l'université nantes angers le mans
COMMUNAUTÉ D'UNIVERSITÉS ET ÉTABLISSEMENTS

UNIVERSITÉ DE NANTES

Thèse de Doctorat

Valentin GRIMAUD

Mémoire présenté en vue de l'obtention du
grade de Docteur de l'Université de Nantes
sous le label de l'Université Nantes Angers Le Mans

Ecole doctorale : *Sociétés, Cultures, Echanges*

Dicipline : *Archéologie*
Spécialité : *Architecture*
Unité de recherche : *LARA, UMR CNRS 6566*

Soutenue le 21 octobre 2015
Thèse N° :

Réexplorer et valoriser les architectures funéraires monumentales du Néolithique de l'Ouest de la France

Etude du cairn de Gavrinis

Volume 1

JURY

Rapporteurs :	**Livio DE LUCA**, Directeur de recherche, CNRS - ENSA MArseille **Jean-Loïc LE QUELLEC**, Directeur de recherche, CNRS - IMAF Paris
Examinateurs :	**Christine BOUJOT**, Ingénieur de recherche, SRA Bretagne, Rennes **Guy SAUPIN**, Professeur des Universités, Université de Nantes **Daniel SIRET**, Chercheur, MCC - ENSA Nantes
Directeur de Thèse :	**Serge CASSEN**, Directeur de recherche, CNRS - Université de Nantes
Co-directeur de Thèse :	**Laurent LESCOP**, Enseignant-chercheur, ENSA Nantes

- Remerciements -

Avant d'entrer dans le vif du sujet, je tiens tout d'abord à exprimer toute ma reconnaissance à mes deux directeurs de thèse : Serge Cassen, directeur de recherche au CNRS (Université de Nantes) et Laurent Lescop, enseignant-chercheur (École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes) pour la confiance qu'ils m'ont témoignée en m'ouvrant les portes de l'archéologie et en me laissant toute la liberté nécessaire pour se familiariser avec ces objets venus d'un autre temps, et les moyens de les explorer.

Je souhaite également remercier les membres du jury qui ont bien voulu évaluer le travail que je m'apprête à présenter. Je voudrais également mentionner les membres du comité de suivi de thèse, Christine Boujot (SRA, Rennes) et Daniel Siret (CRENAU, Nantes), pour leurs remarques pertinentes au cours de nos différentes rencontres et qui ont aidé à poser la réflexion.

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers :

- le laboratoire LARA (Université de Nantes) au sein duquel j'ai évolué ;
- le laboratoire CRENAU (ENSA Nantes, anciennement CERMA) pour m'avoir hébergé dans leurs locaux. Mes pensées vont notamment à Pascal Joanne et Thomas Leduc, successivement directeurs du laboratoire qui m'a accueilli et qui ont tout fait pour assurer sans heurts mon intégration malgré les procédures de fusion des différentes structures de recherche de l'ENSA ;
- l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes et ses différents services (notamment administratifs, informatique, reproduction) pour m'avoir écouté et avoir cherché des solutions aux questions pécuniaires, facilité l'accès au matériel et les déplacements sur les différents sites.

Je souhaite aussi remercier les personnes qui ont facilité l'accès au monument de Gavrinis et à ses archives :

- le gestionnaire du site Yves Bellenfant qui nous a autorisés à accéder au site et à Hervé pour avoir assuré le passage en bateau ;
- Cyrille Chaigneau (Musée de Préhistoire James Miln – Zacharie Le Rouzic), Patrick Jadé (Service Historique de la Défense, Vincennes) et Philip de Jersey (musée de Guernesey) pour avoir retrouvé certaines archives de Gavrinis et nous les avoir communiquées ;
- Marie-Dominique Pinel (Service Régional d'Archéologie, Rennes) pour nous avoir facilité les conditions d'accès aux archives issues des dernières campagnes de fouilles – et Joël Lecornec pour les archives photographiques de Petit Mont ;
- Gwenëlle Wilhelm-Bailloud pour nous avoir autorisé à utiliser les documents de son grand-père Zacharie Le Rouzic.

