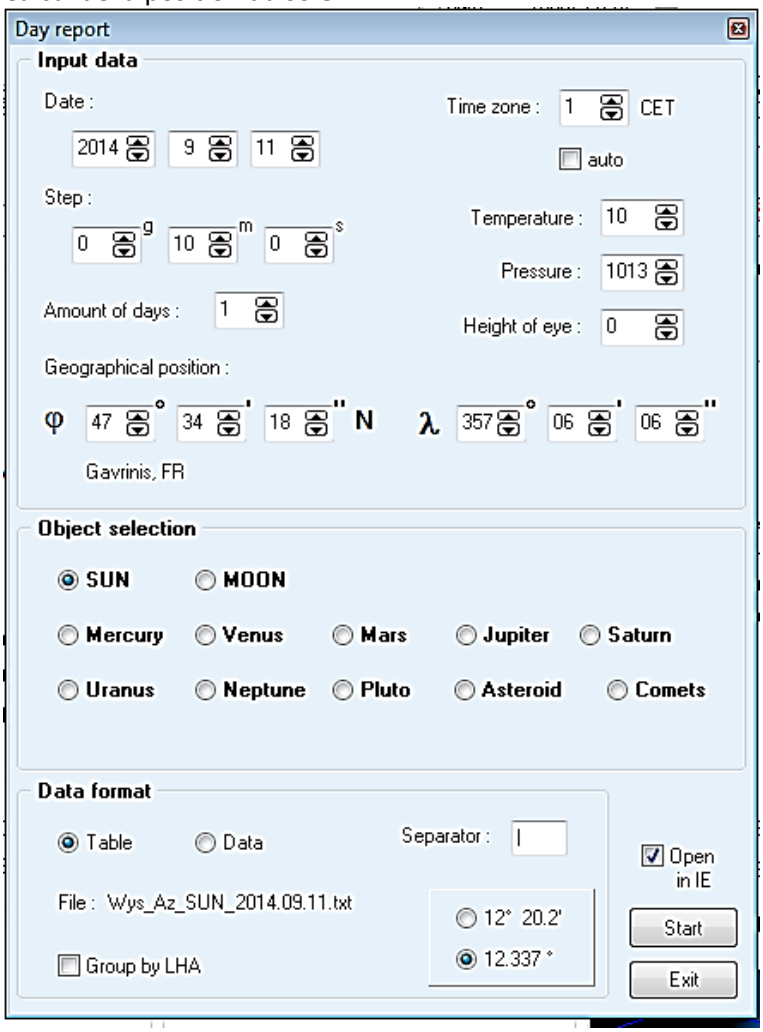


Tableau des valeurs pour la vérification des positions

Hour	Astronomical altitude	Apparent altitude	Azimuth
0:00:00	-7.729°		357.348°
1:00:00	-6.557°		16.081°
2:00:00	-2.319°		33.501°
3:00:00	-5.665°		48.840°
4:00:00	-7.338°		62.213°
5:00:00	-7.964°		74.171°
6:00:00	1.972°	2.255°	85.379°
7:00:00	12.065°	12.138°	96.514°
8:00:00	21.925°	21.964°	108.294°
9:00:00	31.085°	31.110°	121.537°
10:00:00	38.902°	38.920°	137.148°
11:00:00	44.492°	44.507°	155.790°
12:00:00	46.869°	46.883°	176.995°
13:00:00	45.475°	45.490°	198.570°
14:00:00	40.648°	40.665°	218.012°
15:00:00	33.322°	33.345°	234.390°
16:00:00	24.438°	24.472°	248.169°

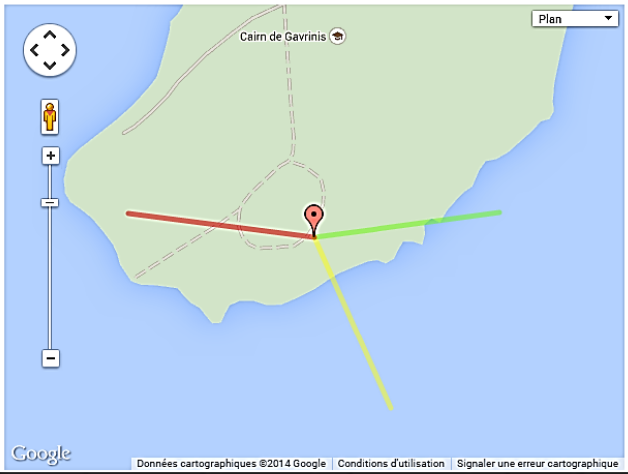
17:00:00	14.699°	14.758°	260.242°
18:00:00	4.607°	4.776°	271.459°
19:00:00	-5.437°		282.560°
20:00:00	-5.042°		294.231°
21:00:00	-3.753°		307.146°
22:00:00	-0.984°		321.920°
23:00:00	-6.010°		338.849°
24:00:00	-8.111°		357.445°

Dans le cadre : données exploitables.
Les résultats sont conformes au à ceux obtenus avec SunEarthTools.

Verification avec le NOAA Earth System Research Laboratory

Le Earth System Research Laboratory (ESRL[466]) est un laboratoire de la **National Oceanic and Atmospheric Administration**'s (NOAA). Cet organisme de recherche est l'un des sept NOAA Research Laboratories (RLS) et est situé à Boulder, Colorado.

Les résultats obtenus restent encore conforment.



Location: Lat 47.571647 Lng -2.8983 Time Zone 1 DST? Save

Date: Day 11 Mon Sep Yr 2014 Local Time: 12 : 00 : 00 PM

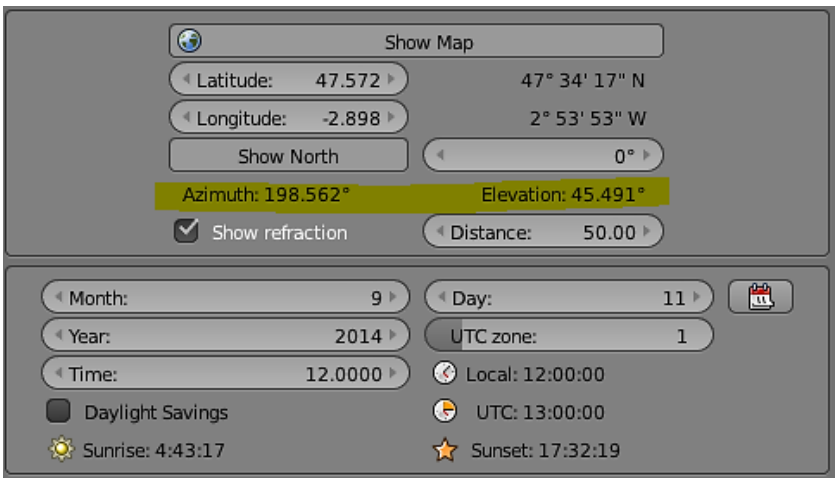
Equation of Time (minutes):	Solar Declination (in °):	Apparent Sunrise:	Solar Noon:	Apparent Sunset:	Az/El (in °) at Local Time:	
3.32	4.49	06:43	13:08:16	19:32	155.78	44.51
Show on map:		Sunrise ☑		Sunset ☑	Azimuth ☑	

Vérification Blender - SUNPOSITION

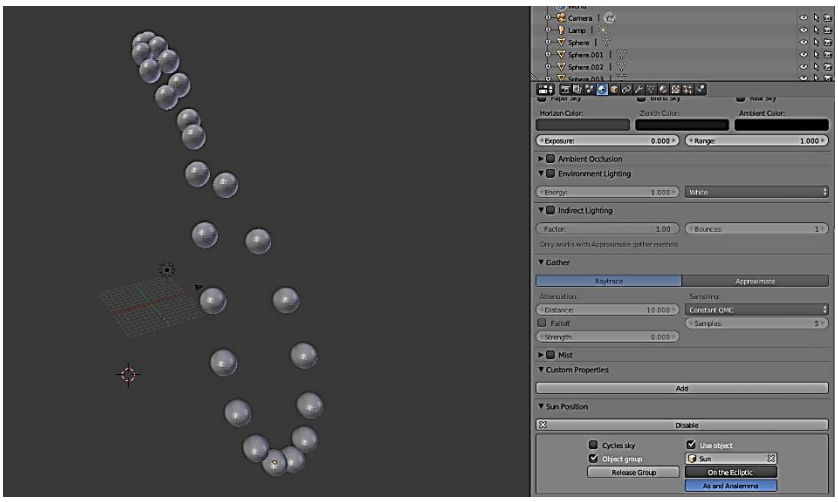
Le plugin **Sunposition**[467] est développé pour **Blender**[468] (logiciel généraliste 3D et gratuit), donne des valeurs de position du soleil et permet de calculer la course solaire et les analemmes. Les données soumises donnent des résultats justes :

[466] http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/
[467] http://wiki.blender.org/index.php/Extensions:2.6/Py/Scripts/3D_interaction/Sun_Position
[468] https://www.blender.org/

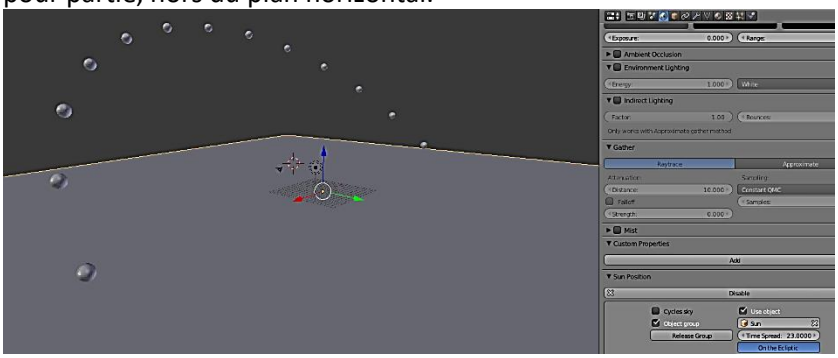
Les équations pour le calcul de la position du soleil sont établies à partir des données produites par le NOAA, évoqué juste précédemment.



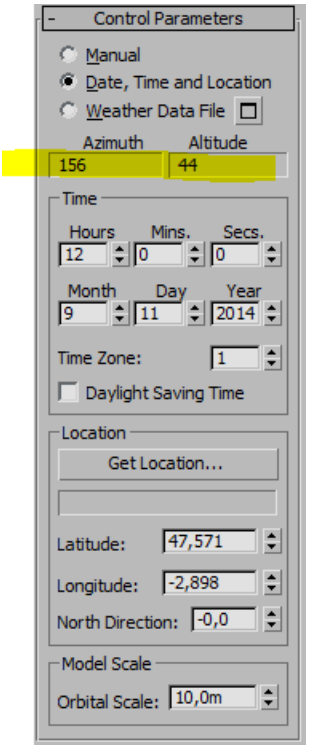
Une fois la position établie, il faut créer autant d'objets qu'il y a d'intervalle à déterminer. Par exemple, pour déterminer les positions horaires, il faut 24 objets. On peut calculer l'analemme.



La figuration de l'écliptique est créée avec 24 objets qui se répartiront pour partie, hors du plan horizontal.

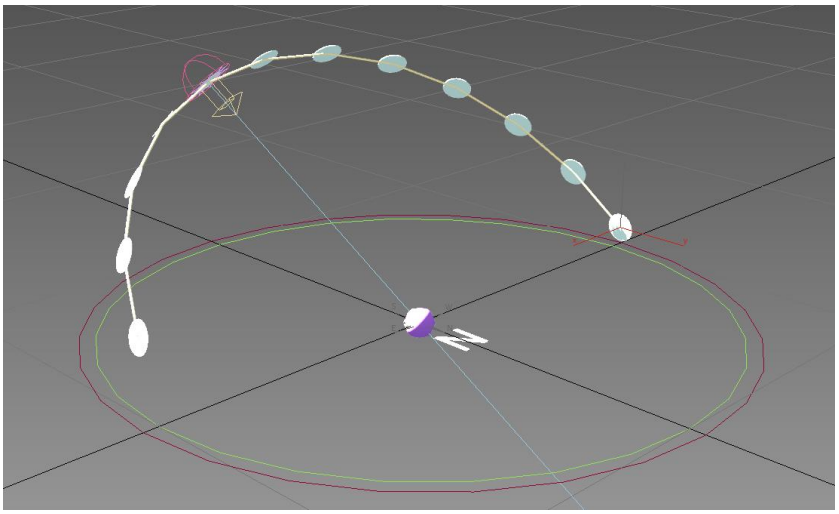


Vérification 3dsmax 2015



3DsMax[469] est un logiciel très utilisé en architecture pour le calcul des images de synthèse et des simulations lumineuses. Les données Azimut et Altitude correspondent à celles obtenues précédemment, à la simplification près. On remarque dès la mise en place que les coordonnées correspondent.

Mise en place, avec visualisation des données issues de NOAA et celles obtenues avec Max.

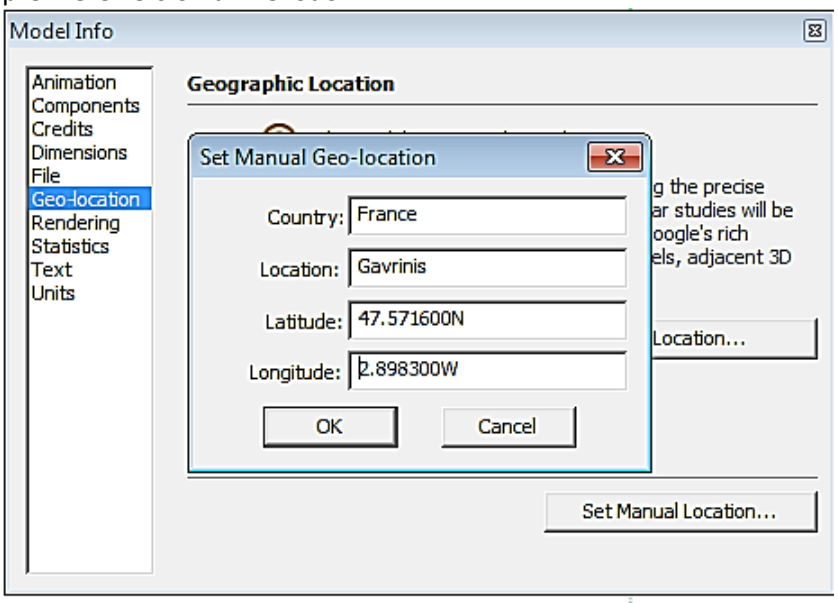


Un petit cercle est créé en attachement à l'objet solaire et une copie de ce cercle est effectuée pour chaque heure servant ainsi de repère visuel. La trajectoire est ensuite convertie en spline pour matérialiser la course du soleil le 10 septembre 2014 à Gavrinis.

[469] http://www.autodesk.fr/products/3ds-max/overview

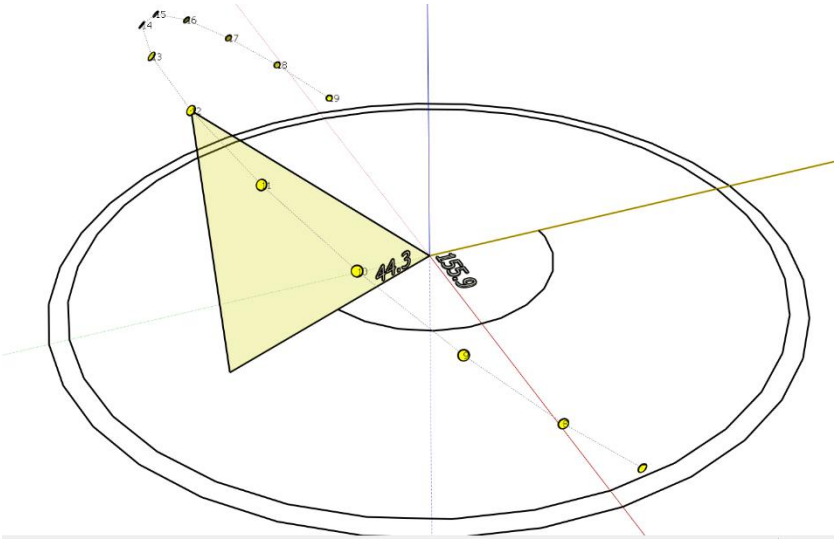
Vérification dans Sketchup

Sketchup [470] est un outil de modélisation 3D contenant dès sa première version un héliodon.



Sketchup ne fait que la projection des ombres. Pour obtenir des objets solaires en 3D, il faut utiliser le plugin **Suntools**[471] développé par Guedi Capeluto, à la Technion (Israel Institute of Technology à Haifa)

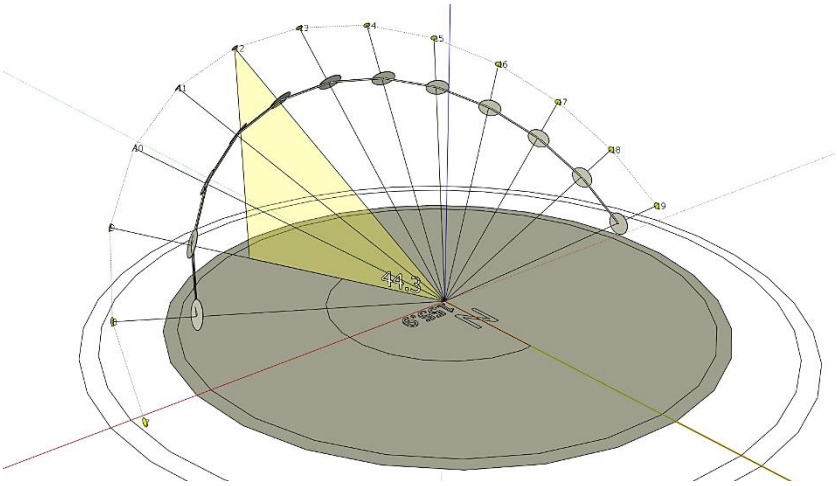
Construction de la course solaire avec SunTools, et vérification des positions angulaires :



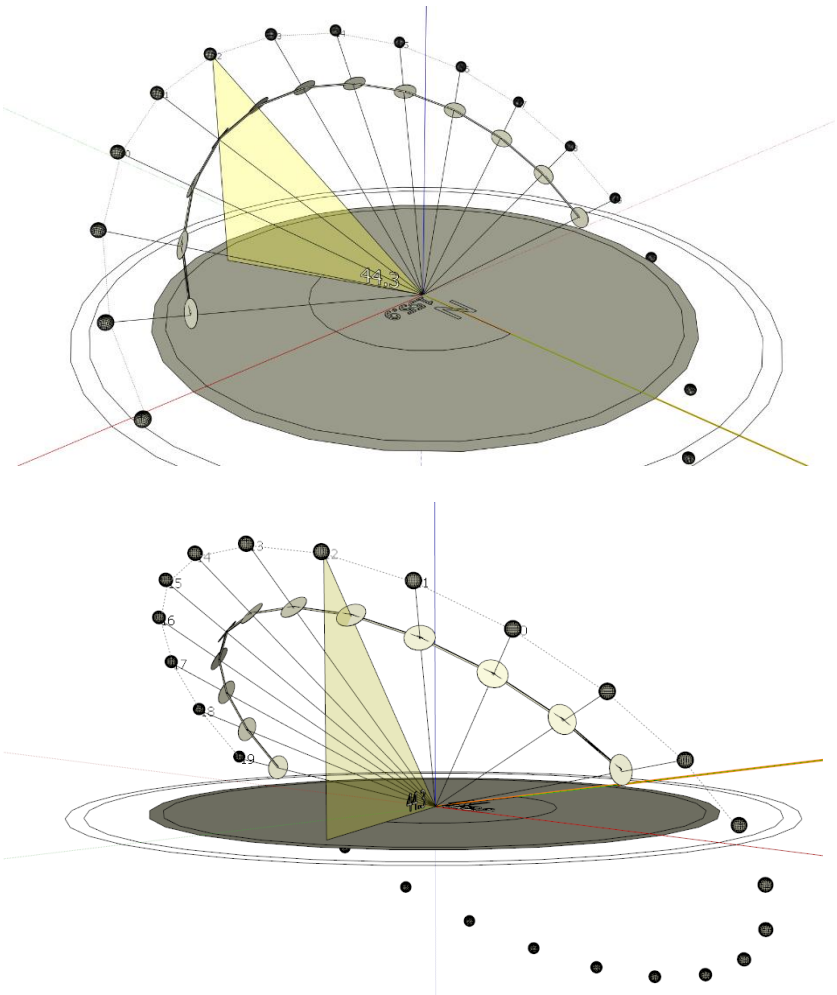
La géométrie obtenue dans 3DsMax est exportée dans Sketchup pour vérification par la mise en en correspondance des positions obtenues. L'ensemble se superpose parfaitement.