J’adresse pareillement une pensée à toutes les personnes qui ont travaillé autour du monument de Gavrinis. Sans eux, certains points déterminants n’auraient pas été mis en avant et le travail présenté ci-après n’aurait pas la même consistance :

- Marie Vourc’h (LARA, Nantes) et Cyrille Chaigneau (Musée de Préhistoire James Miln – Zacharie Le Rouzic) sur la reproduction expérimentale d’un corpus iconographique ;
- Guirrec Querré et François Pustoc’h (Archéosciences, Rennes) sur l’étude géologique des différents blocs de Gavrinis ;
- Dominique Sellier (Géolittomer, Nantes) sur l’étude géomorphologique de ces mêmes éléments ;
- Christine Oberlin (Laboratoire du radiocarbonne, Lyon) et Nancy Marcoux (Archéosciences, Rennes) pour avoir établi la datation du site à partir d’échantillons ;
- ou encore Elven Robinet qui a constitué l’essentiel de la synthèse des tracés à partir des cartes des écarts.

Je voudrais également mentionner Jean-Gabriel Aubert (Arc’Antique, Nantes), Hervé Paitier (INRAP, Paris) et Hugues Plisson (PACEA, Bordeaux) pour nos différents entretiens et sans qui le fonctionnement d’un appareil photo serait resté un mystère.

Enfin, je voudrais évoquer l’aide et le soutien sans faille de mes parents, mais aussi de mes amis : Audrey, Aurore, Clémence, Emeline, Emmanuelle, Guillaume, Ignacio, Kevin, Malek, Marie-Christine, Marion, Nathalie, Valerio et tant d’autres! Je suis certain d’en oublier, mais j’espère qu’ils ne m’en voudront pas. Je leur suis extrêmement reconnaissant pour toute l’aide qu’ils m’ont apportée.

Merci à tous,
Valentin

- Table des matières -

I/ Partie introductive

Chapitre 1. Définitions et problématiques **3**

1.1. L'origine du projet **3**

1.1.1. Des tombes à couloir néolithiques récemment fouillées, mais encore mal comprises 3

1.1.2. L'émergence de Gavrinis comme cas d'étude 4

1.2. Quelle approche adopter pour étudier Gavrinis ? **5**

1.2.1. Évolution du projet depuis le début de ce travail de doctorat 5

1.2.1.1. Un projet initial centré sur la médiation *5*

1.2.1.2. Un projet réorienté vers l'exploration du site de Gavrinis *7*

1.2.1.3. Définition des termes réexplorer et valoriser *7*

1.2.2. Adoption d'une posture d'architecte-archéologue 9

1.3. Présentation de Gavrinis **10**

1.3.1. Description sommaire du monument 10

1.3.2. Un environnement qui a beaucoup évolué 12

1.3.2.1. L'environnement contemporain de Gavrinis *12*

1.3.2.2. L'environnement néolithique de Gavrinis *13*

1.3.3. Présentation des différents auteurs ayant produit des documents sur Gavrinis 15

1.3.3.1. L'abbé Mahé *15*

1.3.3.2. Le docteur Cauzique et Prosper Mérimée *15*

1.3.3.3. Le capitaine Lucas *16*

1.3.3.4. Sir Henry Dryden et William Collings Lukis (et sa famille) *17*

1.3.3.5. Gustave Thomas de Closmadeuc *17*

1.3.3.6. Zacharie Le Rouzic *18*

1.3.3.7. Elizabeth Shee-Twohig *18*

1.3.3.8. Charles-Tanguy Le Roux et René Lisch *18*

1.4. Les enjeux de cette recherche **19**

1.4.1. Les thèmes connexes à ce travail et qui ne seront pas traités 19

1.4.1.1. Les questions archéologiques non résolues *19*

1.4.1.2. Les questions techniques non abordées *20*

1.4.2. Les thématiques traitées 20

1.4.2.1. Les questions archéologiques à résoudre *20*

1.4.2.2. Les questions techniques à résoudre *21*

Chapitre 2. Méthodologies **23**

2.1. Considérations générales **23**

2.2. Méthode de travail d'un architecte-archéologue **24**

2.2.1. Méthodologie de recherche en architecture 24
2.2.2. Méthodologie de recherche en archéologie 26
2.2.3. Méthodologie de recherche en architecture-archéologie 27
2.2.4. Procédure de validation des résultats 28
2.2.5. Conclusion 29

2.3. Croiser les informations **29**

2.3.1. Les matériaux à disposition 30
2.3.1.1. La nature des différentes archives *30*
2.3.1.2. Les dessins géométraux *31*
2.3.1.3. Les archives photographiques des campagnes de fouilles *31*
2.3.2. Constitution de l'interface de contrôle archéologique des restitutions (ICARE) 31
2.3.2.1. Enjeux de cet outil *31*
2.3.2.2. Description de l'interface *32*

2.4. Mettre en place de protocole(s) d'acquisition **33**

2.4.1. Principes généraux 33
2.4.2. Conduite de l'expérimentation pour une acquisition architecturale 34
2.4.3. Conduite de l'expérimentation pour une acquisition des ornements 36

2.5. Formuler les restitutions **36**

2.5.1. La caractère heuristique des modèles 3D 36
2.5.2. L'encadrement de l'utilisation des modèles 3D pour le patrimoine 38
2.5.3. Limites des modèles 39

2.6. Le fil conducteur **40**

II/ Interroger les archives pour reconstruire l'histoire de Gavrinis

Chapitre 3. La reconstitution des interventions depuis l'identification du monument comme architecture en 1825 **45**

3.1. L'invention du cairn en 1825 et du couloir en 1832 **45**

3.2. Evolution de la morphologie du cairn **46**

3.2.1. La perception d'un objet ruiné 46
3.2.2. Premières descriptions d'une architecture 46

3.2.3. La fouille de sauvetage programmée du monument (1979-1984) 48
3.2.3.1. Année 1979 *48*
3.2.3.2. Année 1980 *49*
3.2.3.3. Année 1981 *49*
3.2.3.4. Année 1982 *50*
3.2.3.5. Année 1983 *50*
3.2.3.6. Année 1984 *51*
3.2.4. Description des observations par secteur 51
3.2.4.1. L'entrée du couloir *51*
3.2.4.2. Le parement de façade *52*
3.2.4.3. Les parements internes *53*
3.2.4.4. La fouille du vieux sol *54*
3.3. Interventions réalisées dans le couloir depuis 1832 **55**
3.3.1. Les orthostates 55
3.3.1.1. Élévation droite du couloir *55*
3.3.1.2. Élévation gauche du couloir *59*
3.3.1.3. Les orthostates de la chambre *60*
3.3.2. Les dalles de couverture 61
3.3.3. Les dalles de sol 62
3.3.3.1. Palier numéro 1 *62*
3.3.3.2. Palier numéro 2 *63*
3.3.3.3. Palier numéro 3 et 4 *63*
3.3.3.4. Palier numéro 5 *65*
3.3.3.5. Conclusion *66*
3.3.4. Les matériaux trouvés sous les dalles de sol 66
3.4. Le mobilier **68**
3.4.1. Mobiliers découverts avant 1979 68
3.4.2. Les campagnes de fouilles 1979-1984 68
3.4.2.1. Année 1979 *68*
3.4.2.2. Année 1980 *69*
3.4.2.3. Année 1981 *69*
3.4.2.4. Année 1982 *70*
3.4.2.5. Année 1983 *70*
3.4.2.6. Année 1984 *70*
3.5. Conclusion **71**

Chapitre 4. Une reconstitution des différentes phases d'occupation du site depuis le Néolithique 73

4.1. Synthèse des événements survenus entre la condamnation du couloir et sa redécouverte 73

4.1.1. Fréquentation du site au Néolithique 73
4.1.2. L'âge du Bronze 76
4.1.3. L'époque gallo-romaine 77
4.1.4. La période médiévale 77
4.1.5. Entre le Moyen Âge et l'invention du cairn 79
4.1.6. La construction de récits légendaires 80
4.1.7. La fouille et la restauration du monument 81
4.1.7.1. Les restitutions envisagées avant la campagne de fouilles de 1979-1984 81
4.1.7.2. Le projet de restauration des années 1980 81