[470] http://www.sketchup.com/fr

[471] http://tx.technion.ac.il/~arrguedi/SunTools/dwnld_after_reg/STdwnld.htm

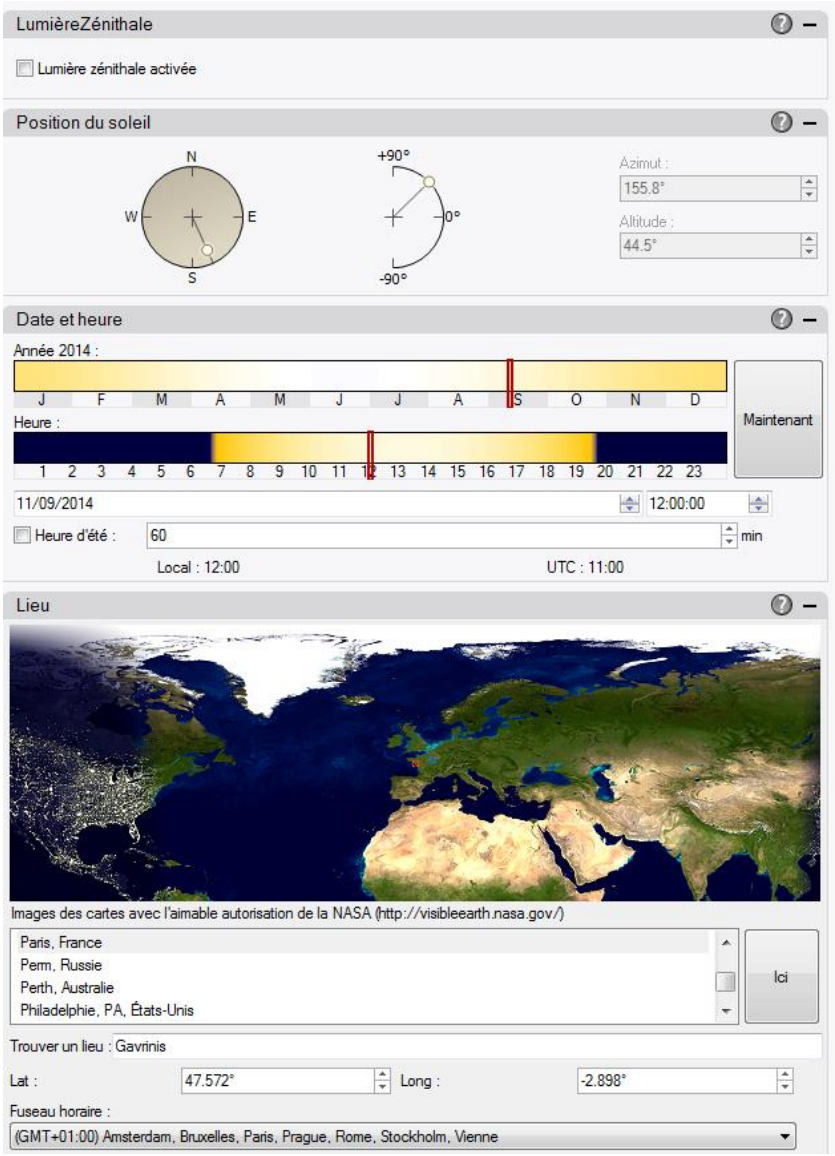


Le calcul de 3Dsmax est celui où figurent les disques et les heures donnent le résultat de SunTools. Le modèle Blender obtenu avec SunPosition fonctionne également et se superpose aux deux autres modèles. En ayant pris 24 sphères, les positions de ces derrières indiquent les heures.



Vérification dans Rhino5

Rhinoceros[472] est un logiciel de modélisation spécialisé dans les formes organiques ou issues de Nurbs. IL contient également un modèle permettant de positionner le soleil. Les résultats lus dans les boites de dialogues de l'interface de Rhino correspondent à ceux produits par Almsun et 3Dsmax



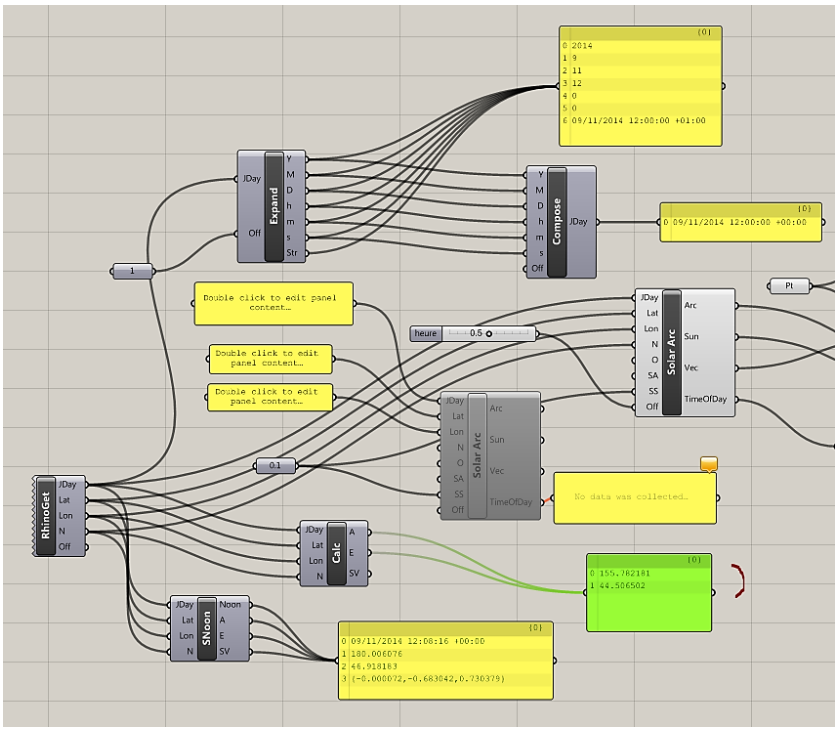
[472] http://www.rhino3d.com/fr/

Expression des résultats de Rhino dans Grasshopper

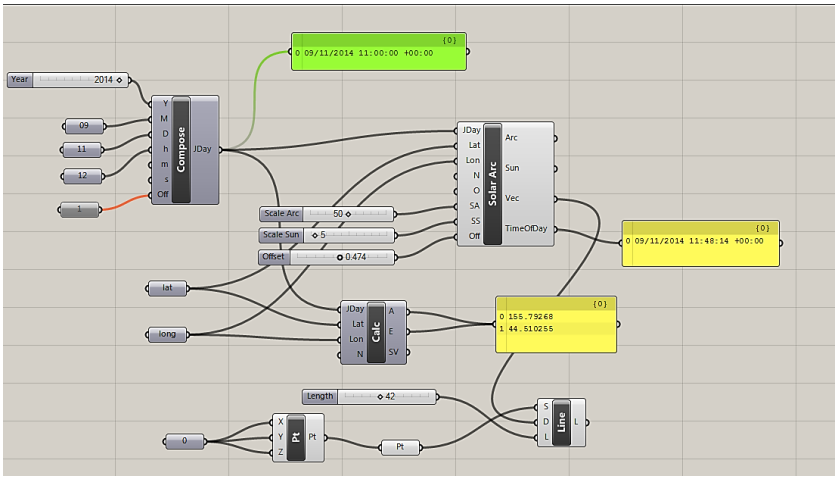
Grasshopper[473] est un langage de programmation visuel développé par David Rutten pour Robert McNeel & Associates. Grasshopper s'exécute dans l'application Rhinoceros. Les programmes sont créés en reliant les composants les uns aux autres. Chaque composant exécute une commande élémentaire, par exemple, translation, changement d'échelle, et sont alimentés par des composants contenant des valeurs ou des variables. La première version de Grasshopper a été publiée en Septembre 2007, et a été intégrée à Rhino 6.0.

Vérification avec Heliotrope

Il existe parmi ces composants des modules dédiés à la simulation solaire. Ce sont les composants **Heliotrope**[474], par exemple, peuvent fonctionner avec les données de Rhino ou en étant directement alimentés par des données extérieures concernant les positions solaires.. Dans les deux cas, les résultats sont conformes.



[473] http://www.grasshopper3d.com/
[474] http://www.food4rhino.com/project/heliotropegh



Vérification avec Ladybug

Ladybug [475]est un autre composant Grasshopper pour Rhino. Attention pour la suite de la démonstration, la date de référence est celle de l'équinoxe de septembre : 23/09 en 2014.

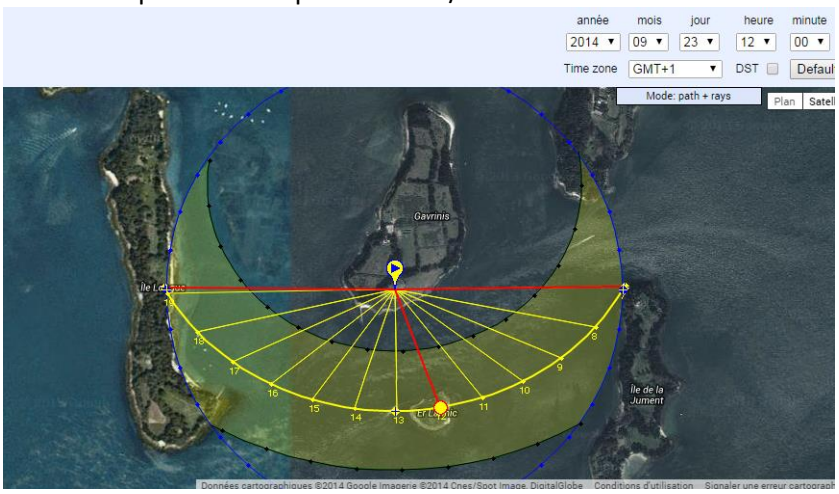


Tableau du 23/09/2014

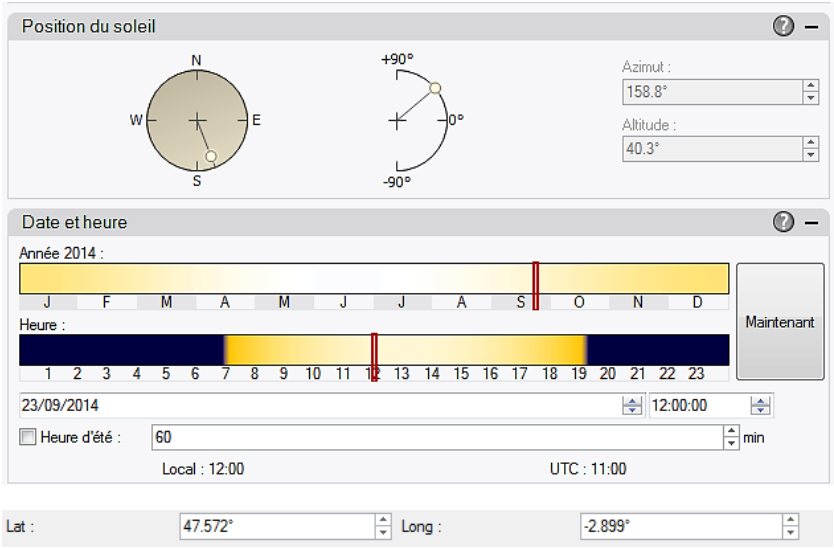
position du soleil	Elevation	Azimut	latitudes	longitudes
23/09/2014 12:00 | GMT1	40.29°	158.81°	47.5718354° N	2.8986525° W
crépuscule	Sunrise	Sunset	Azimut Sunrise	Azimut Sunset
crépuscule -0.833°	06:59:23	19:07:44	89.17°	270.53°
Le crépuscule civil -6°	06:28:38	19:38:21	83.47°	276.2°
Le crépuscule nautique -12°	05:52:27	20:14:24	76.61°	283.01°
crépuscule astronomique -18°	05:15:11	20:51:30	69.22°	290.34°
jour	hh:mm:ss	diff. dd+1	diff. dd-1	midi
23/09/2014	12:08:21	-00:03:25	00:03:24	13:03:33

Extraction du test pour midi :

[475] http://www.grasshopper3d.com/group/ladybug

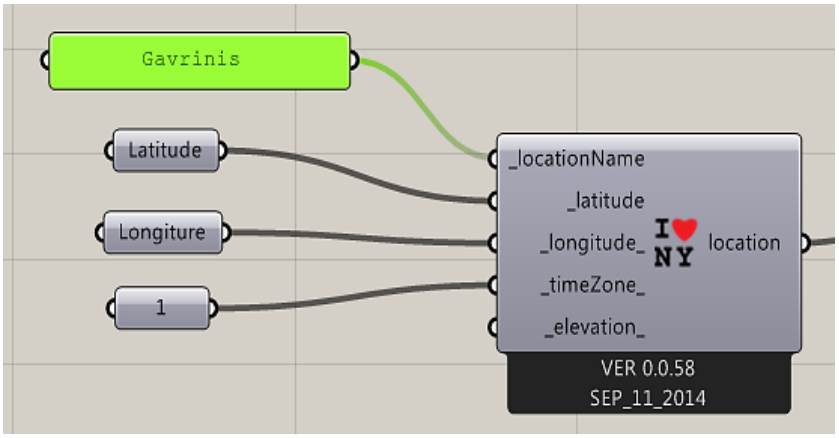
12:00:00	40.29°	158.81°

Les valeurs sont similaires dans Rhino.

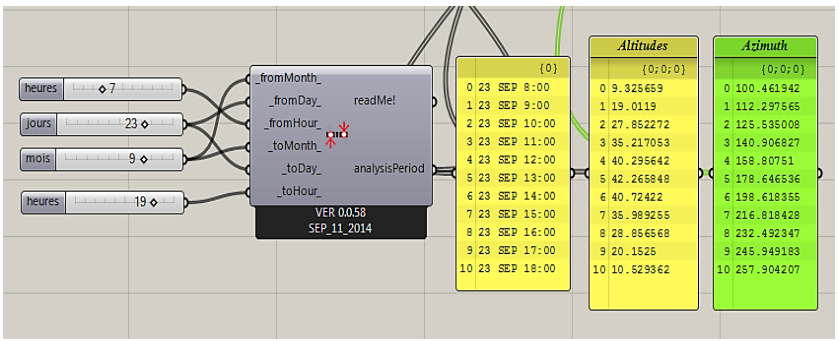


Vérification des données dans Ladybug

Renseignement du site :



L'exploration des résultats pour la journée du 23/09 donne dans Ladubug les résultats suivants :



A comparer avec le tableau de valeur suivant :

Date:	23/09/2014 | GMT1	
coordonnées:	47.5718354, -2.8986525	
emplacement:	6230 Île de la Jument, 56640 Arzon, France	
heure	Elevation	Azimut
06:59:23	-0.833°	89.17°
7:00:00	-0.73°	89.28°
8:00:00	9.33°	100.46°
9:00:00	19.01°	112.3°
10:00:00	27.85°	125.54°
11:00:00	35.22°	140.91°
12:00:00	40.29°	158.81°
13:00:00	42.26°	178.65°
14:00:00	40.72°	198.62°
15:00:00	35.99°	216.82°
16:00:00	28.85°	232.49°
17:00:00	20.15°	245.95°
18:00:00	10.53°	257.9°
19:00:00	0.47°	269.11°
19:07:44	-0.833°	270.53°

Les résultats sont conformes. A noter que la version 0.0.58 de Ladybug a corrigé un bug qui donnait les résultats faux.

Nous avons maintenant les bases vérifiées pour pouvoir effectuer notre propre montage.

La question des dates anciennes

Le problème des logiciels du marché, et qu'ils ne sont pas capables de calculer des positions solaires au-delà de dates très récentes, milieu du XXème siècle pour l'amplitude la moins large, XVIème siècle pour l'amplitude la plus large. 3dsmax va jusqu'en 1583, ce qui doit correspondre au début du calendrier Grégorien, Rhinoceros ne remonte que jusqu'en 1980.

Pour obtenir des dates antérieures, il a d'abord été fait appel à l'ancien Bureau des Longitudes, l'Institut de Mécanique céleste et de calcul des éphémérides (IMCCE)[476]. Un calcul de référence, avec lequel le reste des calculs a été calibré, a été fait pour le site de Gavrinis.

Les résultats sont les suivants :

Site de Gavrinis

Latitude : 47° 34' 18,7" N
Longitude : 2° 53' 54,0" O
Altitude : 0m
Hauteur de l'observateur : 0,0m
Coordonnées géocentriques :
ro * cos(phi') = 0.675898695580329 rayon terrestre
ro * sin(phi') = 0.734523537728869 rayon terrestre
Calcul de phénomènes astronomiques.
Période de calcul : du 1 janvier -3700 au 31 décembre -3700

- les dates des saisons sont calculées à l'aide de la longitude apparente du Soleil.
- Les instants sont donnés en Temps universel Coordonnée (UTC).
- le 18/01/-3700 à 04h 43m 02s UT : solstice d'hiver.
- le 20/04/-3700 à 10h 05m 16s UT : équinoxe de printemps.
- le 23/07/-3700 à 03h 19m 08s UT : solstice d'été.
- le 20/10/-3700 à 12h 29m 51s UT : équinoxe d'automne.

Calcul de l'éphéméride du Soleil

- Repère horizontal (a,h) topocentrique, coordonnées apparentes de la date
- Représentation : polaire
- Echelle de temps utilisée : Temps universel coordonné
- Dans les calculs des positions locales: On prend en compte la réfraction atmosphérique.
- On ne tient pas compte de la dépression de l'horizon.
- Période pour le calcul :

[476] http://www.imcce.fr/langues/fr/

- Date et instant du début de la période le 18/1/-3700 à 00h00m00.000s
- Date et instant de la fin de la période le 19/1/-3700 à 00h00m00.000s
- Pas de calcul des éphémérides : 0 jour(s) et 01h00m00.000s
- On utilise les éphémérides INPOP
- Les éphémérides de base ont été ramenées dans le repère du FK5.
- on utilise la précession Capitaine & all P03(2003), la nutation 2000A et le temps sidéral de l'UAI (2000).

Site de Gavrinis

- Latitude : 47° 34' 18,7" N
- Longitude : 2° 53' 54,0" O
- Altitude : 0m

Solstice d'hiver

Date en UTC	a	h
h m s	° ' "	° ' "
-3700 janv. 18 0h 0m 0,00s	167° 3' 5,04"	-66° 4' 11,90"
18 1h 0m 0,00s	200° 41' 39,62"	-65° 22' 21,14"
18 2h 0m 0,00s	227° 54' 38,49"	-59° 36' 47,29"
18 3h 0m 0,00s	246° 54' 20,45"	-51° 4' 34,06"
18 4h 0m 0,00s	260° 55' 51,67"	-41° 21' 54,82"
18 5h 0m 0,00s	272° 27' 28,46"	-31° 16' 50,59"
18 6h 0m 0,00s	282° 53' 16,70"	-21° 16' 9,48"
18 7h 0m 0,00s	293° 3' 43,32"	-11° 39' 30,04"
18 8h 0m 0,00s	303° 33' 8,45"	- 2° 45' 34,54"
18 9h 0m 0,00s	314° 46' 47,11"	5° 14' 36,51"
18 10h 0m 0,00s	327° 1' 12,70"	11° 32' 26,86"
18 11h 0m 0,00s	340° 19' 55,99"	16° 0' 30,99"
18 12h 0m 0,00s	354° 27' 46,75"	18° 12' 42,70"
18 13h 0m 0,00s	8° 51' 13,46"	17° 55' 10,54"
18 14h 0m 0,00s	22° 50' 7,63"	15° 9' 49,05"
18 15h 0m 0,00s	35° 54' 34,98"	10° 13' 37,36"
18 16h 0m 0,00s	47° 54' 4,20"	3° 36' 2,51"
18 17h 0m 0,00s	58° 55' 39,86"	- 4° 44' 13,57"
18 18h 0m 0,00s	69° 18' 10,73"	-13° 49' 46,49"
18 19h 0m 0,00s	79° 28' 43,51"	-23° 33' 37,24"
18 20h 0m 0,00s	90° 4' 26,77"	-33° 37' 11,28"
18 21h 0m 0,00s	102° 1' 30,95"	-43° 39' 54,47"
18 22h 0m 0,00s	116° 55' 53,12"	-53° 11' 45,40"
18 23h 0m 0,00s	137° 33' 50,34"	-61° 16' 18,98"
19 0h 0m 0,00s	166° 50' 0,14"	-66° 3' 8,54"

Equinoxe de printemps

Date en UTC	a	h
h m s	° ' "	° ' "

-3700 avril 20 0h 0m 0,00s	174° 43' 23,25"	-42° 27' 24,40"
20 1h 0m 0,00s	194° 56' 2,56"	-41° 35' 5,55"
20 2h 0m 0,00s	213° 38' 55,71"	-37° 23' 35,52"
20 3h 0m 0,00s	229° 50' 52,32"	-30° 37' 56,32"
20 4h 0m 0,00s	243° 41' 52,08"	-22° 9' 18,41"
20 5h 0m 0,00s	255° 53' 18,78"	-12° 39' 14,16"
20 6h 0m 0,00s	267° 10' 56,29"	- 2° 38' 38,22"
20 7h 0m 0,00s	278° 17' 46,23"	7° 34' 55,06"
20 8h 0m 0,00s	289° 55' 54,81"	17° 20' 0,13"
20 9h 0m 0,00s	302° 49' 42,79"	26° 23' 16,61"
20 10h 0m 0,00s	317° 44' 29,02"	34° 6' 57,71"
20 11h 0m 0,00s	335° 11' 2,40"	39° 43' 45,91"
20 12h 0m 0,00s	354° 48' 41,91"	42° 22' 25,17"
20 13h 0m 0,00s	14° 59' 44,80"	41° 31' 17,30"
20 14h 0m 0,00s	33° 42' 1,46"	37° 21' 17,09"
20 15h 0m 0,00s	49° 54' 14,00"	30° 37' 18,52"
20 16h 0m 0,00s	63° 45' 59,86"	22° 10' 39,19"
20 17h 0m 0,00s	75° 58' 28,25"	12° 43' 39,56"
20 18h 0m 0,00s	87° 17' 17,55"	2° 55' 15,31"
20 19h 0m 0,00s	98° 25' 27,75"	- 7° 24' 57,43"
20 20h 0m 0,00s	110° 5' 1,93"	-17° 12' 5,75"
20 21h 0m 0,00s	123° 0' 8,79"	-26° 14' 11,44"
20 22h 0m 0,00s	137° 55' 33,99"	-33° 55' 30,04"
20 23h 0m 0,00s	155° 21' 3,04"	-39° 29' 12,00"
21 0h 0m 0,00s	174° 54' 54,34"	-42° 4' 38,43"