4.2. Critique de la restauration de Gavrinis, et plus largement des architectures funéraires collectives néolithiques 83

4.2.1. L'origine du modèle de restauration de la tombe de Gavrinis 83
4.2.1.1. La naissance d'un modèle de restauration 83
4.2.1.2. La diffusion de ce modèle de restauration 84
4.2.1.3. Application de ce modèle de restauration à Gavrinis 86
4.2.2. La pratique de la restauration des tombes à couloir du Néolithique à l'échelle européenne 87
4.2.3. Évolution de la réflexion au sujet de la restauration des monuments 91
4.2.3.1. L'établissement de deux écoles de pensée au XIXe siècle 91
4.2.3.2. La charte d'Athènes (1931) 94
4.2.3.3. La charte de Venise (1964) 96
4.2.3.4. La charte de Cracovie (2000) 99
4.2.3.5. Autres chartes 100

4.3. Conclusion 100

III/ Mise en place d'un nouvel appareillage instrumental afin de réinterroger le site de Gavrinis

Chapitre 5. Vers un renouvellement des représentations de ces architectures 105

5.1. Que signifie « établir le relevé d'une architecture » ? 105

5.1.1. Origine et objectifs du relevé architectural 105
5.1.1.1. La Lettre à Léon X comme manifeste de la documentation des architectures 105
5.1.1.2. La pratique du relevé depuis la Renaissance jusqu'à l'apparition des outils numériques 107
5.1.1.3. L'influence des relevés tridimensionnels dans la production des relevés 108

5.1.2. Une approche lexicale des mots concernant la représentation de l'espace 110
5.1.2.1. Relever *110*
5.1.2.2. Représenter *111*
5.1.2.3. Reconstituer *112*
5.1.2.4. Restituer *113*
5.1.3. Conclusion 113

5.2. La pratique du relevé et ses résultats sur les architectures néolithiques 114

5.2.1. Caractéristiques des objets d'étude 114
5.2.2. Les relevés de Gavrinis 116
5.2.2.1. La structure tumulaire *116*
5.2.2.2. Le couloir *117*
5.2.2.3. Les stèles et leurs ornements *118*
5.2.3. Conclusion 118

5.3. De « nouveaux » outils pour représenter ces architectures 119

5.3.1. Les capteurs optiques actifs 119
5.3.2. Les capteurs optiques passifs 121
5.3.2.1. Un rapide historique *121*
5.3.2.2. Les différentes techniques de reconstruction en corrélation dense d'images *125*
5.3.2.3. Les configurations spatiales *126*
5.3.3. Conclusion 127

5.4. Application de ces outils de numérisation sur les architectures funéraires néolithiques 127

5.5. Conclusion 132

Chapitre 6. Enregistrer les architectures 135

6.1. L'enregistrement de Gavrinis 135

6.1.1. Définition des objectifs pour l'enregistrement du site de Gavrinis et outils mobilisés 135
6.1.2. Mise en œuvre du relevé et résultats bruts 136
6.1.3. Une critique des résultats obtenus 138

6.2. Mise en place d'une méthodologie d'acquisition alternative à la lasergrammétrie 140

6.2.1. Valider les outils d'acquisition en corrélation dense d'images 140
6.2.2. Mise en place d'une méthodologie d'acquisition en photogrammétrie 144
6.2.2.1. Contexte de la mise en place de la méthodologie *144*
6.2.2.2. Préparer le chantier et établir la stratégie de cheminement *145*
6.2.2.3. Maîtriser le boîtier reflex *149*
6.2.2.4. Maîtriser les ambiances lumineuses *150*
6.2.2.5. Assurer l'échelle et l'assiette du modèle *153*

6.3. Retour à Gavrinis pour compléter les enregistrements 153

6.3.1. Enregistrer les surfaces difficiles d'accès aux capteurs laser et les moulages 154

6.3.1.1. Les limites de la lasergrammétrie et la complémentarité de la photogrammétrie 154

6.3.1.2. L'acquisition sur site 154

6.3.1.3. La consolidation des modèles 3D 155

6.3.1.4. La fusion et texturation des modèles 156

6.3.2. Repositionner les pièces originales déplacées dans leur contexte 158

6.3.2.1. Acquisition des données 158

6.3.2.2. Reconstruction avec 123D Catch 158

6.3.2.3. Reconstruction avec Visual SFM 159

6.3.2.4. Comparaison des résultats avec l'acquisition lasergrammétrique 159

6.3.2.5. Résultats 160

6.3.3. Utiliser les descriptions géométrales anciennes ou extrapoler les surfaces inconnues 162

6.3.4. Reconstruire les surfaces inaccessibles mais photographiées 162

6.3.5. Extrapoler les surfaces qui n'ont jamais été documentées 164

6.4. Conclusion 164

Chapitre 7. Enregistrer les gravures 167

7.1. Introduction 167

7.1.1. Les enjeux et les objectifs 167

7.1.2. Définition de ce qu'est une gravure dans le contexte du Néolithique armoricain 168

7.2. État de l'art des techniques d'enregistrement 170

7.2.1. Introduction 170

7.2.2. Les méthodes avec contact 171

7.2.3. Détection sur des photographies numériques (2D) 173

7.2.3.1. Le décalquage de photographies 173

7.2.3.2. Détection de formes à partir des nuances de couleur 174

7.2.3.3. Les variations de lumière 175

7.2.3.4. Conclusion 176

7.2.4. Détection sur des images ré-éclairables (traitements en 2,5D) 177

7.2.4.1. Les documents PTM et RTI 177

7.2.4.2. Conclusion 179

7.2.5. Détection sur modèles 3D 181

7.2.5.1. Différence entre maillages haute et basse définition 181

7.2.5.2. Le rayon de courbure 182

7.2.5.3. Utilisation de shaders pour détecter les gravures 182

7.2.5.4. Autres procédures 183

7.2.5.5. Conclusion 184

7.2.6. Conclusion 185

7.3. Mise en place de procédures pour détecter les gravures 185

7.3.1. Introduction 185

7.3.2. Les cartes des écarts 185

7.3.3. L'occlusion ambiante 187

7.3.4. Les ***normal maps*** ***188***

7.3.5. Autres ***shaders*** ***194***

7.4. Mise en place et application d'un protocole pour éprouver les différentes techniques 195

7.4.1. Définition du protocole 195

7.4.1.1. Établissement d'un catalogue d'échantillon de gravure 195

7.4.1.2. Limites et remarques diverses concernant la méthodologie mise en œuvre 196

7.4.1.3. Constitution des fiches tests 198

7.4.1.4. Synthèse des résultats 198

7.4.2. Description des résultats obtenus 199

7.4.2.1. Analyse selon les facteurs de génération des profils 199

7.4.2.2. Moyenne des largeurs de tracé obtenue selon chaque technique 201

7.4.2.3. Comparaison des techniques deux à deux 201

7.4.3. Conclusions 202

7.5. Conclusion 203

IV/ Réévaluer l'histoire du monument à la lumière des nouvelles observations

Chapitre 8. Synthèse des observations issues des relevés 209

8.1. Introduction 209

8.2. Observations à l'échelle de la structure tumulaire 209

8.2.1. Impacts de la restauration sur la réserve archéologique 209

8.2.1.1. Le comblement du cratère 209

8.2.1.2. La façade Sud 210

8.2.1.3. La façade Ouest 211

8.2.1.4. La façade Nord 211

8.2.2. Distinguer les parements restaurés de ceux en place 211

8.2.3. Relation entre les structures du cairn et le couloir 214

8.3. Observations à l'échelle du couloir 214

8.3.1. La géométrie du couloir 214

8.3.2. La géologie des matériaux de construction 217

8.3.3. La géomorphologie des matériaux de construction 217

8.4. Observations à l'échelle du projet iconographique 220
8.4.1. Répartition des gravures dans le couloir 220
8.4.2. L'agencement iconographique 223
8.5. Synthèse des observations 224