Solstice d'été

Date en UTC	a	h
h m s	° ' "	° ' "
-3700 juill.23 0h 0m 0,00s	178° 35' 34,18"	-18° 20' 29,73"
23 1h 0m 0,00s	192° 55' 56,61"	-17° 19' 27,45"
23 2h 0m 0,00s	206° 41' 30,94"	-13° 53' 30,09"
23 3h 0m 0,00s	219° 27' 32,93"	- 8° 22' 5,46"
23 4h 0m 0,00s	231° 9' 5,52"	- 0° 26' 41,90"
23 5h 0m 0,00s	241° 57' 9,97"	7° 22' 41,69"
23 6h 0m 0,00s	252° 13' 7,26"	16° 37' 16,10"
23 7h 0m 0,00s	262° 26' 30,20"	26° 27' 24,78"
23 8h 0m 0,00s	273° 18' 35,51"	36° 32' 26,93"
23 9h 0m 0,00s	285° 54' 11,66"	46° 29' 44,70"
23 10h 0m 0,00s	302° 6' 35,33"	55° 43' 56,30"
23 11h 0m 0,00s	325° 2' 8,27"	63° 5' 46,54"
23 12h 0m 0,00s	356° 32' 56,88"	66° 28' 46,77"
23 13h 0m 0,00s	29° 15' 37,97"	64° 10' 40,27"
23 14h 0m 0,00s	53° 56' 9,29"	57° 24' 59,69"
23 15h 0m 0,00s	71° 12' 30,96"	48° 26' 10,93"
23 16h 0m 0,00s	84° 20' 26,26"	38° 34' 1,21"
23 17h 0m 0,00s	95° 27' 2,10"	28° 28' 29,61"
23 18h 0m 0,00s	105° 44' 21,74"	18° 33' 44,72"

23 19h 0m 0,00s	115° 57' 8,33"	9° 10' 4,15"
23 20h 0m 0,00s	126° 36' 46,51"	0° 52' 27,67"
23 21h 0m 0,00s	138° 6' 16,97"	- 7° 2' 38,11"
23 22h 0m 0,00s	150° 39' 9,07"	-12° 56' 17,32"
23 23h 0m 0,00s	164° 14' 7,37"	-16° 49' 21,80"
24 0h 0m 0,00s	178° 30' 22,67"	-18° 20' 34,99"

Equinoxe d'automne

Date en UTC	a	h
h m s	° ' "	° ' "
-3700 oct. 20 0h 0m 0,00s	175° 25' 4,13"	-42° 8' 10,90"
20 1h 0m 0,00s	195° 30' 15,46"	-41° 11' 12,00"
20 2h 0m 0,00s	214° 5' 2,03"	-36° 56' 51,18"
20 3h 0m 0,00s	230° 10' 51,39"	-30° 10' 4,26"
20 4h 0m 0,00s	243° 58' 17,90"	-21° 41' 27,45"
20 5h 0m 0,00s	256° 8' 18,28"	-12° 12' 6,49"
20 6h 0m 0,00s	267° 26' 7,25"	- 2° 12' 44,38"
20 7h 0m 0,00s	278° 34' 32,16"	7° 58' 44,78"
20 8h 0m 0,00s	290° 15' 38,49"	17° 41' 39,84"
20 9h 0m 0,00s	303° 13' 50,76"	26° 41' 32,99"
20 10h 0m 0,00s	318° 14' 12,78"	34° 20' 21,60"
20 11h 0m 0,00s	335° 46' 12,73"	39° 50' 27,03"
20 12h 0m 0,00s	355° 26' 18,39"	42° 20' 51,10"
20 13h 0m 0,00s	15° 34' 36,09"	41° 21' 18,92"
20 14h 0m 0,00s	34° 10' 24,47"	37° 4' 21,03"
20 15h 0m 0,00s	50° 15' 40,07"	30° 15' 24,59"
20 16h 0m 0,00s	64° 1' 49,81"	21° 45' 25,94"
20 17h 0m 0,00s	76° 10' 22,21"	12° 16' 15,47"
20 18h 0m 0,00s	87° 26' 44,01"	2° 27' 46,43"
20 19h 0m 0,00s	98° 33' 45,92"	- 7° 55' 28,67"
20 20h 0m 0,00s	110° 13' 36,39"	-17° 43' 40,15"
20 21h 0m 0,00s	123° 10' 49,72"	-26° 46' 31,10"
20 22h 0m 0,00s	138° 10' 55,30"	-34° 27' 59,79"
20 23h 0m 0,00s	155° 44' 6,73"	-40° 0' 41,63"
21 0h 0m 0,00s	175° 27' 27,21"	-42° 33' 20,92"

Calcul du jour Julien.

L'autre difficulté est de pouvoir traduire la date désirée en jour Julien. Le jour julien est un système de datation qui calcule le nombre de jours et de fraction de jour écoulés depuis une date conventionnelle fixée au 1er janvier -4712 à 12 heures. La datation en jours juliens simplifie la datation puisqu'elle ne fait qu'énumérer les jours depuis le point zéro et ce, indépendamment des spécificités des calendriers avec des mois, années de longueurs inégales. C'est la raison pour laquelle, le jour julien est favorablement employé dans les programmes informatiques ayant à traiter du temps écoulé.

La date julienne a été présentée par le français Joseph Justus Scaliger (1540-1609), en 1583. Elle se calcule ainsi :

Soit la date donnée par trois entiers positifs **J** (jour), **M** (mois), **A** (année), on calcule un facteur JJ (jour julien) tel que :

si M > 2 : $X_1 = A$, $X_2 = M$ sinon : $X_1 = A - 1$,
$X_2 = M + 12$
$X_3 = \text{int}(A/100)$
$X_4 = 2 - X_3 + \text{int}(A/4)$

$$\mathbf{JJ = X_4 + J + \mathit{int}(30.6001\,(X_2 + 1)) + \mathit{int}(365.25X_1) + 1720994.5}$$

On trouvera nombre de convertisseur permettant de passer du calendrier grégorien au Jours Juliens et inversement, beaucoup s'appuyant sur le livre de Meeus [477]. On peut utiliser, par exemple, le convertisseur de l'IMCCE[478].

Les bases de calcul

Comme la gravité de chaque corps du système solaire affecte tous les autres en permanence, il est très difficile de calculer le mouvement des planètes et de leurs satellites avec précision en remontant sur de longues périodes de temps. Ceci est connu comme le Problème à N corps qui consiste à résoudre les équations de Newton de N corps qui interagissent. Il existe une théorie des perturbations qui permet de trouver une solution approchée d'une équation mathématique. Elle est utilisée pour trouver des descriptions approximatives des mouvements des corps. On parle ici de descriptions sur des millions d'années.

Mais même sur des périodes plus courtes, les erreurs s'accumulent graduellement. Deux projets existent pour donner malgré un cadre avec lequel travailler, les projets **DE431** qui décrit une étendue de 17000 années et le projet DE430 qui utilise un modèle plus complexe, il intègre en effet le mouvement du noyau de la lune. Sa fiabilité est assurée pour des projections de 1550 à 2650 années, mais moins certaines pour des temps plus lointains.

Les auteurs[479] des bases DE430 et DE431 notent soigneusement les marges d'erreurs résiduelles en croisant observations et calculs observations utilisées dans les calculs. Mais une métrologie complète est complexe du fait qu'il s'agit de systèmes chaotiques et que

[477] Meeus J.,. Astronomical Algorithms, Richmond: Willmann-Bell, 1998
[478] http://www.imcce.fr/fr/grandpublic/temps/jour_julien.php
[479] Folkner W.M. et al., The Planetary and Lunar Ephemerides DE430 and DE431, in IPN Progress Report 42-196, Fev, 2014, http://ilrs.gsfc.nasa.gov/docs/2014/196C.pdf

certaines données d'entrée comme l'orbite solaire en fonction du mouvement de la galaxie comportent encore des inconnues[480].

Le site de l'IMCCE indique d'autres bases INPOP, VSOP82, DE200, VSOP87 et DE403, DE405 et DE406[481].

Le logiciel Alsum utilisé pour les simulations exploite les bases DE431 et DE406 ce qui permet de couvrir notre période d'investigation.

[480] Williams J.G. et *al*, DE430 Lunar Orbit, Physical Librations, and Surface Coordinates, Jet Propulsion Laboratory California Institute Of Technology, Interoffice Memorandum, juillet 2013, http://proba2.oma.be/aux/data/spice/docs/DE430_Lunar_Ephemeris_and_Orientation.pdf

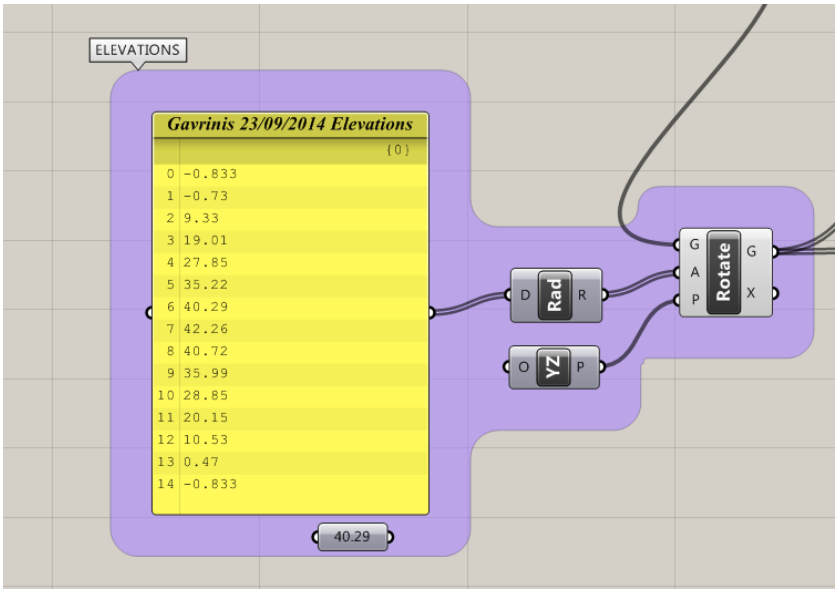
[481] http://www.imcce.fr/fr/ephemerides/generateur/ephepos/biblio.php

Montage de la géométrique solaire

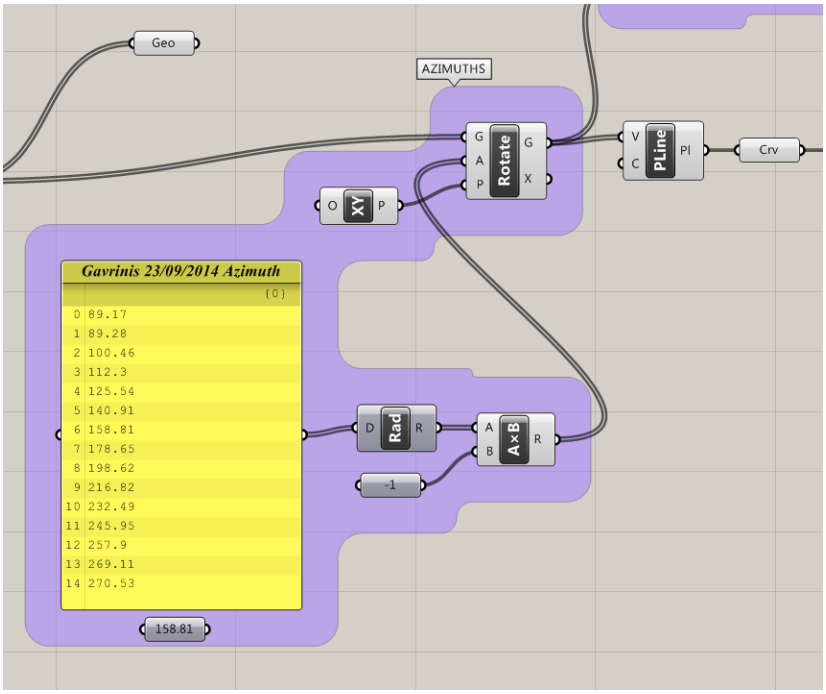
Les vérifications croisées étant faites, les données issues de Alsum vont être utilisées pour calculer les positions solaires.

Préparation dans Grasshopper.

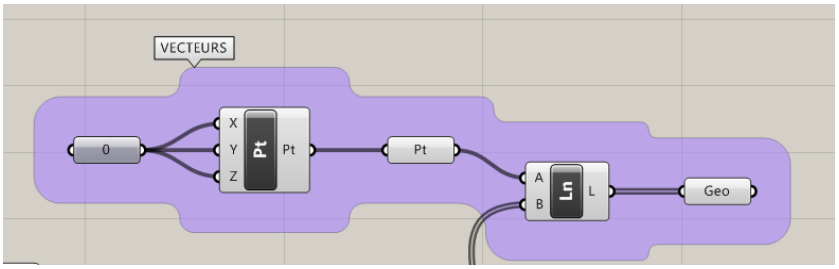
Création d'un tableau contenant les élévations qui seront ensuite traduites en Radians.



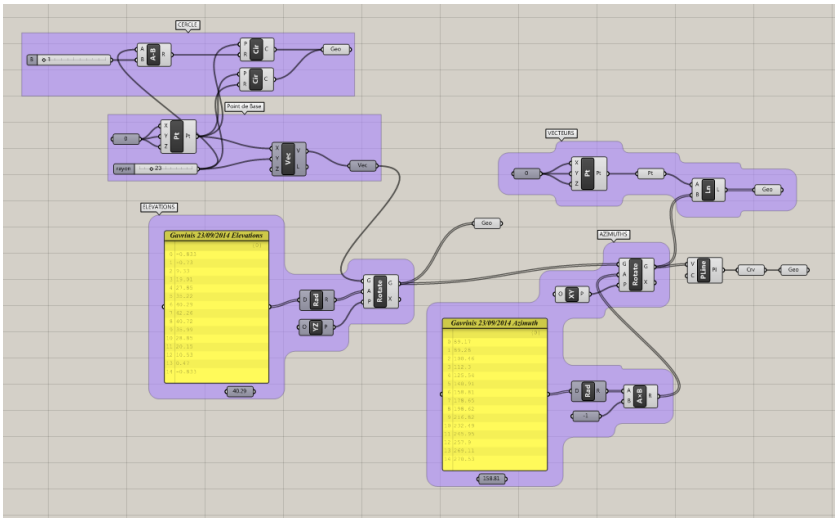
Création d'un tableau contenant les azimuts qui seront ensuite traduites en Radians. Les points sont positionnés ensuite en fonction d'une orientation Nord.



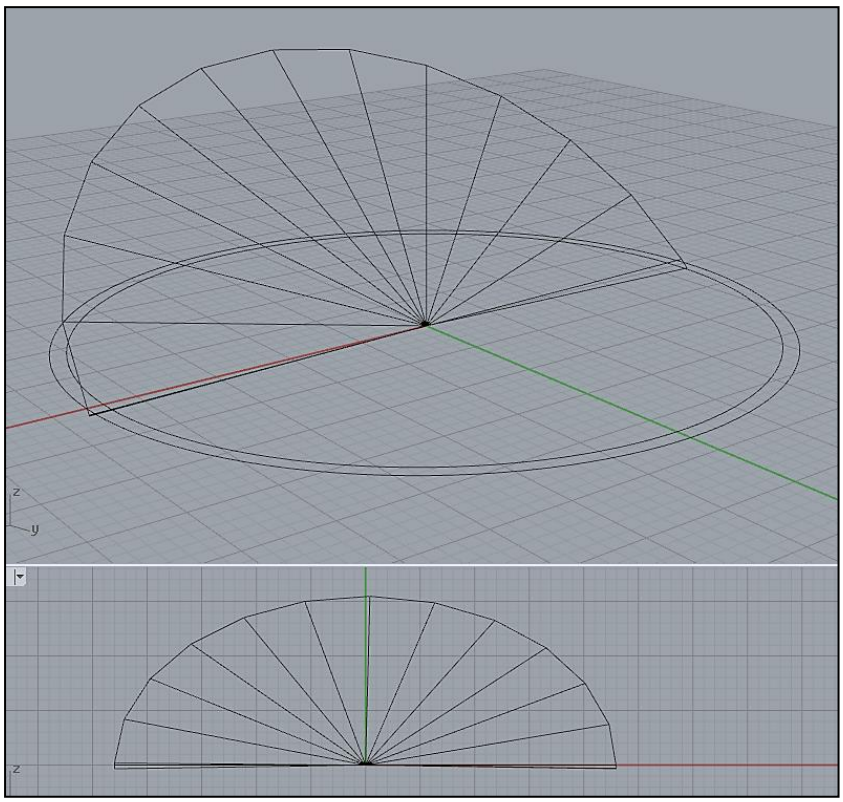
Création d'un vecteur reliant le point d'origine aux positions solaires.



Résultat de la construction des positions de l'équinoxe d'automne de l'année 2014



Traduction géométrique dans Rhino.



Simulation pour l'Equinoxe

Données équinoxe en 2014 : Date : 2014. 9.23

Hour	Astronomical altitude	Apparent altitude	Azimuth
0:00:00	-0.366°		338.734°
1:00:00	-2.380°		358.594°
2:00:00	-0.876°		18.612°
3:00:00	-6.168°		36.866°
4:00:00	-9.055°		52.586°
5:00:00	-0.368°		66.078°
6:00:00	-0.762°		78.061°
7:00:00	-0.728°	-0.126°	89.288°
8:00:00	9.330°	9.423°	100.467°
9:00:00	19.016°	19.061°	112.303°
10:00:00	27.856°	27.885°	125.541°
11:00:00	35.220°	35.241°	140.914°
12:00:00	40.297°	40.315°	158.816°
13:00:00	42.266°	42.282°	178.655°
14:00:00	40.723°	40.740°	198.627°
15:00:00	35.987°	36.008°	216.826°
16:00:00	28.853°	28.881°	232.499°
17:00:00	20.149°	20.191°	245.955°
18:00:00	10.525°	10.608°	257.909°
19:00:00	0.471°	0.890°	269.112°
20:00:00	-9.614°		280.270°
21:00:00	-9.335°		292.092°
22:00:00	-8.219°		305.329°
23:00:00	-5.635°		320.733°
24:00:00	-0.765°		338.720°

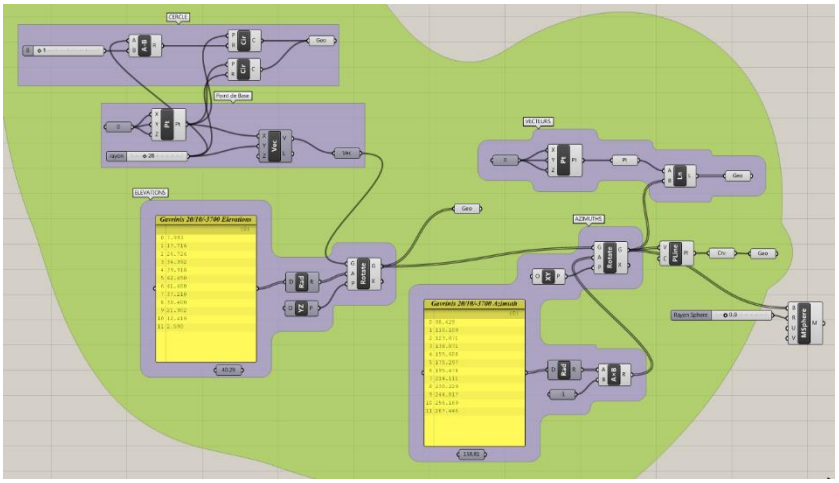
Données équinoxe en -3700 : Date : -3700.10.20

Hour	Astronomical altitude	Apparent altitude	Azimuth
0:00:00	-9.463°		335.737°
1:00:00	-2.021°		355.294°
2:00:00	-1.096°		15.350°
3:00:00	-6.882°		33.919°
4:00:00	-0.124°		50.019°
5:00:00	-1.662°		63.817°
6:00:00	-2.182°		75.990°
7:00:00	-2.196°		87.289°
8:00:00	7.884°	7.993°	98.429°
9:00:00	17.667°	17.716°	110.109°
10:00:00	26.695°	26.726°	123.071°
11:00:00	34.369°	34.392°	138.071°
12:00:00	39.900°	39.918°	155.608°
13:00:00	42.434°	42.450°	175.297°
14:00:00	41.463°	41.480°	195.474°
15:00:00	37.190°	37.210°	214.111°
16:00:00	30.374°	30.400°	230.229°
17:00:00	21.864°	21.902°	244.017°
18:00:00	12.345°	12.416°	256.169°
19:00:00	2.329°	2.590°	267.446°
20:00:00	-7.776°		278.561°
21:00:00	-7.579°		290.218°

22:00:00	-6.628°		303.158°
23:00:00	-4.323°		318.134°

Montage :

Le montage dans Grasshopper reprend les bases décrites précédemment.