Chapitre 9. Restitutions des différentes phases d'occupation de Gavrinis 227
9.1. Identification des différentes phases de construction 227
9.2. Le site de Gavrinis a-t-il été occupé avant la construction de la sépulture collective ? 227
9.2.1. Les indices suggérant la présence d'un tertre à Gavrinis 227
9.2.2. Exemples de tertres sous-jacents à une sépulture collective 230
9.2.3. Les interactions entre l'hypothétique tertre et le couloir de Gavrinis 233
9.2.4. Conclusion 234
9.3. La première phase de construction du couloir et le cairn associé 235
9.3.1. Le couloir comme seule source directe d'informations 235
9.3.1.1. Détermination de la portion de couloir 235
9.3.1.2. Établissement d'une relation chronologique entre les dalles du couloir 236
9.3.2. Le plan du cairn I 236
9.3.2.1. Les structures internes connues 236
9.3.2.2. Déterminer le plan par induction 237
9.3.2.3. Déterminer le plan par déduction 238
9.3.3. L'élévation du cairn I 241
9.3.4. La question de la préservation des corps des défunts 243
9.3.4.1. Les indices révélant cette préoccupation 243
9.3.4.2. Observations issues des tombes à couloir de l'Ouest de la France 245
9.3.4.3. Une tentative de réponse 248
9.4. La seconde phase de construction du couloir et le cairn associé 250
9.4.1. Introduction 250
9.4.2. Sculpter le volume du cairn II dans la masse actuelle 250
9.4.2.1. Déterminer le plan du cairn 250
9.4.2.2. Mettre les structures en cohérence 253
9.4.2.3. Les élévations possiblement intactes du cairn 255
9.4.3. Estimer les élévations détruites du cairn II 258
9.4.3.1. Évaluer l'évolution du volume du cairn II 258
9.4.3.2. Déterminer le volume du cairn II 259
9.4.3.3. Retrouver l'agencement des parements 260
9.4.3.4. L'aspect du parement de façade 261
9.5. Conclusion 262

V/ Partie conclusive

Chapitre 10. Conclusion et perspectives **267**

10.1. Limites de la recherche et perspectives **267**

10.1.1. La mise en place d'un outil complet de validation des restitutions 267

10.1.2. La validation définitive du relevé des gravures avec les éclairages virtuels tournants 268

10.1.3. Le comportement des structures archéologiques face aux risques naturels 269

10.2. Les contributions de ce travail **270**

10.2.1. Une meilleure connaissance du monument 270

10.2.2. Un protocole de réexploration des vestiges archéologiques 271

10.2.3. Un élargissement du périmètre d'investigation de l'architecte-archéologue tel que défini dans le chapitre 2 272

10.3. Réflexions conclusives **273**

Chapitre 11. Bibliographie **275**

11.1. Publications **275**

11.2. Les rapports **287**

11.3. Autres sources de documentation **289**

- Liste des figures -

Figures placées dans le volme 1

1. Vue sur la façade restaurée du cairn de Gavrinis 10

2. Panorama (360°) de l'entrée du couloir de Gavrinis 10

3. Description de la topographie de l'île de Gavrinis et localisation du cairn 11

4. L'environnement de Gavrinis et le paléoestuaire (d'après Géoportail, Carte IGN et SHOM) 12

5. Localisation du paléoestuaire par rapport au *Mor Bihan*, la « petite mer » (d'après Géoportail, Carte IGN et SHOM) 13

6. Modélisation du processus de recherche d'une solution en architecture 25

7. Modélisation du processus de recherche en archéologie 26

8. Modélisation du processus de recherche à l'aide de modèles tridimensionnels 28

9. Présentation de l'interface ICARE 32

10. Démarche itérative permettant de valider les résultats en accumulant les expériences34

11. Synthèse des différents systèmes de notation des éléments du couloir utilisés à Gavrinis 56

12. Identification des réserves archéologiques dans le couloir de Gavrinis 67

13. Mise en relation entre les éboulis et les événements sismiques 74

14. Restauration de la Table des Marchands par Z. Le Rouzic 84

15. Premier dessin de J. L'Helgouac'h présentant un cairn à gradin (d'après L'Helgouac'h, 1967) 85

16. Coupe sur le couloir G du cairn de Barnenez (projet de restauration) 85

17. Coupe sur le système constructif d'un mur de soutènement de terrasse en culture (construction en pierre sèche) 87

18. Le modèle de restauration des tombes de Knowth (Irlande) 88

19. Mise en valeur du dolmen d'Alberite, Villamartín (Andalousie, Espagne) 89

20. Identification des éléments en béton dans la tombe de Grah Niol (Arzon, Morbihan) 95

21. Vue des dalles de couverture de la tombe à couloir des Pierres Plates, Locmariaquer (Morbihan) 95

22. Vue arrière de la tombe à couloir de Mané Rutual, Locmariaquer (Morbihan) 95

23. Etat sanitaire des éléments de la restauration de Gavrinis (1979 - 2013) ; (Cassen et al. rapport 2013) 98

24. Principe de fonctionnement des capteurs optiques actifs 120

25. Les travaux de F. Brunelleschi sur la perspective 122

26. Les travaux d'A. Dürer sur la perspective 122

27. Principe de reconstruction à partir de la silhouette 124

28. Principe de reconstruction à partir de la texture 124

29. Principe de reconstruction à partir de la profondeur 124

30. Les trois topologies d'espace à prendre en compte pour un chantier photogrammétrique 126

31. Stèles des Tuilyes (numérisation et production de l'image : Pixogram) 130

32. Limite de l'enregistrement des cavités avec un dispositif de lasergrammétrie dit par triangulation 141

33. Différentes stratégies d'acquisition en photogrammétrie sur le même objet 147

34. Effet de palier produit quand les clichés ne sont pas perpendiculaire à la surface à enregistrer (exemple sur la tombe du Mané Er Hroëck, Locmariaquer) 148

35. Utilisation d'une perche téléscopique pour faciliter la reconstruction de stèles (exemple d'une stèle de l'alignement d'Epoigny, Couches (cliché : L. Lagrost) 148

36. Impact d'une mauvaise maîtrise de la lumière sur la reconstruction du sujet 152

37. Assemblage des différentes parties de L11 155

38. Principe de la reconstruction *low poly* sur la stèle de Kermaillard (Sarzeau, Morbihan) 161

39. Superposition d'une photo d'archives à un modèle 3D pour extraire la géométrie 163

40. Localisation d'un transect sur L11 et description des profils des gravures intersectées 168

41. Schéma relatif à l'éclairage rasant d'un trait en creux selon deux sources opposées ; synthèse montrant les différentes possibilités de tracés sur image (Cassen et Vaquero Lastres 2003) 176

42. Comparaison ente la technique de détection PCSAPS et la carte des écarts 186

43. Principe de fonctionnement d'une *normal map* *189*

44. Mise en place de l'éclairage virtuel tournant 190

45. Paramétrage de l'éclairage virtuel tournant dans Adobe Photoshop 192

46. Application de l'éclairage virtuel rasant dans Adobe Photoshop 193

47. Application des différentes méthodes de détection de gravure sur une ligne du catalogue des profils 197

49. Etat de conservation de la réserve archéologique 212

50. Variation des profils de parement à Gavrinis 213

51. La géométrie du couloir 215

53. Origine géologique des différents blocs composant le couloir de Gavrinis, d'après G. Querré et F. Pustoc'h (Cassen et al. rapport 2013) 216