Date : -3700. 1.17

Hour	Astronomical altitude	Apparent altitude	Azimuth
0:00:00	-1.291°		317.625°
1:00:00	-6.060°		346.918°
2:00:00	-5.386°		20.568°
3:00:00	-9.642°		47.821°
4:00:00	-1.112°		66.842°
5:00:00	-1.404°		80.882°
6:00:00	-1.319°		92.415°
7:00:00	-1.307°		102.848°
8:00:00	-1.694°		113.022°
9:00:00	-2.791°		123.510°
10:00:00	5.054°	5.211°	134.734°
11:00:00	11.441°	11.518°	146.970°
12:00:00	15.939°	15.994°	160.278°
13:00:00	18.159°	18.207°	174.406°
14:00:00	17.876°	17.924°	188.797°
15:00:00	15.120°	15.178°	202.781°
16:00:00	10.163°	10.249°	215.859°
17:00:00	3.413°	3.621°	227.855°
18:00:00	-4.701°		238.884°
19:00:00	-3.791°		249.261°
20:00:00	-3.520°		259.437°
21:00:00	-3.579°		270.028°
22:00:00	-3.625°		281.971°
23:00:00	-3.160°		296.861°

Date : 2014.12.22

Hour	Astronomical altitude	Apparent altitude	Azimuth
0:00:00	-2.134°		323.910°
1:00:00	-5.783°		354.473°
2:00:00	-3.875°		26.869°
3:00:00	-7.407°		51.913°
4:00:00	-8.575°		69.578°
5:00:00	-8.759°		82.969°
6:00:00	-8.661°		94.231°
7:00:00	-8.696°		104.601°
8:00:00	-9.184°		114.849°
9:00:00	-0.447°	0.105°	125.517°
10:00:00	7.154°	7.272°	137.005°
11:00:00	13.204°	13.270°	149.559°
12:00:00	17.262°	17.313°	163.183°
13:00:00	18.958°	19.004°	177.545°
14:00:00	18.113°	18.161°	192.026°
15:00:00	14.818°	14.877°	205.954°
16:00:00	9.392°	9.485°	218.884°
17:00:00	2.266°	2.530°	230.715°
18:00:00	-6.131°		241.621°
19:00:00	-5.418°		251.959°
20:00:00	-5.265°		262.217°
21:00:00	-5.357°		273.070°
22:00:00	-5.325°		285.560°
23:00:00	-4.599°		301.467°
24:00:00	-2.080°		323.693°

Date : 2014. 6.21

Hour	Astronomical altitude	Apparent altitude	Azimuth
0:00:00	-7.106°		342.447°
1:00:00	-8.931°		356.788°
2:00:00	-8.218°		11.282°
3:00:00	-5.043°		25.255°
4:00:00	-9.716°		38.244°
5:00:00	-2.665°		50.131°
6:00:00	5.679°	5.822°	61.079°
7:00:00	14.930°	14.989°	71.437°
8:00:00	24.758°	24.792°	81.686°
9:00:00	34.848°	34.870°	92.490°
10:00:00	44.836°	44.851°	104.864°
11:00:00	54.167°	54.178°	120.542°
12:00:00	61.780°	61.788°	142.378°
13:00:00	65.716°	65.723°	172.533°
14:00:00	64.132°	64.139°	205.148°
15:00:00	57.863°	57.872°	230.698°
16:00:00	49.119°	49.132°	248.705°
17:00:00	39.334°	39.353°	262.274°
18:00:00	29.238°	29.266°	273.621°
19:00:00	19.254°	19.299°	284.020°
20:00:00	9.707°	9.796°	294.261°
21:00:00	0.915°	1.285°	304.895°

22:00:00	-6.763°		316.331°
23:00:00	-2.913°		328.825°
24:00:00	-7.095°		342.396°

Date : -3700. 7.23

Hour	Astronomical altitude	Apparent altitude	Azimuth
0:00:00	-6.823°		344.261°
1:00:00	-8.338°		358.533°
2:00:00	-7.332°		12.873°
3:00:00	-3.908°		26.636°
4:00:00	-8.393°		39.408°
5:00:00	-1.208°		51.105°
6:00:00	7.223°	7.340°	61.909°
7:00:00	16.528°	16.581°	72.176°
8:00:00	26.384°	26.415°	82.398°
9:00:00	36.478°	36.499°	93.261°
10:00:00	46.441°	46.456°	105.844°
11:00:00	55.687°	55.697°	122.029°
12:00:00	63.066°	63.073°	144.920°
13:00:00	66.472°	66.478°	176.406°
14:00:00	64.193°	64.200°	209.139°
15:00:00	57.443°	57.452°	233.852°
16:00:00	48.464°	48.477°	251.148°
17:00:00	38.591°	38.610°	264.292°
18:00:00	28.489°	28.518°	275.407°
19:00:00	18.557°	18.604°	285.698°
20:00:00	9.111°	9.206°	295.910°
21:00:00	0.467°	0.887°	306.567°
22:00:00	-7.012°		318.055°
23:00:00	-2.913°		330.598°

Date : -3700. 4.20

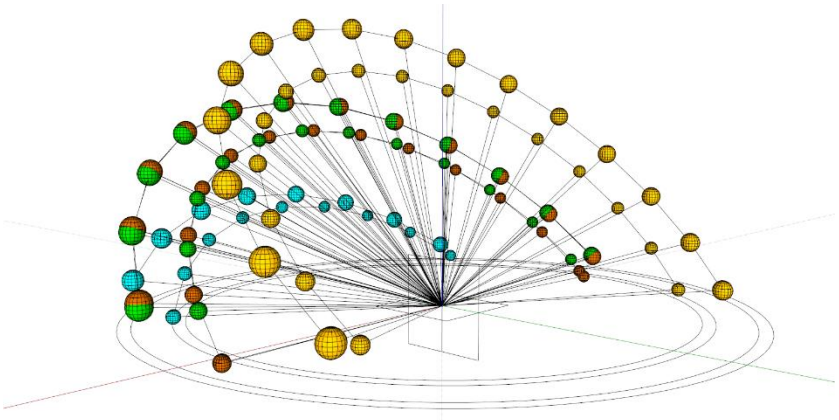
Hour	Astronomical altitude	Apparent altitude	Azimuth
0:00:00	-9.888°		334.882°
1:00:00	-2.550°		354.562°
2:00:00	-1.703°		14.809°
3:00:00	-7.528°		33.565°
4:00:00	-0.776°		49.796°
5:00:00	-2.302°		63.667°
6:00:00	-2.802°		75.869°
7:00:00	-2.793°		87.167°
8:00:00	7.315°	7.431°	98.280°
9:00:00	17.133°	17.183°	109.908°
10:00:00	26.209°	26.240°	122.789°
11:00:00	33.951°	33.974°	137.676°
12:00:00	39.582°	39.600°	155.081°
13:00:00	42.249°	42.265°	174.668°
14:00:00	41.424°	41.441°	194.824°
15:00:00	37.283°	37.302°	213.521°
16:00:00	30.567°	30.593°	229.731°
17:00:00	22.126°	22.164°	243.603°

18:00:00	12.655°	12.724°	255.819°
19:00:00	2.670°	2.913°	267.136°
20:00:00	-7.414°		278.271°
21:00:00	-7.206°		289.925°
22:00:00	-6.254°		302.834°
23:00:00	-3.963°		317.749°

Date : 2014. 3.20

Hour	Astronomical altitude	Apparent altitude	Azimuth
0:00:00	-9.684°		333.877°
1:00:00	-2.523°		353.476°
2:00:00	-1.865°		13.756°
3:00:00	-7.851°		32.635°
4:00:00	-1.213°		49.007°
5:00:00	-2.811°		62.988°
6:00:00	-3.352°		75.259°
7:00:00	-3.359°		86.586°
8:00:00	6.752°	6.876°	97.689°
9:00:00	16.594°	16.646°	109.269°
10:00:00	25.722°	25.754°	122.060°
11:00:00	33.553°	33.576°	136.815°
12:00:00	39.319°	39.338°	154.074°
13:00:00	42.166°	42.183°	173.563°
14:00:00	41.536°	41.553°	193.734°
15:00:00	37.563°	37.583°	212.543°
16:00:00	30.969°	30.994°	228.889°
17:00:00	22.606°	22.643°	242.872°
18:00:00	13.179°	13.246°	255.157°
19:00:00	3.214°	3.431°	266.504°
20:00:00	-6.874°		277.629°
21:00:00	-6.692°		289.234°
22:00:00	-5.796°		302.053°
23:00:00	-3.598°		316.838°
24:00:00	-9.329°		334.121°

Résultat cumulé.



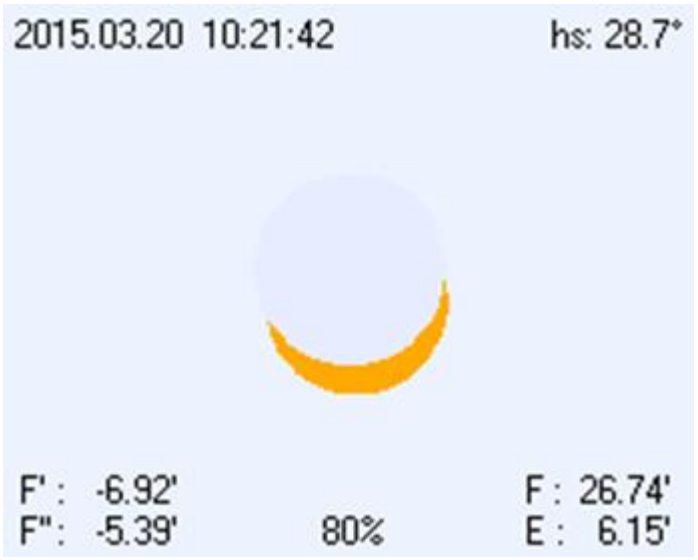
Modélisation de l'éclipse du 20 mars 2015

Une éclipse partielle a eu lieu le 20 mars 2015, visible à son maximal en Bretagne à 10h21. Le logiciel Alsum a été utilisé pour calculer les positions du soleil et de la lune et simuler ainsi ce phénomène exceptionnel.

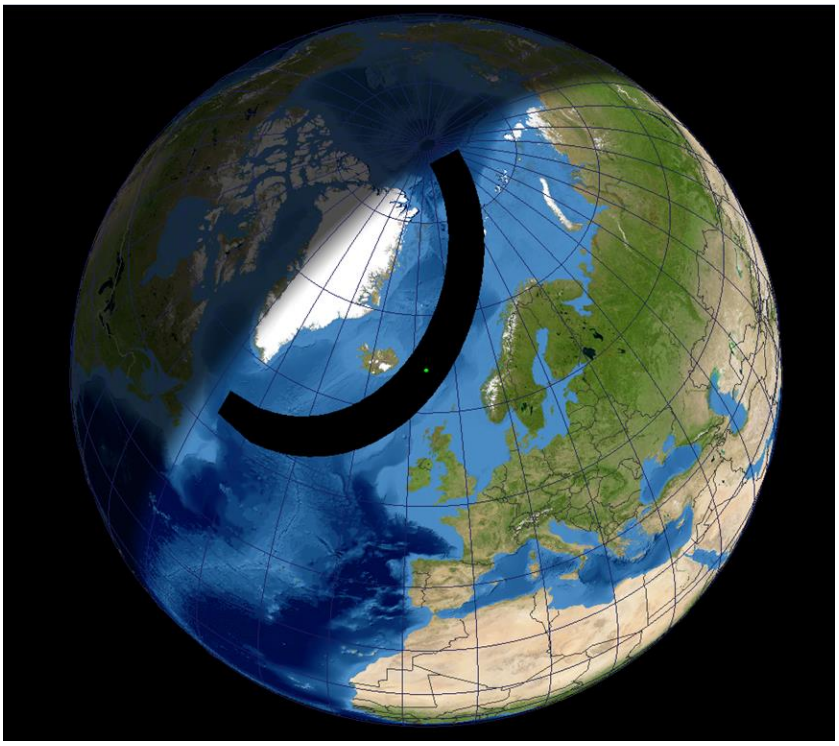
Données géométrique et temporelles

Date	Type	Start	Max.	End	Alt.	Az.
2015.03.20 10:21:42	partial	9:16:24	10:21:42	11:31:42	28.7°	127.2°

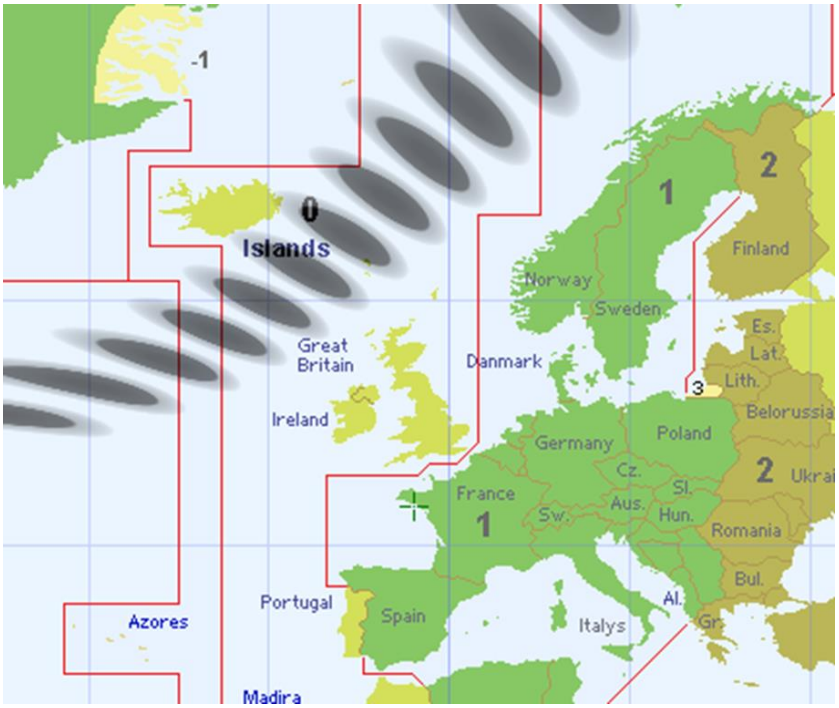
Visualisation de l'éclipse à son maximal.



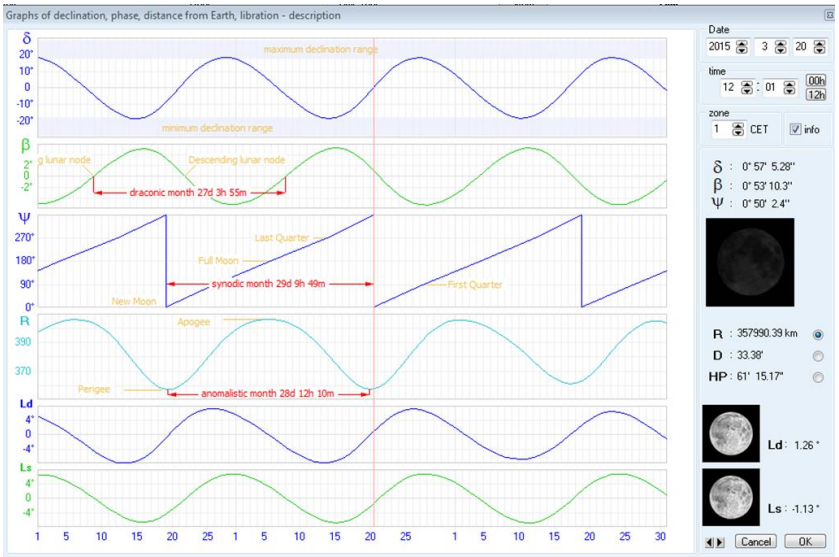
Sur le graphique ci-dessous, est montré d'où l'éclipse totale peut être vue. Cette image est produite par Alsum.



La meilleure position pour voir l'éclipse totale serait aux iles Féroé.



Traduction en graphes.



Observation du phénomène en 3D

- Localisation : Gavrinis, FR
- Position géographique: 47°34'18", 357°06'06"
- Date : 20 mars 2015
- Temps : UT+1.00
- Hauteur de l'oeil : 0 m
- Temperature : 10 °C
- Pression : 1013 hPa

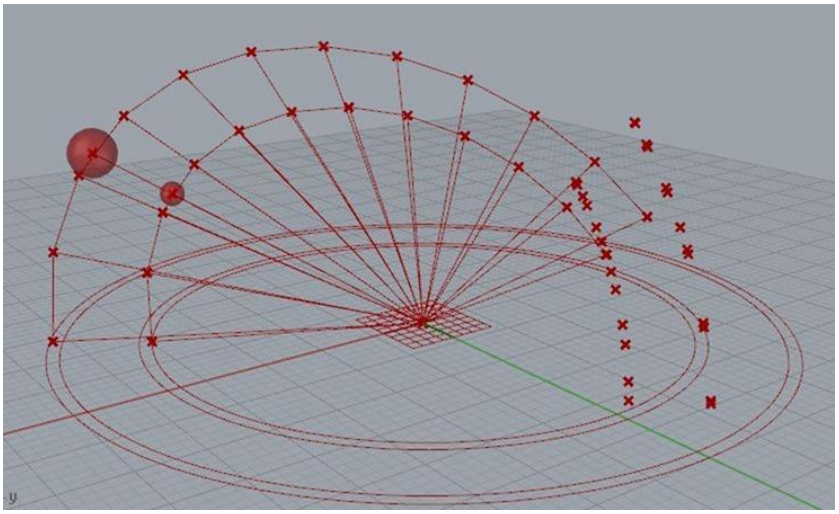
Positions du soleil

Hour	Astronomical altitude	Apparent altitude	Azimuth
7:00:00	-3.443°		86.636°
8:00:00	6.668°	6.794°	97.739°
9:00:00	16.508°	16.561°	109.317°
10:00:00	25.632°	25.664°	122.103°
11:00:00	33.460°	33.483°	136.848°
12:00:00	39.222°	39.241°	154.087°
13:00:00	42.069°	42.086°	173.547°
14:00:00	41.445°	41.462°	193.688°
15:00:00	37.481°	37.501°	212.476°
16:00:00	30.896°	30.922°	228.812°
17:00:00	22.542°	22.579°	242.792°
18:00:00	13.120°	13.186°	255.078°
19:00:00	3.157°	3.376°	266.425°
20:00:00	-6.931°		277.550°

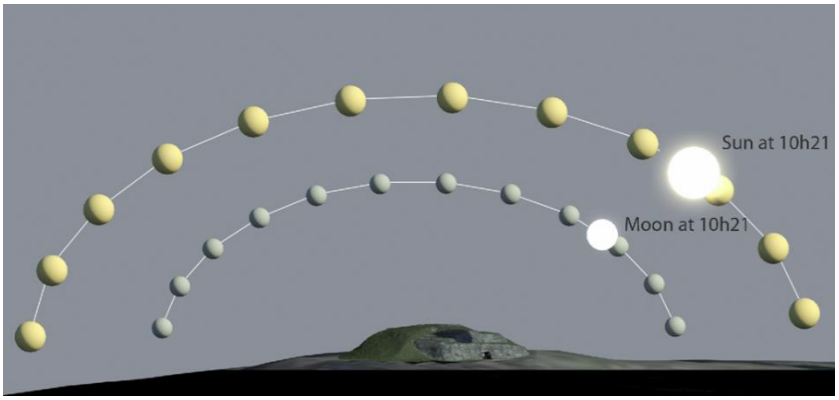
Position de la lune

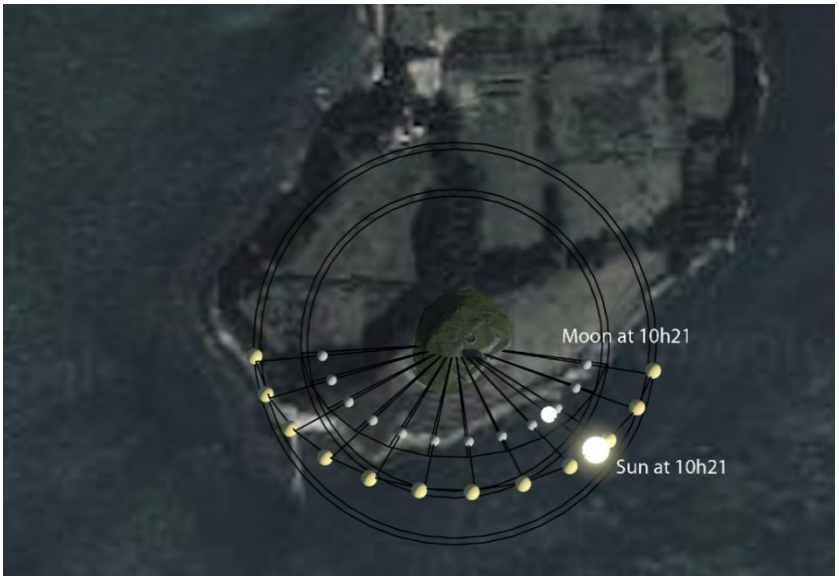
Hour	Astronomical altitude	Apparent altitude	Azimuth
7:00:00	-1.642°		88.268°
8:00:00	8.214°	7.322°	98.852°
9:00:00	17.787°	16.866°	109.962°
10:00:00	26.685°	25.802°	122.271°
11:00:00	34.385°	33.562°	136.484°
12:00:00	40.190°	39.425°	153.142°
13:00:00	43.306°	42.576°	172.084°
14:00:00	43.162°	42.430°	191.946°
15:00:00	39.799°	39.030°	210.731°
16:00:00	33.844°	33.017°	227.198°
17:00:00	26.106°	25.220°	241.293°
18:00:00	17.272°	16.351°	253.596°
19:00:00	7.863°	6.978°	264.821°
20:00:00	-1.719°		275.635°

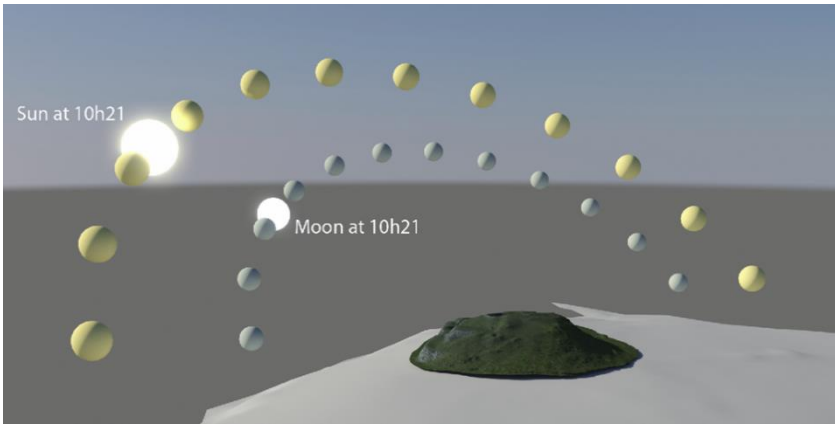
La lune et le soleil sont pratiquement sur un arc identique, ce qui explique pourquoi l'éclipse a lieu ce jour. Dans la visualisation présentée, le diamètre des arcs ne sert qu'à une meilleure visualisation. La visualisation 3D est faite avec Rhino et Grasshopper. Les points horaires d'altitude et d'azimut sont placés dans l'espace puis reliés par des segments construisant ainsi l'arc résultant.

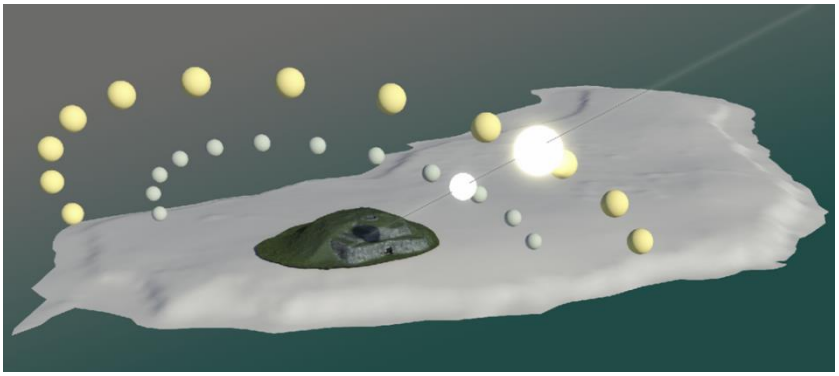


Visualisation pour le site de Gavrinis.

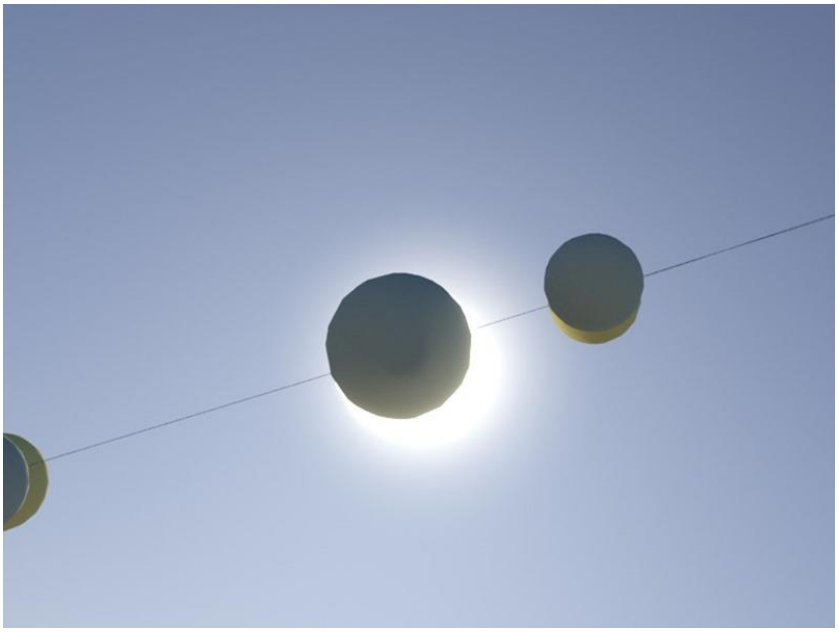








Rendering 3dsMax et MentalRay et *vue du sol.*



Configuration du ciel

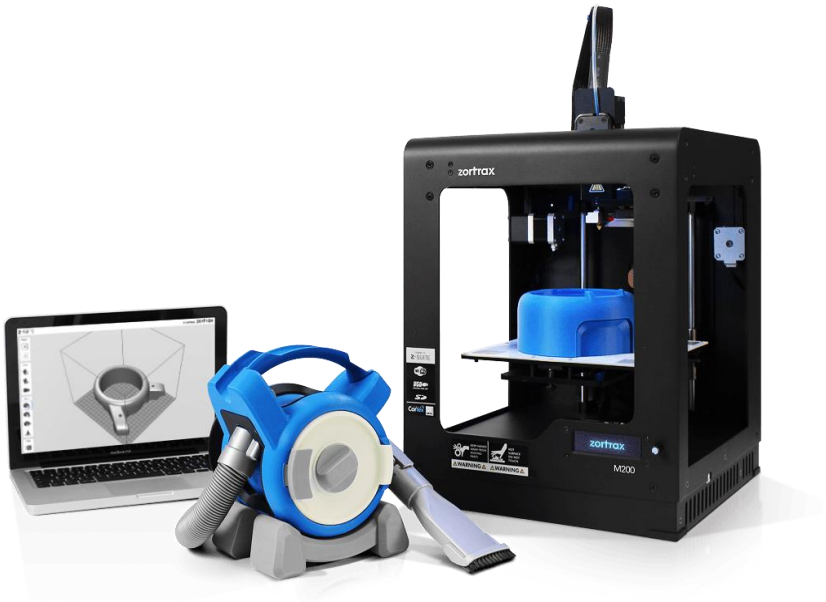
Ce jour-là, le ciel était trop couvert pour observer cette éclipse en Bretagne !

Impression 3D

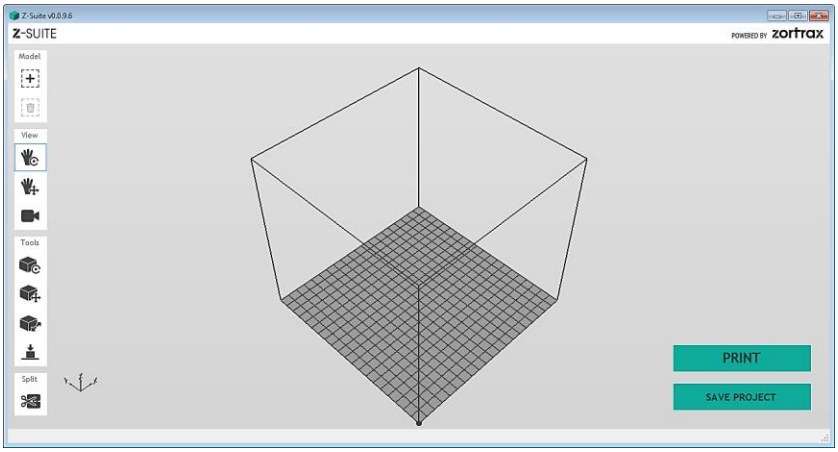
L'impression 3D réclame une preparation technique particulière. Il faut que le modèle soit particulièrement propre, fermé, d'un maillage régulier. Il est également nécessaire d'anticiper les découpes et les points de rupture.

Zortrax M200

L'exemple pris ici se fera avec la Zortrax M200 qui est une petite imprimante 3D conçue par la compagnie polonaise Zortrax établie à Olsztyn dans le nord du pays dans la région des lacs de Mazurie. L'imprimante fait en dimensions 345 x 430 x 430 mm de long, de large et d'épaisseur, c'est donc globalement un cube. L'imprimante se pose facilement sur un bureau ou une étagère, son prix est de 1.599,00€.



L'imprimante est basée sur la technologie **LPD** - Layer Plastic Deposition, ce sont des filaments économiques à l'achat qui offrent une bonne solution d'impression pour les écoles, les universités et les petites compagnies. Le **volume imprimé** faut au maximum 200 x 200 x 185 mm, et la résolution est de 90-390 microns. Tous les détails techniques peuvent être trouvés sur la page de l'éditeur : http://support.zortrax.com/hc/en-us/articles/201929051-Specifications



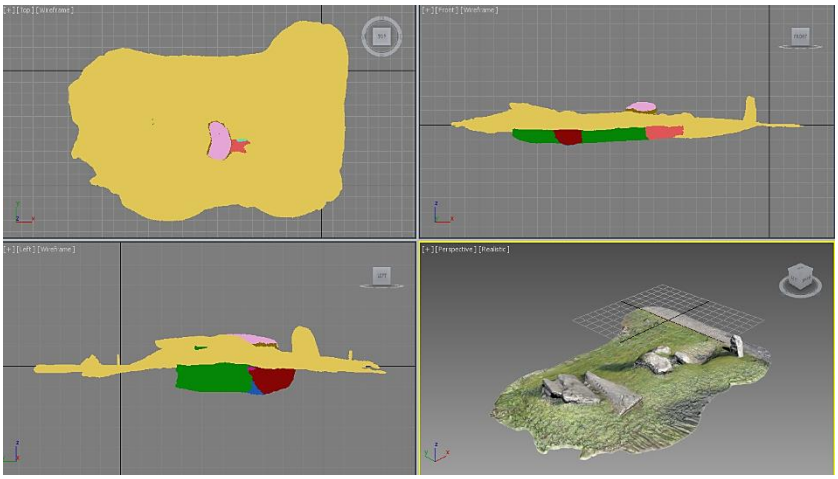
Zortrax fourni le logiciel **Z-Suite** gratuitement, c'est le logiciel nécessaire à la préparation et à l'impression des modèles. Il est possible d'ajuster la taille du modèle, son épaisseur et de créer des zones renforcées pour l'impression. Le logiciel est intuitif, il suffit d'ouvrir un fichier au format STL ou OBJ et faire en sorte qu'il tienne sur la plate-forme. Une réduction d'échelles en pourcentage permet d'imprimer avec une échelle connue. Les détails sur le fonctionnement de ce logiciel sont à cette adresse : http://support.zortrax.com/hc/en-us/articles/201809922-Z-Suite-Manual##adding.

Premier test complexe.

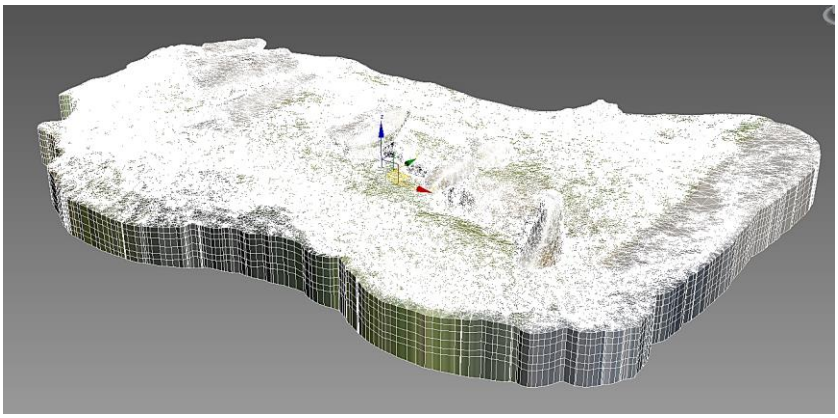
Préparation

Cette impression est réalisée avec une géométrie haute définition issue de la photogrammétrie. C'est le dolmen de Grah-Niol qui a la particularité d'être semi enterré et offre donc des contraintes intéressantes de volume creusé. , le modèle de base a été décimé à 500 000 polygones.

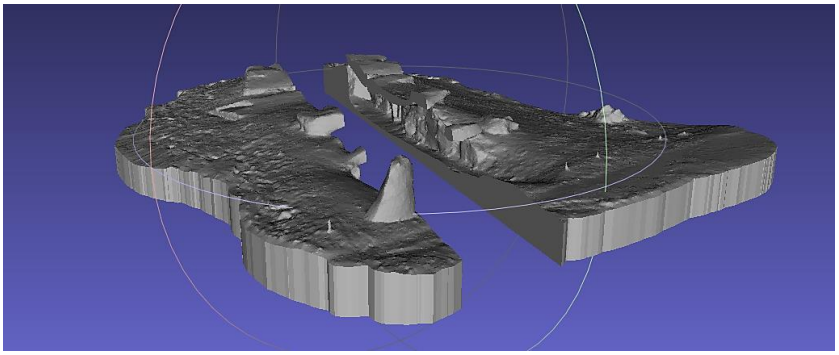
La question était ici de savoir comment couper le modèle pour pouvoir offrir une exploration de l'intérieur du couloir. L'option a été prise de couper dans le longueur du couloir, l'autre option aurait été de soulever le sol pour voir l'intérieur.



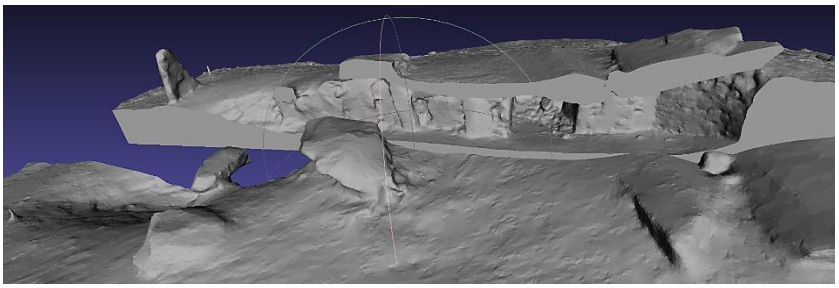
La géométrie est préparée dans 3DsMax, une épaisseur est créée pour constituer une épaisseur au sol, comme si la géométrie avait été extraite par carottage. Il faut se souvenir que pour l'impression 3D, les volumes doivent être fermés.



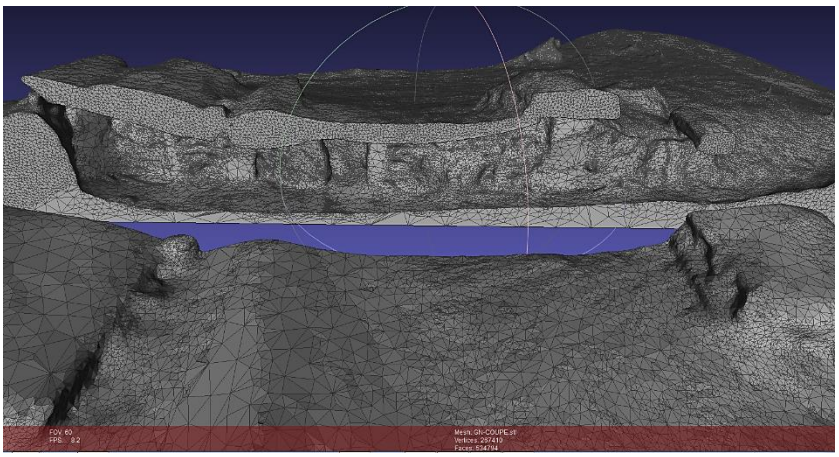
Le modèle est ensuite coupé en deux parties le long du couloir. La faces manquantes sont reconstituées afin de toujours avoir un modèle fermé.



La résolution est adaptée à une impression que ne fera que 18cm de long.

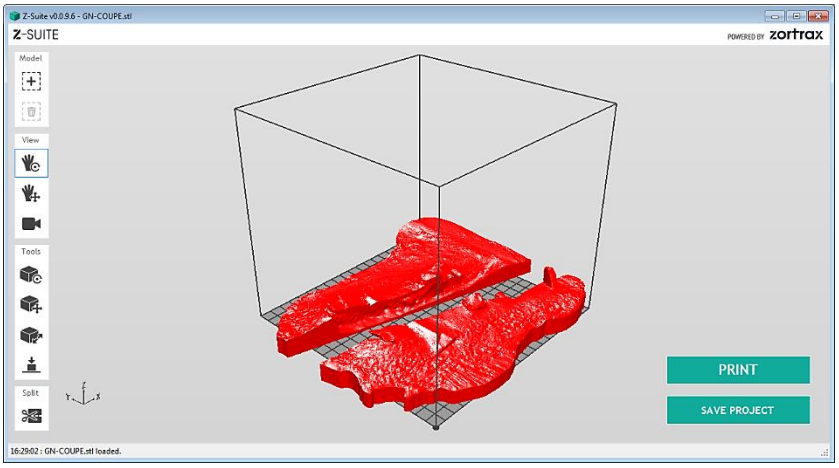


La perte de résolution n'est pas visible. Avec les partis reconstruites, le modèle fait toujours 534 794 polygons.

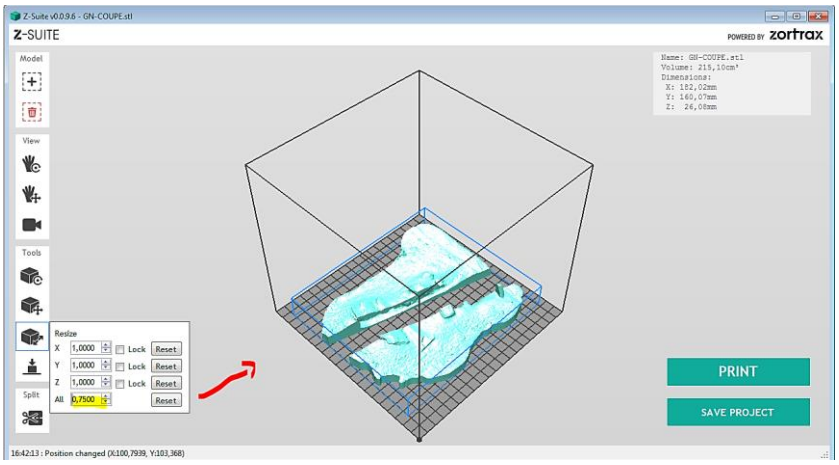


On voit dans le modèle numérique les détails du couloir qui sera révélé comme une coupe donnant des indications précieuses sur les épaisseurs des dalles et la pente à l'intérieur.

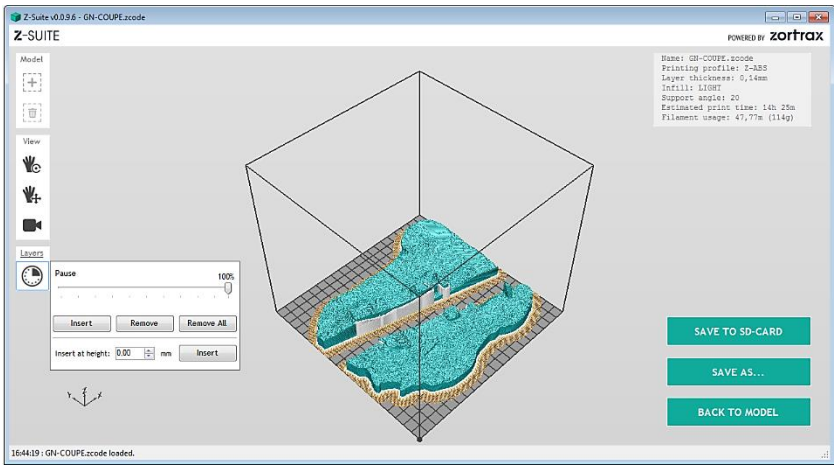
La géométrie est sauvegardée en STL et importée dans Z-Suite.



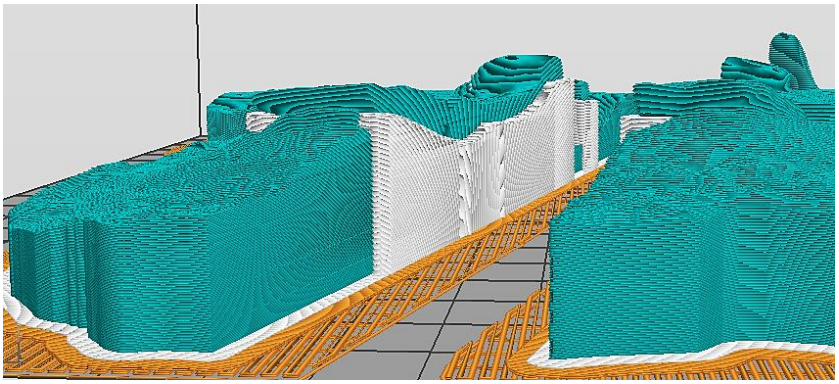
La couleur rouge indique que la géométrie déborde du support d'impression.



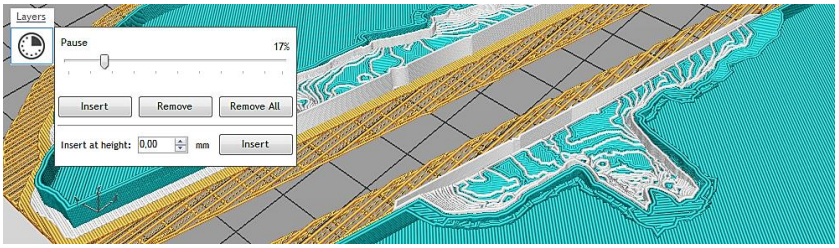
Une fois cela corrigé, il suffit d'appuyer sur le bouton Print pour aller à l'étape suivante du processus. Le logiciel donne des indications sur le temps d'impression et la matière première consommée.



The orange color refers to the socle that will be then removed. The white parts are what will also be removed, it's where the voids are.



Il est aussi possible de pré visualiser l'impression, couche après couche.

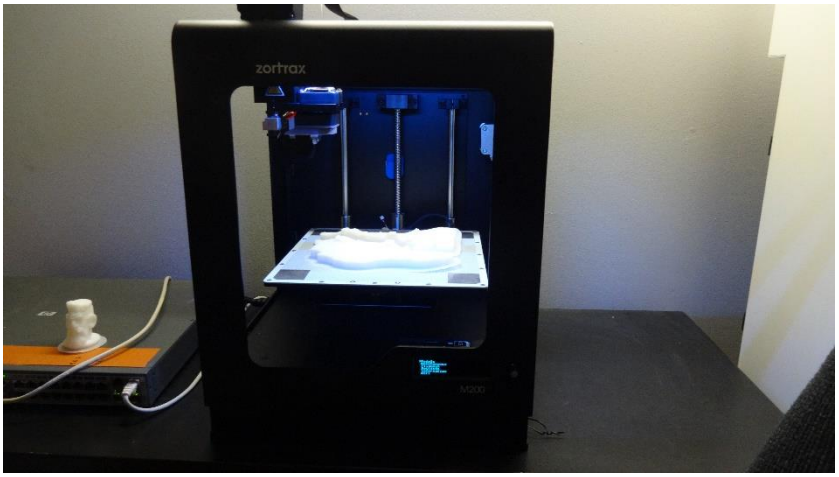


Pour ce modèle, l'impression durera 14h25m et utilisera 47,77 m de filamment pour être complet.

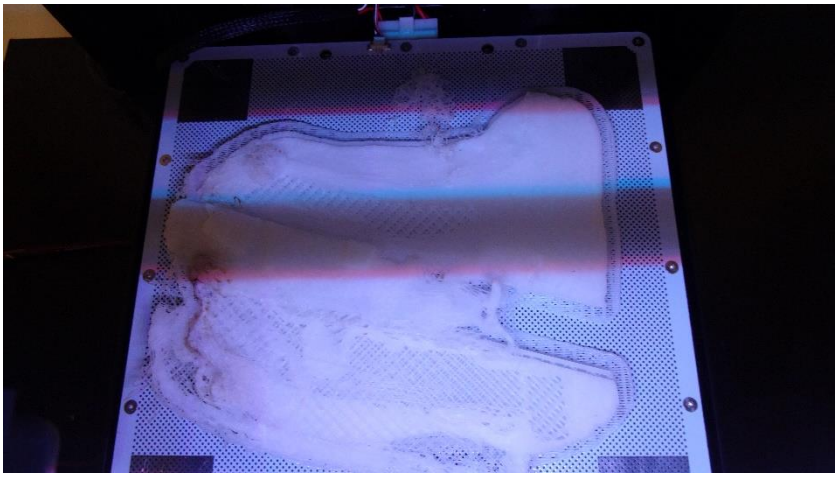
```
Name: GN-COUPE.zcode
Printing profile: Z-ABS
Layer thickness: 0,14mm
Infill: LIGHT
Support angle: 20
Estimated print time: 14h 25m
Filament usage: 47,77m (114g)
```

Résultats

Le même modèle a été lance sur deux imprimantes identiques à des fins de comparaison.

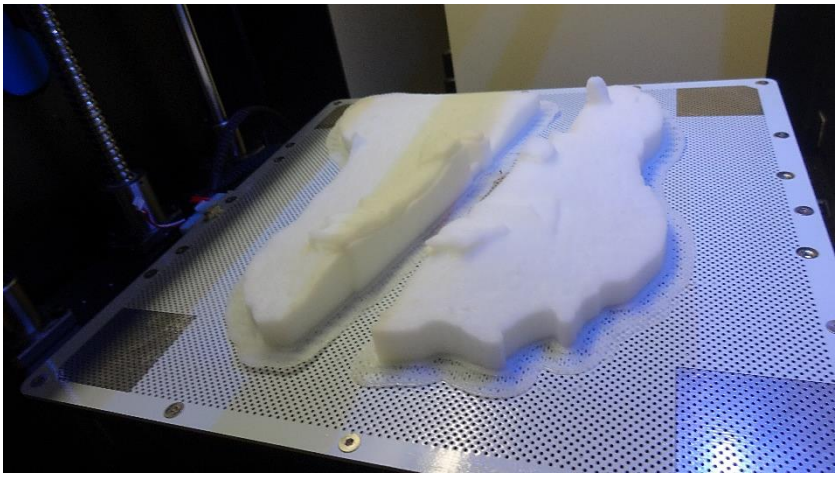


L'une des deux impressions a complètement échoué. Tout a fondu offrant une image assez désastreuse.



Cela est probablement dû à la température de la plaque, trop chaude. Ce type de géométrie est particulièrement redoutable pour ces imprimantes car il y a des bords fins, des creux et une grande surface plane. Toute déformation génère des erreurs qui pénalisent toute la suite du processus. Ici, le socle s'est probablement légèrement soulevé.

L'autre impression s'est, elle, à peu près normalement déroulée.

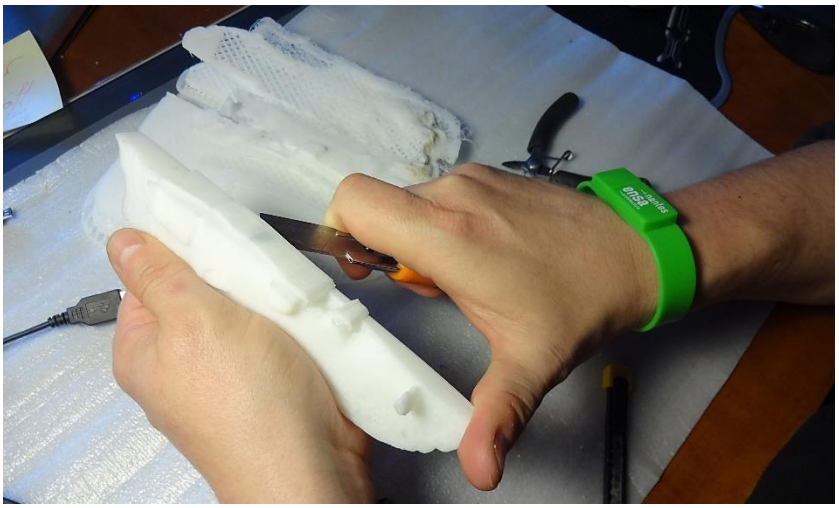


Le socle s'est également légèrement soulevé, mais sans trop déformer la suite de l'impression.

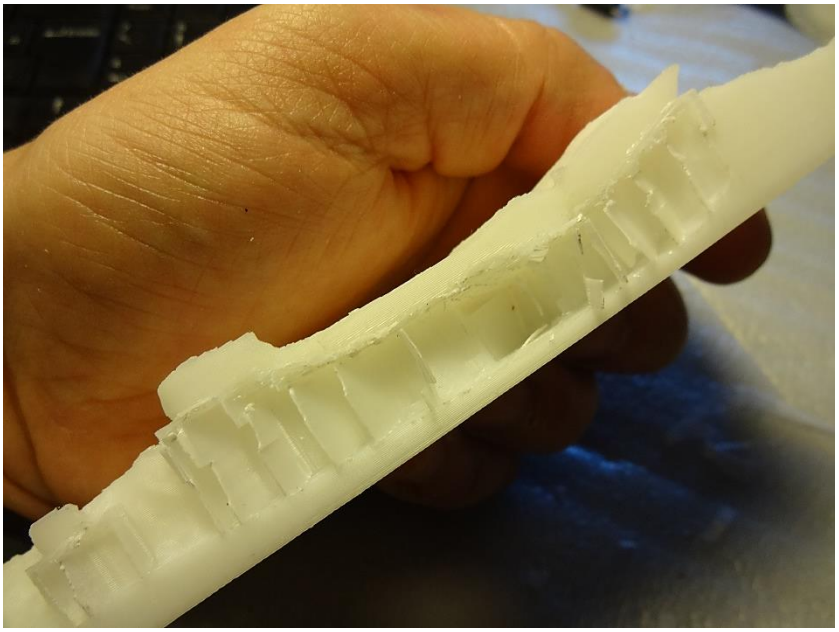
Retirer le socle d'impression est assez intimidant, on peut avoir peur de casser le modèle. Il faut pourtant bien forcer et les parties à retirer viennent assez facilement.

C'est ce socle qui s'était déformé dans l'autre imprimante. Comme il est très large, il est probable qu'il y ait eu une trop grande différence de température entre le début et la fin.

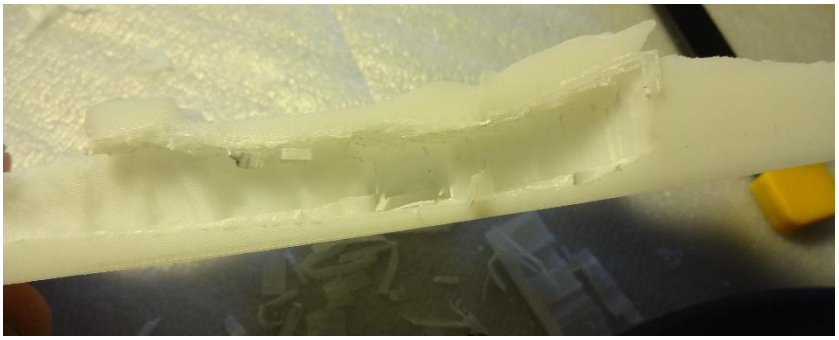
Il faut ensuite retirer les parties intérieures, ce qui est beaucoup plus difficile. Il y a une première couche de protection et ensuite un remplissage léger.



Il est possible de trouver des lames adaptées pour ce type d'opération. Ici, c'est un cutter classique.

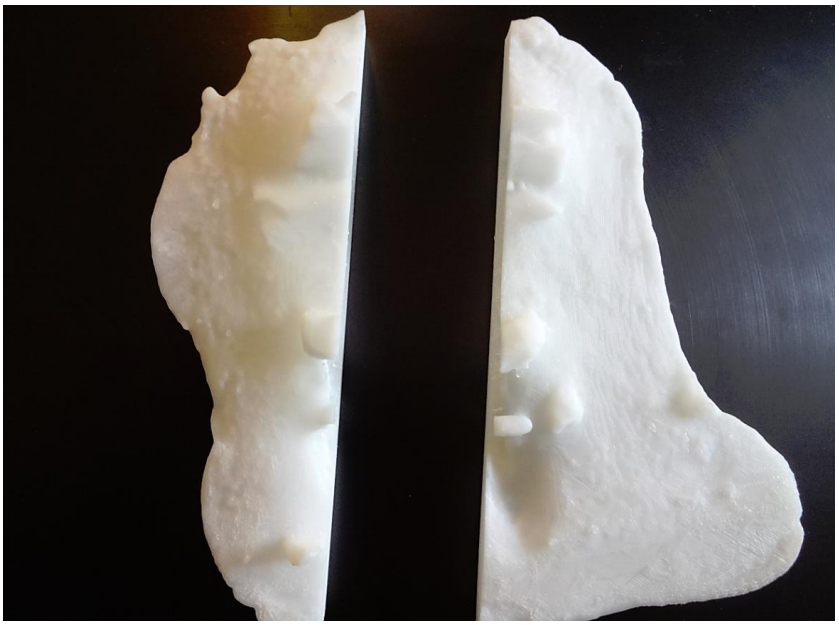


La première couche protectrice est enlevée, il faut maintenant retirer le remplissage intérieur qui lui-même forme un volume. En arrivant à retirer le volume d'un coup, on parvient à un résultat plus propre et plus rapide.



Le nettoyage fini, les deux parties peuvent être assemblées.

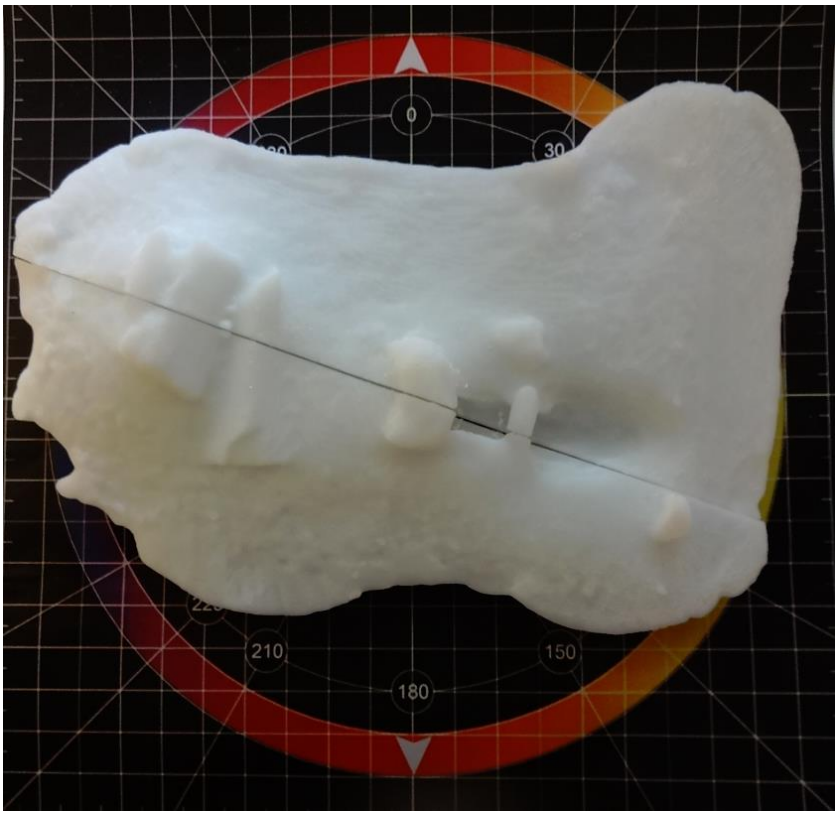
Et séparées.



Conclusion

Passer d'un modèle numérique à un modèle analogique grâce à l'impression 3D est toujours une source de satisfaction. On se rend toutefois compte qu'il faut anticiper les problèmes futurs dès le relevé sur le terrain, puis avoir en tête les contraintes à venir lors de la fabrication du maillage et de son découpage en vue de l'impression.

La résolution n'est pas aussi bonne qu'attendu, mais les générations suivantes apporteront les améliorations attendues.



Laurent Lescop

École doctorale : Sciences pour l'Ingénieur, Géosciences et Architecture
Discipline : Aménagement de l'espace, Urbanisme
Unité de recherche : Centre de Recherche Nantais Architectures Urbanités
Novembre 2015

Mémoire HDR

Livret 3 : **Références personnelles**
Publications et mémoires encadrés

ENCADREMENT DE THESES

Toinon Vigier : Suggestion et perception des ambiances climatiques dans les environnements virtuels urbains, SPIGA, ***encadrement 30%, thèse soutenue***

Valentin Grimaud : Réexplorer et valoriser les architectures funéraires monumentales du Néolithique de l'Ouest de la France, SCE, ***encadrement 50%, thèse soutenue***

Emmanuelle Gangloff : La profession de scénographe; émergence et spécificités dans l'espace urbain, DEGEST, ***encadrement 50%, thèse en cours***

Par ailleurs, l'ensemble des mémoires et travaux de recherches, DPLG, MASTER, PFE, SCENO (94) sont encadrés à 100% ou 50%, la tradition en architecture est, quand cela est possible, le double encadrement.

Curriculum Vitae

103 rue Jean-Baptiste et Henri Tendron – 44400 Rezé
Téléphone : 02 40 75 73 99 / 06 1970 66 05
mel/web : laurent.lescop@nantes.archi.fr / www.keris-studio.fr/blog

MAITRE ASSISTANT, DISCIPLINE STA – CHERCHEUR
A L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
ARCHITECTE DPLG, DOCTEUR EN SCIENCES POUR L'INGENIEUR

ETUDES ET DIPLOMES

12/99 **Doctorat sciences pour l'ingénieur**, Université de Nantes, école polytechnique / Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes. Mention très honorable et félicitations du jury (Qualifié section 24 en 2001)
09/95 **DEA**, Ambiances Architecturales et Urbaines, Université de Nantes
02/94 **Diplôme d'Architecte dplg**, E.A.Nantes avec les félicitations du jury
09/88 DEA en Architecture, Ecole d'Architecture de Nantes

DISTINCTIONS PARTICULIERES

- Lauréat 2001 du concours *Innovation* Ministère de la Recherche, catégorie « Emergence »
- Finaliste concours ALTRAN « Mieux Vivre en Ville », 2001
- 2° Prix de la Ville de la thèse de la ville de Nantes, 2000
- Premier prix de la thèse de la Caisse des Dépôts et Consignations, 1999
- Premier prix Innovation+ Prix communication scientifique, Doctoriales, 1997
- Prix spécial le Chasse-Marée Armen, Brest 1996, pour la ville d'Ys

PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS ENSAN

Enseignements LICENCE, Représentation / Instrumentation numérique.
Culture numérique théorique et pratique, travail sur l'articulation pratique instrumentale et la dimension conceptuelle, modélisation numérique, Intensif informatique, conférences sur la culture numérique.

Enseignements MASTER
Architecture en Représentations : Proposer une méthode de conception architecturale partant de la sensation spatiale pour aller vers l'objet architectural. Maîtrise des outils de modélisations numériques des ambiances sonores et lumineuses dans le projet. Maîtrise des dimensions physiques du projet. Maîtrise de l'écriture cinématographique
Architecture des Lieux Scéniques : Conception des salles de spectacle. Maîtrise des ambiances du projet. Maitrise de la communication des intentions de projets
UET : Algo Archi : modélisation paramétrique, temps réel, dispositifs immersifs, algorithmique, morphogénèse
UET : Architecture et Lumières : culture de la lumière, création, mise en œuvre, simulation des dispositifs lumineux, maitrise des outils et des méthodes liés à la lumière.
Encadrement des **MEMOIRES** : scènes et décors réels et virtuels, nouveaux médias, mise en valeur patrimoniale

Enseignement FPC : Formation Professionnelle Continue
Instrumentation informatique, informatique théorique et pratique, culture numérique, pratique instrumentale.
DPEA SCENOGRAPHIE : encadrement des mémoires, ambiances et lumière, dispositifs immersifs.
UNBANISTIC – ECOLE CENTRALE / ENSA NANTES : représentations des données urbaines, ville sensible.

ACTIVITES INTERNATIONALES – RECHERCHE ET ENSEIGNEMENT

*Une importante coopération est entretenue avec l'école du **Bauhaus**, Hochschule Anhalt de **Dessau** en Allemagne depuis 2003, portant sur de la recherche (patrimoine et mémoire), de l'enseignement et des activités de valorisation. Développement de la collaboration avec **l'HCU Hambourg***

Scénographie virtuelle	-	Mise au point de dispositifs d'immersion : Naexus
Projet de recherche	-	Définition et réalisation de contenus
	-	Valorisation des résultats, communications et conférences.
Narrative architecture	-	Ecriture interactive
Visiting Professor	– -	Modélisation et expression du projet
enseignement du projet	-	Restitution dans un espace immersif

Responsable pour les échanges ERASMUS avec les écoles allemandes, polonaises, Europe Baltique et Grèce et Co-organisateur du **Workshop international Design Injection**, Gdansk-Hambourg-Nantes, juillet 2013, juillet 2014 et octobre 2015.

ACTIVITES DE RECHERCHE AU SEIN DU CRENAU

L'axe thématique est celui de la scénologie virtuelle comme outil de connaissance et de médiation. Cet axe se décline en trois thèmes principaux. Les travaux de recherches sont valorisés par le gain d'appels d'offre (Culture, Région, Département) et dans des programmes transversaux (Valeurs de la Culture)

Valorisation patrimoniale	-	Relevé laser et photomodélisation de sites patrimoniaux
avec le LARA UMR 6566	-	Mise en forme des données, corrélation scientifique
Co-direction de recherche	-	Création de supports de médiation, restitutions, visites virtuelles
	-	Scénographie de valorisation
Bulle immersive	-	Définition technique des matériels et logiciels
Direction de recherche	-	Réalisation de maquettes échelle 1 : Naexus 2
Scénographie virtuelle	-	Définition des besoins et Maquettage d'une application métier

Membre du Conseil Scientifique de L'ENSA Nantes

ENSEIGNEMENTS EN FORMATION PROFESIONNELLE

Les recherches menées au CRENAU conduisent à développer des offres de formations ponctuelles.

Scénographie Virtuelle	Représentation / Instrumentation numérique
Nature de l'enseignement : informatique théorique et pratique dédiée aux techniciens du spectacle **Organisme d'accueil** : Pôle Atlantique de Formation Continue, URCAEU des Pays de la Loire.	- Méthodologie et stratégies numériques - Modélisation et organisation des données - Echanges (importation / exportation) de données - Relevé des équipements et mise en forme - programmation dynamique des composants - Simulation physique des composants
Formation Lumière	

Nature de l'enseignement : formation théorique et pratique dédiée aux techniciens de la lumière
Organisme d'accueil : Pôle Atlantique de Formation Continue, URCAEU des Pays de la Loire.

- Concevoir un projet de mise en lumière durable à l'échelle architecturale et urbaine
- Appréhender l'éclairage comme une mise en usage de la ville et des lieux quelle porte

ORGANISATION DE CONFERENCES ET MANIFESTATIONS IMPLIQUANT L'ENSA NANTES

En lien avec l'enseignement ou la recherche, des conférences, rencontres et manifestations culturelles sont organisées au sein de l'école ou en rapport avec elle.

Scopitone 2010	-	Création originale de l'artiste Sanch dans le dispositif Naexus
Scopitone 2011	-	Création originale du groupe Purform dans le dispositif Naexus
WorkShop et Ateliers	-	Conférence « art et lumière ; Conférence « paysages virtuels »
(France – Allemagne)	-	Ateliers paysages de lumière, scénographie virtuelle
Lumière 2012-2015	-	Co-Oorganisation de cycles de conférences sur la conception lumière.
Semaine du Golfe 2013 - 2015	-	Installation du dispositif immersif Naexus pour la médiation archéologique

ENCADREMENT DE DOCTORANTS

Trois doctorants sont actuellement co-encadrés

Ecole Centrale de Nantes	-	Restitution des ambiances climatiques dans un dispositif virtuel
Université de Nantes	-	Valorisation et médiation des recherches archéologiques
	-	Scénographie urbaine, la scénographie urbaniste.

ENSEIGNEMENTS ANTERIEURS

Ecole d'Architecture de Nantes	2000 → 2001 Enseignant vacataire
Nature de l'enseignement : CAO-DAO, Image de synthèse Formation Internet Sémiotique et architecture	Modélisation Lumières et textures ; cadrage et rendu Montage et animation ; réalité virtuelle Introduction à la sémiologie
Université de Nantes, DESS Espaces et Territoires	1997/2005 Enseignant vacataire
Nature de l'enseignement : Sémiotique et architecture **Objectif** : Formation des étudiants aux notions de sémiotique appliquées à l'architecture	Notions générales, introduction à la sémiotique Perception de l'espace Comprendre et restituer
Ecole d'Architecture de Bordeaux **Institut de Géoarchitecture de Brest**	2000 - 2001 Conférencier
Nature de l'enseignement : Sémiotique et architecture **Objectif** : Formation des étudiants aux notions de sémiotiques appliquées à l'architecture	Notions générales, introduction à la sémiotique Perception de l'espace Comprendre et restituer, concevoir

VALORISATION DE LA RECHERCHE

2000 **:** ***Diagnostic d'ambiances***, valorisation des travaux du CERMA, présenté et distingué aux concours et manifestations nationales comme le concours **ALTRAN** (finaliste), **StartWest** ou les rendez-vous **d'ALIZE**.

2001 : ***Abita+,*** Développé dans le cadre du concours **ANVAR Ministère de la Recherche et de l'Industrie et l'ENSAN,** le logiciel, lauréat en catégorie « émergence ».

2008 : **Scénograph*IA*** *:* lauréat de l'appel à projets de recherche émis par la **Région Pays de la Loire** sous l'intitulé Design'in / Pays De La Loire impliquant le GERSA, Angers Nantes Opera et Cedreo Interactive. L'outil est actuellement en tests au théâtre Graslin à Nantes.

2010 . ***Naexus*** : financement PRES-UNAM : dispositif immersif, développement ENSAN-CRENAU, HochSchule Anhalt Dessau, Ecole du Bois. L'exploitation se fait en partie par les artistes de Stréréolux.

2010->2015: ***Gavrinis*** : Financement CG56, Ministère de la Culture. Valorisation et médiation patrimoniale d'une recherche fondamentale intégrant les nouvelles technologies de modélisation et de restitution. Le projet sous la conduite scientifique du LARA et du GERSA, s'inscrit dans le contexte de la classification du site au patrimoine mondial de l'humanité (UNESCO).

2012 : ***Avel*** : Financement Ministère de la Culture, identification, numérisation, valorisation virtuelle du patrimoine maritime de Bretagne, projet DRAC Bretagne, CRENAU, MWW, MgDesign.

Expositions concernant la légende de la Ville d'Ys
2002 : La Ville d'Ys, une Atlantide bretonne, Musée Départemental, Quimper
2000 : Chroniques de la Terre, Conseil Régional des Pays de Loire, expo itinérante
1997 : La ville engloutie, Festival d'été, Saint Aignant de Grand-Lieu.
1996 : Les passeurs de mémoire, Manoir de Kernault, Mellac

CATALOGUES

Publication dans le catalogue de l'exposition nationale «les passeurs de mémoire», 1996 ISBN 2-9510620-0-1
Publication dans le catalogue de l'exposition du Musée Départemental Breton pour l'exposition « La Ville d'Ys, une Atlantide bretonne » ISBN 2-906633-20-8

PROJETS ARCHITECTURAUX ET EXPERTISES

Depuis 2005, mon activité est entièrement centrée sur l'enseignement et la recherche afin de donner à ces deux activités toute l'attention qu'elles réclament.

Missions de typologie HQE (1999-2005)

Etude d'ensoleillement pour l'extension de la maison de retraite St Paul à Rezé
Etude d'impact pour la création d'un jardin d'enfants extérieur à Nantes
Etude d'impact et d'ensoleillement pour le rehaussement d'une toiture à Paris
Etude d'impact et d'ensoleillement pour l'extension d'une maison à la Baule
Etude d'ensoleillement pour la construction de logements à Rezé (rue le Carval)
Etude d'ensoleillement pour la construction de logements à Rezé (Font. Launay)

Etude exploratoire sur la perception multicritère du square Fleuriot à Nantes
Etude exploratoire sur la perception thermique du hall de la piscine Léo Lagrange à Nantes
Etude d'impact sur la création d'un jardin public à Nozay
Création d'une méthodolo :;gie pour la typologie des espaces urbains de l'Ile de Nantes lors du concours (au sein de l'équipe lauréate Chémetoff Cap Urbain)
Création d'un observatoire des modèles de transports (laboratoire CERMA – PREDIT)

Missions accompagnement certification Habitat & Environnement

2003 - Ville de Rezé, 34 logements, la Nantaise d'habitations (opération H&E)
2004 – Ville de la Chapelle sur Erdre, Lamotte, (opération à visée H&E)
2005 – Ville de la Roche sur Yon, Atrealis, 22 maisons (opération H&E)
En accompagnement du cabinet de programmation Cap Urbain

- Enquête qualitative pour la fusion des services DASS-DRASS de Rennes
- Enquête qualitative pour Sport et Territoires
- Enquête qualitative pour la rénovation des piscines de Lorient
- Enquête qualitative pour l'ouverture de la piscine Jules Vernes à Nantes

Projets architecturaux construit *(246 logements)*

TRIPOLI – Conception d'un centre de Réalité Virtuelle.
COUERON – réhabilitation du Centre Social Henri Normand, M.O. Ville de Couêron
NANTES – Zac du Pilleux – Secteur Sud Ilot A, 45 logements en accession, M.O. Marignan Promotion
SAINT HERBLAIN – La Solvardière, le Domaine d'Hermeland, 38 logements en accession, M.O. Arc Promotion
ORVAULT– ZAC du Bignon, 24 logements locatifs – FARA, M.O. SCIC – SAMO
SAINT BREVIN LES PINS – Résidence " La Lice ", 8 logements locatifs, M.O. – Espace Domicile
SAINT BREVIN LES PINS – « Les Terrasses d'Arsonval », 12 logements intermédiaires 17 maisons individuelles groupées, M.O. – Espace Domicile
SAINT BREVIN LES PINS – « Les Tamaris » Projet de 10 logements locatifs individuels, M.O. – Espace Domicile
La CHAPELLE sur ERDRE - immeuble de 32 logements, d'un habitat intermédiaire de 10 logements et de 15 maisons individuelles groupées - Lamotte
SAINT HILAIRE DE RIEZ - Ensemble immobilier de résidences vacances (non réalisé) – Marignan Promotion

MISSILAC – Résidence « Les Herbets », 16 logements locatifs, M.O. – Espace Domicile
RIAILLE - Les hameaux de l'Erdre - Projet de 7 maisons individuelles – Nantaise d'Habitations
RIAILLE – L'Orée du Bois - Projet de 5 maisons individuelles – Nantaise d'Habitations
COURNON - Villa Kerneis : Maison pour particulier
CHAPELLE BASSE MER - 6 maisons individuelles groupées et d'un collectif de 15 logements – SAMO
SAINT JULIEN DE CONCELLES – « La Passerelle 2 » - Maison de retraite – MO Nantaise d'Habitations
LES SORINIERES - Maison de retraite Foyer – MO Nantaise d'Habitations
SAINT HERBLON - – « Les Logis du Moulin » – MO Nantaise d'Habitations

Recherches pour entreprises privées

Outils pour la rétro ingénierie de sites industriels en Afrique du Nord, Anglo-Italian TECH. LTD ; 2005
Design et réalité virtuelle pour l'industrie en Afrique du Nord, Artabel ; 2004

Conférences et publications récentes

COLLOQUES, SEMINAIRES, CONFERENCES

Bruno Suner, Laurent Lescop, Marcel Freydefont, Régis Vasseur, Didier Morel, «***Approche du relevé des cages de scène***» - Biennales internationales du spectacle (BIS), Nantes, 20 janvier 2010

Laurent Lescop, Bruno Suner, Marcel Freydefont, Régis Vasseur, «***Méthodologie du relevé des salles de spectacle***» STAFF (Spectacles et Techniques : Association Française de Formation), Nantes, 12 mars 2010

Laurent Lescop, «***Kultur und Stadtentwicklung an der Loire***» (Culture et développement urbain sur la Loire) Fondation du Bauhaus Dessau, 16 juin 2010

Didier Morel, Bruno Suner et Laurent Lescop, « ***Scenographia : de la numérisation des cages de scène à la création d'un modèle numérique fonctionnel*** », Colloque « Photogrammétrie au Service des Archéologues et des Architectes », organisé par la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection avec le Comité international de photogrammétrie architecturale, les 9 et 10 septembre 2010 à la Chartreuse de Villeneuve-les-Avignon

Laurent Lescop, « ***À la recherche de la frontière effacée : le mur de Berlin. Le palimpseste Checkpoint Charlie*** » Colloque européen « Frontières oubliées, frontières retrouvées – Marches et limites anciennes en France et en Europe », 30 septembre, 1er et 2 octobre 2010, organisé par le Conseil Général de Loire Atlantique, en partenariat avec l'Université de Nantes, à Châteaubriant.

Laurent Lescop, Bruno Suner, « ***Scenographia » – cage de scène virtuelle*** », Théâtre et utopie, organisée en partenariat avec la section Arts de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon, le NTH8, le musée urbain Tony Garnier et le Théâtre du Grabuge, 11 décembre 2010, à Lyon.

Lescop Laurent, « ***Les données paysagères : Relever, restituer, composer un paysage numérique*** », Poétique du numérique 2 "Les territoires de l'art et le numérique, quels imaginaires ?", organisé par l'Ecole Régionale de Beaux-Arts de Nantes Métropole et l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, 15 avril 2011 à Nantes

Laurent Lescop, Manfred Sundermann (Hoschschule Anhalt/HSA) une communication à Dessau (Allemagne) lors du colloque «***Die Stadt und Ihre Kinder*** » (La ville et ses enfants) en mai 2011, sur l'impact des machines de ville à partir des réalisations de la compagnie de théâtre de rue La Machine et de la présentation à Dessau de « L'Expédition végétale ». Mai 2011/Colloque «Die Stadt und Ihre Kinder » à Dessau (Allemagne)

Laurent Lescop, Anthony Rowe, « ***Paysages de lumière*** », Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, organisé dans le cadre du festival Scopitone le 10 octobre 2011.

Laurent Lescop, Joanie Lemercier, « **ici est ailleurs** », sur la question du panorama virtuel, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, organisé dans le cadre du festival Scopitone le 11 octobre 2011.

Laurent Lescop, Claus Dießenbacher (Hoschschule Anhalt/HSA) « ***présentation du dispositif immersif Naexus*** » au CeBIT 2012 du 6 au 10 mars au Hanovre.

Laurent Lescop, « ***la ville et le numérique*** », Séminaire L'équipement du territoire, Ecole d'architecture de Nantes, Vendredi 11 mai 2012

Laurent Lescop, « ***Narrative Design for Naexus*** », Bilden und Gestalten, Bauhaus Lectures 2012, Mittwoch und Donnerstag, 24 Mai 2012

Laurent Lescop, « ***Back lots : la rue décor des studios Babelsberg. La constitution d'ambiances à partir de la même matrice formelle, introduction de la dimension narrative dans la définition des ambiances*** » .Congrès International sur les Ambiances, Réseau International Ambiances, organisé par le Centre Canadien d'Architecture à Montréal (CCA), 19 au 22 septembre 2012.

L. Lescop, S. Cassen, V. Grimaud, ***De la Stèle au Pixel. Relever, analyser, valoriser un site archéologique, l'exemple de Gavrinis en Bretagne***, Poétique du numérique 3 « Valeur de l'Imaginaire: mobilité/fixité et territorialité », Nantes 12 et 13 Juin 2012 - MSH Ange Guépin.

S. Cassen, L. Lescop Chaigneau, J.M Rousset, V. Grimaud,. ***Le déplacement des mégalithes extraordinaires sur le littoral morbihannais. Modèles d'embarcations et questions relatives à la navigation atlantique dès le Ve millénaire av. J.-C***. In : IIe Congrès du GIS d'histoire maritime, Nantes 26-28 juin 2013 - La recherche en histoire maritime : enjeux, objets et méthodes

L. Lescop, S. Cassen, V. Grimaud, Gavrinis ***The raising of digital stones***, 2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage) Oct 1 Nov 2013 Marseille, France

L.Lescop, ***Avel, Archives Virtuelle en Ligne***, Ministère de la Culture et de la Communication, 2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage) Oct 1 Nov 2013 Marseille, France

Université de Nantes, Archéologie des Sociétés et des Territoires en France Métropolitaine, séminaires de recherche ouverts au public, novembre 2013, ***MÉTHODES ET APPROCHES NOUVELLES EN ARCHÉOLOGIE, Le numérique, du relevé à la médiation - Approche synoptique***, 15 novembre 2013.

L.Lescop, S. Cassen, V. Grimaud, ***Archéo-Astronomie : Bases Méthodologiques*** ; conférence SAO Archéologie et 3D à Rennes, octobre 2014

L.Lescop, S. Cassen, V. Grimaud, ***Archéo-Astronomie : l'exemple de Crucuno***, Laboratoire Arc'Antique, 8 décembre 2014

L.Lescop, S. Cassen, V. Grimaud, ***Naexus***, 18e Assemblée générale de l'ICOMOS, Florence (Italie)

PUBLICATIONS AVEC COMMITE DE LECTURE

Laurent Lescop, Régis Vasseur, Bruno Suner, Marcel Freydefont, « ***Scénographia – cage de scène virtuelle*** » In Utopies de la scène, scène de l'utopie, Agôn, revue numérique consacrée aux arts de la scène, octobre 2010

Bruno Suner, Laurent Lescop, « ***Scénographia: de la numérisation des cages de scène à la création d'un modèle numérique fonctionnel*** », Colloque de la SFPT Photogrammétrie au service des archéologues et des architectes, à paraître en 2011 dans la Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection

Laurent Lescop, ***« À la recherche de la frontière effacée : le mur de Berlin. Le palimpseste Checkpoint Charlie*** » Colloque européen Frontières oubliées, frontières retrouvées – Marches et limites anciennes en France et en Europe, in Frontières oubliées frontières retrouvées : Marches et limites anciennes en France et en Europe, PU Rennes, ISBN : 978-2-7535-1739-4, pp.365-378

Serge Cassen, Laurent Lescop, Bruno Suner, Valentin Grimaud, Guirec Querré, Didier Morel, CRT Morlaix, « ***Gavrinis (Larmor-Baden, Morbihan) A la recherche des représentations d'une tombe à couloir du IVe millénaire*** ». Rapport d'opération de relevés pariétaux et architecturaux, Ministère de la Culture et de la Communication – Conseil général du Morbihan, CNRS, ENSA, Université de Nantes

Laurent Lescop, « ***Relever, restituer, composer un paysage, état de l'art en terme d'outils et de techniques*** », in Poétique(s) du numérique 2, Les territoires de l'art et le numérique, quels imaginaires ? dirigé par Franck Cormerais, Éditions l'Entretemps, 2013, pp :131-144

S. Cassen , L. Lescop , V. Grimaud , G. Querré , B. Suner, « ***Une approche multiscalaire du monument néolithique de Gavrinis (Larmor-Baden, Morbihan). Campagne d'acquisition 2011*** », Journée d'information scientifique de l'UMR 6566 – Rennes, 24 avril 2012

Serge Cassen, Laurent Lescop, Valentin Grimaud, « ***Enregistrements et traitements numériques des monuments mégalithiques*** », Atelier 3D, DRAC, Nantes 22 mai 2012

Laurent Lescop, « ***Narrative Design for Naexus*** », Bilden und Gestalten, Bauhaus Lectures 2012, Mittwoch und Donnerstag, Mai 2012, actes.

S. Cassen , L. Lescop , V. Grimaud , D. Morel , G. Querré , B. Suner, « ***Bienfaits et limites d'un enregistrement lasergrammétrique dans la tombe à couloir de Gavrinis (Morbihan, France)*** », 3° Journées d'Informatique et Archéologie de Paris, juin 2012, Archeologia e calcolatori

S. Cassen , L. Lescop , V. Grimaud , G. Querré , B. Suner, "***In search of a representation of the Gavrinis neolithic passage grave (Morbihan, France)***", 4th International Meeting on Graphic Archaeology and Informatics, Cultural Heritage and Innovation Arqueológica 2.0, June 2012 Seville .

Laurent Lescop, Manfred Sundermann, « ***Back lots : la rue décor des studios Babelsberg. La constitution d'ambiances à partir de la même matrice formelle, introduction de la dimension narrative dans la définition des ambiances*** ». 2nd Congrès International sur les Ambiances, 19-22 sept. 2012 - Montréal (Canada), Ambiances en acte(s), Sous la direction de Jean-Paul Thibaud & Daniel Siret, International Ambiances Network | Réseau International Ambiances, 2012, ISBN 978-2-9520948-3-2, pp. 653-658

Toinon Vigier, Daniel Siret, Guillaume Moreau, Laurent Lescop, "***Towards a sensory delineation of microclimatic urban ambiances in virtual reality***", 2nd Congrès International sur les Ambiances, 19-22 sept. 2012 - Montréal (Canada)

M. Bertrand, T. Leduc, L. Lescop, R. Hamaina, "***A visibility based method to assess the shrinkage feeling in downtown Detroit***", A visibility based method to assess the shrinkage feeling in downtown Detroit

T. Vigier, G. Moreau, D. Siret, and L. Lescop, « ***A requirements analysis for augmenting virtual urban environments with ambiances***", 3u3d2012: Usage, Usability, and Utility of 3D City models, October 2012

Laurent Lescop, « ***Dispositifs immersifs : la question de l'espace diégétique*** », colloque international « Les paradoxes du seuil. Écriture du lieu et environnement (19e-21e siècle) », organisé par le centre de recherche Ecriture, création, représentation : littératures et arts de la scène, INCAL/Institut des Civilisations, Arts et Lettres, octobre 2012, preprint

Cassen S., Boujot C., Blanchet S., Dardignac C., Hinguant S., Fromont N., Lescop L.,V. Grimaud, Large J.M., Lorho T., à paraître. ***Méthodes d'investigations des ouvrages de stèles dans l'ouest de la France (1987-2012***). In : Méthodologie des recherches sur la Préhistoire récente en France : nouveaux acquis, nouveaux outils (1987-2012), Marseille 23-24-25 Mai 2012.

Cassen S., Lescop L., V. Grimaud, ***Pour une critique de la représentation tridimensionnelle des architectures mégalithiques en Europe occidentale. Méthodes et usages actuels***. Annales de Bretagne et des Pays de l'ouest. PUR Editions, Tome 120, mars 2013, N°1, pp. 7 à 31, ISBN 978-2-7535-2780-5

Cassen S., Boujot C., Blanchet S., Dardignac C., Hinguant S., Fromont N., V. Grimaud, Large J.M., Lescop L., Lorho T., à paraître. Méthodes d'investigations des ouvrages de stèles dans l'ouest de la France (1987-2012). In : Méthodologie des recherches sur la Préhistoire récente en France : nouveaux acquis, nouveaux outils (1987-2012), Marseille 23-24-25 Mai 2012.

L. Lescop, S. Cassen, V. Grimaud, à paraître. ***De la Stèle au Pixel. Relever, analyser, valoriser un site archéologique, l'exemple de Gavrinis en Bretagne***. In : Poétique du numérique 3 « Valeur de l'Imaginaire: mobilité/fixité et territorialité », Nantes 12 et 13 Juin 2012 - MSH Ange Guépin.

S. Cassen, L. Lescop, V. Grimaud, Alvim P., Jersey P. (de), à paraître. Sites de passage (3). ***La représentation de l'arc au cours du Ve millénaire d'après les stèles de Bretagne, des îles Anglo-Normandes et de l'Alentejo***. In : II International Meeting on Archaeology of Transition. The Funerary World, Évora, April 29th to May 1, 2013.

Cassen S., Chaigneau C., Grimaud V., Lescop L., Querre G., Rousset J.M., Vigier E., **Le déplacement des mégalithes extraordinaires sur le littoral morbihannais. Modèles d'embarcations et questions relatives à la navigation atlantique dès le Ve millénaire av. J.-C**. - IIe Congrès du GIS d'histoire maritime, Nantes 26-28 juin 2013 - La recherche en histoire maritime : enjeux, objets et méthodes. Presses de la Sorbonne, Paris (sous presse) 2015

S. Cassen, V. Grimaud, L. Lescop, D. Morel, G. Querré, ***Bienfaits Et Limites D'un Enregistrement Lasergrammétrique Dans La Tombe À Couloir De Gavrinis (Morbihan, France),*** Archeologia e Calcolatori Supplemento 5, 2014, 000-000, pp. 47-59, 2013

L. Lescop, S. Cassen, V. Grimaud, Gavrinis ***The raising of digital stones***, 2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage) federating the 19th Inte'l VSMM 10th Eurographics GCH, & 2nd UNESCO Memory of the World Conferences,plus special sessions from CAA, Arqueológica 2.0, Space2Place, ICOMOS ICIP & CIPA, EU projects, et al. Volume 228 Oct 1 Nov 2013 Marseille, France pp 561-568

Serge Cassen, Laurent Lescop, Valentin Grimaud, Guillaume Robin, ***Complementarity of acquisition techniques for the documentation of Neolithic engravings: lasergrammetric and photographic recording in Gavrinis passage tomb (Brittany, France)***, Journal of Archaeological Science, 45 (2014) 126e140

Serge Cassen , Laurent Lescop , Valentin Grimaud , Duncan Caldwell***, Discovery of exceptional Neolithic engravings in Buthiers, Seine-et-Marne, France***., Antiquity (Antiquity Project Gallery article), Vol. 88, issue 340 (June 2014).

Cassen S., Grimaud V., Lescop L., 2014. ***De l'École à l'Essonne, enregistrements et représentations de gravures néolithiques dans le Gâtinais***. In : C. Billard, A. Denaire (dir.), InterNéo 10 2014, Paris, Société Préhistorique Française, p. 89-101

L. Lescop, S. Cassen, V. Grimaud, ***Neaxus - mobile immersive device***, 18e Assemblée générale de l'ICOMOS, Florence (Italie), preprint

Cassen, S., Lescop, L., Grimaud, V., Morel, D., Querré, Q., ***Bienfaits et limites d'un enregistrement lasergrammétrique dans la tombe à couloir de Gavrinis (Morbihan, France).,*** 2014. Archeologia e calcolatori sup. 5, p. 47-59

Cassen S., Grimaud V., Lescop L., Caldwell D., ***Le Rocher gravé de la Vallée aux Noirs, Buthiers (Seine-et-Marne). Campagne 2013***. 109., 2014. Art rupestre, bulletin du Gersar, 65, p. 25-37.

Lescop L., ***Les Données paysagères : relever, restituer, composer un paysage, l'état de l'art en termes d'outils et de techniques***, in, Poétiques du Numérique 2, Cormerais F. dir., ed Entretemps 2013, pp131-144

Lescop & al., ***AVEL – Archives Virtuelle En Ligne, Enjeux et techniques pour le relevé des bateaux classés Monuments Historiques***. Revue d'histoire maritime, 18, Travail et travailleurs maritimes, XVIIIe-XXe siècle : du métier aux représentations, 2014, pp 349-384

Ambiances lumineuses et extension des maisons individuelles / Céline Drozd, Laurent Lescop, Daniel Siret Imprévisibles habitants : 2mes assises de l'habitat Leroy Merlin, Paris : Bookstorming : 2013, Paris : 2013, p. 30-33

Lescop L ;, Suner B., **L'imaginaire Filmique De Jeunes Architectes ; 10 Ans De Courts-Métrages Sur La Ville**, in Poétique(S) Du Numérique 3 : Imaginaire et scènes nouvelles des villes, Sous la direction de Franck Cormerais et de Jacques Athanase Gilbert, Editions Entretemps, 2015, pp. 193-210

Lescop L. Cassen S., Grimaud V., **Naexus : dispositif immersif mobile pour la valorisation du patrimoine**, Virtual Retrospect 2013 - Session 1, 2015, pp. 12-17

Cassen S., Grimaud V., Lescop L., **Intuition and analysis in the recording, interpretation and public translation of Neolithic engraved signs in western France**, in Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, Volume 2, Issues 2–3, 2015, Pages 213–221

Références plus anciennes

L'ambiangraphie, la prise en compte de la notion d'ambiance lors de la pré-programmation / Laurent Lescop, Ecole d'Architecture de ToulouseToulouse : 1996 Troisièmes rencontres des doctorants des écoles d'architecture : Paysage et ambiances : Actes, Toulouse : EA Toulouse : [1997], pp. 62-67

Graphical proposal for a crossing between sociological and physical data for a better energy management into ancient buildings / Laurent Lescop, ETAFlorence : 1998 ., pp. 305-307

Rebuild the European cities of Tomorrow / F. Butera, A. Grassi, P. Helm, A. Landabaso, A. Zervos : Shaping our European cities for the 21st Century proceedings of the 2nd european conference, ETAFlorence : 1998

Ker is, de la légende à l'image de synthèse. / LESCOP, Laurent, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 1994, 185 p. : ill., cartes, plans, croquis, dessins, bibliogr. ; 30 cm.

Modalités de représentation graphique des ambiances du projet / Laurent Lescop, Nantes/Grenoble : EA NANTES : ISITEM : EA GRENOBLE : 1995,55 p. : ill. ; 30 cm

RAPPORTS DE RECHERCHE (AUTEURS : CASSEN, LESCOP, GRIMAUD)

GAVRINIS, A la recherche des représentations d'une tombe à couloir du IVe millénaire (1) , 2011, 156p.

GAVRINIS, A la recherche des représentations d'une tombe à couloir du IVe millénaire (1) , 2012, 206p.

GAVRINIS, A la recherche des représentations d'une tombe à couloir du IVe millénaire (1) , 2013, 370p.

BLOGS PEDAGOGIQUES ET DE RECHERCHE:

www.archirep.nantes.archi.fr :

Blog accompagnant l'UEP « Architecture en Représentations ». Le blog contient principalement des aides techniques, des références et du suivi de projet.

www.lumieres.nantes.archi.fr :

Blog accompagnant l'UET « lumières ». Le blog contient principalement des aides techniques, des références et du suivi de projet.

www.keris-studio.fr :

Blog dédié aux recherches personnelles en cours. Le blog contient des tutoriaux, des articles techniques et scientifiques et des références thématiques. Le blog contient en mai 2015 238 posts.

http://scenographia.nantes.archi.fr:

Blog dédié à la scénographie et à la formation professionnelle dans le domaine de la scénographie.

RAPPORT DE THESE

Laurent Lescop. ***La représentation des ambiances architecturales et urbaines : Introduction à une pédagogie des ambiances***. Thèse de doctorat. Nantes : Université de Nantes (I.S.I.T.E.M.) Institut des Sciences de l'Ingénieur en Thermique Energétique des Matériaux. 1999. 475p.. Science pour l'Ingénieur: Spécialité Architecture

Sensitive suggestion and perception of climatic effects in virutal urban environments / Toinon Vigier and Daniel Siret and Guillaume Moreau and Laurent Lescop, ACM SIGGRAPH : 2013, p. 139

Summerschool Gdynia 2013 : Gdynia design injection / Bernd Dahlgrün, Laurent Lescop, Gdynia : Summerschool Gdynia : 2013

Towards a sensory delineation of microclimatic urban ambiances in virtual reality / Vigier, Toinon and Moreau, Guillaume and Siret, Daniel and Lescop, Laurent, Ecole d'architecture de Grenoble : 2012, p. 779-782

BIBLIOGRAPHIE CITEE DANS LE MEMOIRE

Lescop, L. (11 mai 2012). la ville et le numérique. *Séminaire L'équipement du territoire, Ecole d'architecture de Nantes.* Nantes.

Lescop, L. (16 juin 2010). Kultur und Stadtentwicklung an der Loire. *conférence à la Fondation du Bauhaus Dessau.* Dessau.

Lescop, L. (1999). *La représentation des ambiances architecturales et urbaines : Introduction à une pédagogie des ambiances.* Thèse de doctorat, Université de Nantes.

Lescop, L. (2012). Narrative Design for Naexus. *Bilden und Gestalten, Bauhaus Lectures.* Dessau.

Lescop, L. (2014). AVEL – Archives Virtuelle En Ligne, Enjeux et techniques pour le relevé des bateaux classés Monuments Historiques. *Revue d'histoire maritime, 18*, pp. 349-384.

Lescop, L., & Sundermann, M. (2011). Le théâtre de rue de la compagnie La Machine et présentation de L'Expédition végétale à Dessau. *Die Stadt und Ihre Kinder.* Dessau.

Lescop, L., & Sundermann, M. (2012). " Back Lots " : la rue décor des studios Babelsberg - La constitution d'ambiances à partir de la même matrice formelle, introduction de la dimension narrative dans la définition des ambiances. *Ambiances in action / Ambiances en acte(s) - International Congress on Ambiances, Montreal 2012*, (pp. 653-658).

Lescop, L., Suner, B., Freydefont, M., & Vasseur, R. (12 mars 2010). Méthodologie du relevé des salles de spectacle. *STAFF (Spectacles et Techniques : Association Française de Formation).* Nantes.

Lescop, L., Suner, B., Freydefont, M., & Vasseur, R. (2010). Scénographia – cage de scène virtuelle. *Agôn, Utopies de la scène, scène de l'utopie,*.

Morel, D., Suner, B., & Lescop, L. (9 et 10 septembre 2010). Scenographia : de la numérisation des cages de scène à la création d'un modèle numérique fonctionnel. *Colloque « Photogrammétrie au Service des Archéologues et des Architectes », organisé par la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection avec le Comité international de photogrammétrie architecturale.* Chartreuse de Villeneuve-les-Avignon.

Suner, B., Lescop, L., Freydefont, M., Vasseur, R., & Morel, D. (20 janvier 2010). Approche du relevé des cages de scène. *Biennales internationales du spectacle (BIS).* Nantes.

Mémoires encadrés

[TPFE] - Travail Personnel de Fin d'Etudes

Stéphanie Neau, **L'architecture centrée sur le client** [TPFE] /; directeur d'étude Laurent Lescop ; enseignant co-encadrant G. Chabennes, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2003

Claire Thinon, Henri Papillon, **Bab El-Hadid Tripoli Liban** [TPFE] : projet de réhabilitation et de valorisation patrimoniale et sociale /; directeurs d'études Agnès Deboulet, Laurent Lescop, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2003

Mathieu Patillon, **Construire avec la démarche HQE** [TPFE] /; directeur d'études Laurent Lescop ; enseignant coencadrant Jean Kowalski, Tome 1, Tome 2, guide à l'attention des maîtres d'oeuvre, application à un projet de construction d'un ensemble composé d'immeubles de bureaux et d'immeubles de logements, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2003

Bruno Martin, **L'estuaire, matière à projets** [TPFE] : extension des installations industrialo-portuaires de l'estuaire de la Loire /; directeur d'étude Y.G Dessy ; enseignant co-encadrant L. Lescop, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2003

Pascal Rougé, **Nelumbia** [TPFE] /; directeur d'étude Laurent Lescop ; enseignant co-encadrant Jean-Yves Petiteau, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2003

Benjamin Corbeau, **Que reste-t-il d'Oradour?** [TPFE] /; Directeur d'études Laurent Lescop ; enseignant co-encadrant Pascal Filatre, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2003

Anne-Irène Valais, **Regard sur le patrimoine praguois** [TPFE] : le site de l'ancienne station de traitement des eaux / ; directeur d'étude Iffig Poho ; enseignant co-encadrant Laurent Lescop, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2003

Delphine Chasseriaud, **Si l'imaginaire habitait le pont...** [TPFE] /; Directeur d'études Michel Dudon ; enseignant co-encadrant Laurent Lescop, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2003

Sylvain Ollivier-Henry, **Et si on se mettait au vert** [TPFE] /; Christian Marenne, directeur d'études ; Laurent Lescop, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2004

Benoit Bouyer, **Extension d'une maison de retraite, lieux de vie pour personnes âgées désorientées - un Cantou** - [TPFE] /; directeurs d'études Laurent Lescop, Michel Dudon, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2004

Muriel Milanese, **A la verticale du cercle** [TPFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2004

Anthony Agaësse, **Le Liveau : développement durable et requalification d'un site** [TPFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Ekkehart Rautenstrauch, enseignant associé, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2004

Nicolas Purnu, **Le silence des anneaux** [TPFE] : simple manque d'espace ou symptôme profond? /; directeur d'étude Philippe Thomé ; enseignant co-encadrant Laurent Lescop, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2004

Matthieu Houzé et Matthieu Ybard, **Développement durable et écologie urbaine** [TPFE] : (Dessau projet urbain) / ; Laurent Lescop, directeur d'études ; Ekkehart Rautenstrauch, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2005

Thomas Ouard, **Espace de vie - espace de détention. La cellule.** [TPFE] /; Bruno Suner, directeur d'études ; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2005

Nicolas Parnaudeau, **Espaces d'expression** [TPFE] : appropriation et image architecturale dans le logement social / ; Laurent Lescop, directeur d'études ; Jean-Yves Petiteau, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2005

Philippe Paoli, **Gpoint** [TPFE] /; Jean-Luc Giraud, directeur d'études ; Laurent Lescop, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2005

Yann Rolland, **Une maison en Bretagne : collage ou âme bretonne?** [TPFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Alain Chassagnoux, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2005

Charlotte A. Cadoret, **Qu'une histoire de vêtement...** [TPFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Jean-Yves Petiteau, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2005

Gabriel E. Rodriguez, **Toute la lumière sur la maison : étude des ambiances lumineuses de la maison individuelle** [TPFE] /; Bernard Richeux, directeur d'études ; Laurent Lescop, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2005

Caroline Guillemaut, **D'une porte à l'autre** [TPFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Jean-Luc Giraud, co-directeur d'études, Nantes : Ecole d'architecture de Nantes : 2005

Aurélie Belot, **L' arbritecture** [TPFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Philippe Vion, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2006

Aleksandra Ziolkowska, **Architecture en mouvement** [TPFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Bruno Suner, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2006

Aurélie Berhault, **Au sommet des blockhaus** [TPFE] /; Iffig Poho, directeur d'études ; Laurent Lescop, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2006

Bruno Berthome, **Figuration architecturale** [TPFE] : entrevoir la fin avant de connaître les prémices /; Laurent Lescop, directeur scientifique ; Yves Poho, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2006

Nolwenn Le Tertre, **Touchez-moi cette oeuvre que je ne saurais voir...** [TPFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Ekkehart Rautenstrauch, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2006

Adeline Allais, **Architecture et instinct: quand la mémoire s'[en-mêle]...** [TPFE] /; Laurent Lescop, Directeur d'études ; Bruno Suner, co-directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2007

/ Maryam Lhotellier-Kamyab, **Autour de l'île de Nantes à pied** [TPFE]; Jean Lemoine, Directeur d'études ; Laurent Lescop, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2007

Agnieszka Kaczmarek, **Cargotecture-investigation** [TPFE] /; Laurent Lescop, directeur d'étude ; Alain Chassagnoux, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2007

Samuel Riaud, **La Demeure : Extraits du journal d'un rêveur ambulant en amnésique** [TPFE] /; Laurent Lescop, directeur d'étude ; Jean-Luc Giraud, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2007

Josselin Bourneuf, **Increasing space** [TPFE] /; Bruno Suner, directeur d'études ; Laurent Lescop, enseignan co-encadrant, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2007

Charlotte Hemard, **Jeune architecte brestoise recherche opération de logements durable...** [TPFE] /; Laurent Lescop, directeur d'étude ; Nathalie Welfert, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2007

Julien Bernard, **Des mots... ... aux projets** [TPFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Pascal Joanne, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2007

Stany Abelard, **Plug and Play** [TPFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Pascal Joanne, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2007

Maxime Beaupied, **Une ville figée** [TPFE] : vers une perturbation des usages /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Bruno Suner, enseignant co-encadrant, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2007

[PFE] – Projet de Fin d'Etudes

Chloé Gouron, **Musée des mégalithes** [PFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2014

Adrien Fouéré, **Naexus II Firefly** [PFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Bruno Suner, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2013

Pauline Jouanneau, **Noctam-bulle** [PFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Bruno Suner, directeur d'études ; Pascal Joanne, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2015

Florian Carré, **Quelque part dans la forêt, repose un jardin** [PFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Bruno Suner, directeur d'études ; Pascal Joanne, directeur d'études : où une promenade d'essences éveille nos sens, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2015

Martin Brodu, **242** [PFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Bruno Suner, directeur d'études ; Pascal Joanne, directeur d'études, 2015

Louise Duquesne, **L'abbaye amarrée** [PFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Bruno Suner, directeur d'études ; Pascal Joanne, directeur d'études : révéler l'importance passée de l'abbaye des Châteliers sur la constitution du paysage de l'île de Ré 2015

Houda Aarab, **Claustrum** [PFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Bruno Suner, directeur d'études ; Pascal Joanne, directeur d'études : Clairvaux, autour de l'enfermement et des libertés, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2015

Gwenn Peron, **Fabrique-moi une abbaye...** [PFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Bruno Suner, directeur d'études ; Pascal Joanne, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2015

Seymour Camy, **Mise en lumière** [PFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Bruno Suner, directeur d'études ; Pascal Joanne, directeur d'études : abbaye de Buzay, Rouans (44), Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2015

Quentin Aimable, **Sur la route** [PFE] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Bruno Suner, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2014

[MES] - -Mémoire de Master (réforme 2005)

Alexandre Granger, ***Carrière Miséry, Nantes*****,** [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2006

Mikael Kerouanton, **La machinerie de théâtre,** [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2007

Benoît Peigne, **Cities XL, Quelles réalités pour une ville virtuelle ?** [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2010

Marie Fetiveau, **Concevoir ; un "espace-temps" architectural** [MES] : notation du mouvement et "pattern Language" : application à un cas de conception /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2010

Perrine Attinger, **L'interaction entre architecture et visiteur dans la bibliothèque Laurentienne de Michel-Ange**: influence de la composition architecturale sur la perception du visiteur [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2010

Flavie Frouin, **Déambulation immuable, foule considérable** [MES] : comment la semaine Sainte parvient-elle à fasciner les spectateurs ? /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2011

Nolwen Le Bourhis, **L'espace de concert chez Iannis Xenakis** [MES] : du pavillon Philips à la Cité de la Musique / ; Laurent Lescop, directeur d'études ; Bruno Suner, directeur d'études, Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2011

Marie Kerouanton, **Les Accroche-Coeurs** [MES] : ou la ville comme actrice, spectatrice, scène, décor /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Bruno Suner, directeur d'études, 2011

Valentin Grimaud, **La numérisation du patrimoine**: lasergrammétrie, photogrammétrie et photomodélisation [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Bruno Suner, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2011

Anne Claire Grimaud, **L'influence de l'évènementiel des arts et du public sur la profession d'architecte**, [MES] / ; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2011

Coralie Dumont, **L'avenir Des Villes : Fiction Ou Réalité. Est-ce que nos métropoles d'aujourd'hui tendent vers le modèle de Coruscant ?** , [MES] / ; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2011

Séverine Gobin, **Dramaturgie Judiciaire. Le Processus De Théâtralisation** [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Bruno Suner, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2011

Simon Jouen, **Le cyberespace. Une fiction déjà réelle**, [MES] / ; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2011

Manon Bertrand, **Comment peut-on analyser la perception de la ville et comprendre l'espace urbain depuis le dispositif du métro aérien ? Et quelle cartographie des perceptions peut-on**

produire pour retranscrire ces ambiances, [MES] / ; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2012

Cécile Robic, **Comics city** [MES] : comment les architectes peuvent-ils s'emparer de l'outil de la bande dessinée ? /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Bruno Suner, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2012

Hélène Guillot, **Sous quelle forme devrait exister le musée virtuel ?** [MES] / ; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2012

Tiphaine Faussurier, **La perspective. Moyen d'immersion dans l'espace diégétique**, [MES] / ; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2012

Coralie Dumont, **Le NAEXUS support de projection du film d'animation**, [MES] / ; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2012

Benjamin Henry, **After the Event. Transformation des sites olympiques**, [MES] / ; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2012

Adeline Robineau, **Influent ou indifférent ? Composer avec la Couleur au Cinéma. Le cas de l'appartement d' "Une chambre en ville" de Jacques Demy**, [MES] / ; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2012

Géraldine Thomas, **Le graffiti au musée : La posture de l'architecture d'exposition dans le processus de muséification du graffiti**, [MES] / ; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2012

Adrien Fouéré, **Zombies & architecture** [MES] : de la dystopie à l'utopie /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2012

Clémence Gabilleau, **La narration dans l'aménagement urbain: le cas du réaménagement de la place Napoléon et "Les animaux de la place" à La Roche-sur-Yon** [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2013

Martin Deck Roussel, **L'architecture par le prisme de la Science-Fiction**, [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2013

Emeline Danieau, **Le musée NOVA**: étude d'un dispositif de transmission mobile pour le musée Dobrée [MES] / ; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2014

Pauline Jouanneau, **Vers une navigation sonore virtuelle à travers l'exemple de l'avenue d'Istiklal à Istanbul** [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2014

Pauline-Lola Mahieu, **de l'utopie au posteriori**, [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2014

Axelle Martin, **la façade, objet d'expérimentation architecturale révélatrice d'une architecture nouvelle**, [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2014

Seymour Camy, ***Les décors de James Bond***, [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2014

Julien Montfort, Le roman, **Espace et imagination**, [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2014

Pauline Musset, **La Sérénissime**, [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2014

Brendan Ruellan, **La Plus Grande Machine de Nantes**, [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2014

Nicolas Houel, **Esthétique. D'une sobriété lumineuse**, [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2014

Romain Buchet, on regarde avec la main !, [MES] ; Bruno Suner, directeur d'études, Laurent Lescop, directeur d'études ; Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2015

Cécile Dumont, **une fanfare dans la ville**, [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2014

Julien Jacquemont, **Quel a été le rôle de l'architecture des églises du Xxè siècle dans la modernisation de la liturgie catholique ?** [MES] ; Bruno Suner, directeur d'études, Laurent Lescop, directeur d'études ; Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2015

Lucas Jarry, **Nantes figure d'exemple**, [MES] ; Bruno Suner, directeur d'études, Laurent Lescop, directeur d'études ; Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2015

Gabriel Violleau, **Le syndrome de chasse** [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2014

Mémoires recherche

Valentin Grimaud **Production de la maquette numérique fonctionnelle d'une salle de spectacle: le Grand T, Nantes** [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Bruno Suner, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2011

Manon Bertrand **De l'intérêt d'une approche empirique puis systématique à base de calculs des visibilités dans l'analyse de l'impression d'abandon de la shrinking city de Detroit** [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Bruno Suner, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2012

Clémence Gabilleau **Analyse spatiale des affleurements à cupules de l'Ile d'Yeu** [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études ; Serge Cassen, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2013

Nicola Barbisan **L'architecture paramétrique au-delà de la morphogénèse visuelle** [MES] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2013

[DPEA SCENO] – Mémoire master du DPEA Scénographie

Yulia Nikiforova, **Les environnements immersifs font-ils du monde virtuel des jeux vidéo une nouvelle forme de théâtre ?**: sur l'exemple du jeu vidéo The Elder Scrolls V - Skyrim /; Véronique Lemaire, directeur d'études [DPEA SCENO] ; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2013

Yulia Nikiforova, **Rapport de mise en situation professionnelle** [DPEA SCENO] /; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2014

Ariane Costes, **Dialogue entre l'architecture scénique et la scénographie de spectacle. Comment l'architecture scénique et son environnement contribuent au spectacle** [DPEA SCENO] ; Laurent Lescop, directeur d'études, Nantes : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2015

[Master VT] – Mémoire master Ville et Territoire

Carole Duvignau**, Fleuve et ville** [Master] : un lien à retrouver : l'Adour, une image à réinventer pour Dax ? / ; Thierry Guineberteau, directeur d'études ; Laurent Lescop, Nantes : Université de droit de Nantes : IGARUN : Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes : 2009

[THESES° – Encadrement de thèses de doctorat

Toinon Vigier, **Suggestion et perception des ambiances climatiques dans les environnements virtuels urbains**, [THE] /; Guillaume Moreau, directeur d'études ; Daniel Siret, directeur d'études, Laurent Lescop, directeur d'études, Doctorat de l'École Centrale de Nantes sous le label de l'Université de Nantes Angers Le Mans, 2015

Valentin Grimaud, **Réexplorer et valoriser les architectures funéraires monumentales du Néolithique de l'Ouest de la France Etude du cairn de Gavrinis**, [THE] /; Serge Cassen, directeur d'études, Laurent Lescop, directeur d'études ; Doctorat de l'Université de Nantes sous le label de l'Université Nantes Angers Le Mans, 2015

Emmanuelle Gangloff, **Valeur et sens des architectures éphémères ; le scénographe comme témoin et acteur**, [THE] /; Dominique Sagot-Duvauroux, directeur d'études, Laurent Lescop, directeur d'études, Doctorat de l'Université de Nantes sous le label de l'Université Nantes Angers Le Mans, 2016

Choix d'articles de références.