55. Géomorphologie des blocs constituants le couloir, d'après D. Sellier (Cassen et al. rapport 2013) 218

56. Répartition du programme iconographique sur les parties visibles du couloir 222

57. Le désaxement du programme iconographique de L11 (d'après S. Cassen) 224

58. Propagation d'un motif sur R6, R7 et R8 (d'après S. Cassen) 224

59. Sondage réalisé à l'emplacement de S2 et S3 à Gavrinis (photos d'archive de C.-T. Le Roux) 229

60. Description du tertre de Mané Lavarec (Carnac, d'après Z. Le Rouzic 1927) 230

61. Plan schématique des structures découvertes à Petit Mont entre 1979 et 1990, d'après Lecornec, 1994 231

62. Synthèse des archives pour déterminer la relation entre le plancher granitique de l'île et les éléments du couloir 233

63. Etude pour déterminer l'emprise du cairn I de Gavrinis 239

64. Comparaison des architecture de la Table des Marchands et de Gavrinis pour montrer les différences d'élévation, d'après (Cassen et al., 2013a) 240

65. Application de ce modèle de cairn à Gradin sur le cairn de la Petite Perotte (Fontenille) 242

66. Végétalisation spontannée de la façade restaurée de Gavrinis 243

67. Restitution du dolmen à couloir dit « la Ciste des Cous » à Bazoges-en-Pareds (Vendée, d'après R. Joussaume, 1981) 245

68. Plan du dolmen de Kerleven et restitution de couverture pour la chambre C (La Forêt-Fouesnant, Finistère) d'après (C.-T. Le Roux et J. L'Helgouac'h, 1967) 246

69. Plan du site de Quélarn (Plobannalec, Finistère), P.-R. Giot 1983 247

70. Restitution du dolmen de la pierre virante (Xanton-Chassenon) d'après R. Joussaume, 1981 248

71. Plan et restitution de la *cult house* de Tustrup (Allingåbro, Danemark) 249

72. Vue intérieur de la domus Chiaramonti (nécropole de Su Murrone) 249

73. Mise en évidence d'un étalement différent des éboulis selon les façades de la réserve archéologique de Gavrinis 251

74. Détermination de l'emprise générale du cairn 252

75. Identification des différentes structures internes 253

76. Identification des différentes structures internes et leur projection au sol 254

77. Mise en cohérence des structures internes 255

78. Les élévations intactes découvertes à Petit-Mont (Arzon) 256

79. Les différentes phases de sculpture du cairn actuel pour « enlever » les éboulis 258

80. Les différentes phases de travail permettant de remonter virtuellement le volume des éboulis au sommet du cairn 259

81. Coupe schématique permettant de comprendre l'agencement entre les différents parements 261

Figures placées dans le volme 2

I - Le site de Gavrinis

Le cairn de Gavrinis depuis sa découverte

82. 1868 - Les documents produits par sir H. Dryden et W.C. Lukis 300
- *82.1. Coupe vers le Nord (EF)*
- *82.2. Plan de toiture*
- *82.3. Aquarelle montrant l'île de Gavrinis depuis l'île de la Jument*
- *82.4. Esquisse de l'entrée au fond du cratère*
- *82.5. Esquisse de l'entrée du monument après dégagement du couloir*

83. 1885 - Synthèse de l'intervention de G. de Closmadeuc 302
- *83.1. Coupe vers le Nord (EF) interprétée*
- *83.2. Plan de toiture avec synthèse des travaux de G. de Closmadeuc*

84. 1920/1930 - La documentation de Z. Le Rouzic 303
- *84.1. Coupe Sud-Ouest (AB)*
- *84.2. Plan de toiture*
- *84.3. Coupe Sud-Ouest (AB) – bis*
- *84.4. Coupe Nord-Est (CD)*
- *84.5. Cliché de Z. Le Rouzic montrant l'île de Gavrinis depuis le sommet du cairn de l'Île Longue*
- *84.6. Cliché de Z. Le Rouzic montrant l'île de Gavrinis depuis le rivage de l'Île Longue*
- *84.7. Cliché de Z. Le Rouzic montrant l'île de Gavrinis depuis l'île de Er Lannick*
- *84.8. Cliché de Z. Le Rouzic montrant l'île de Gavrinis depuis l'Est*

84.9. Cliché de Z. Le Rouzic montrant l'île de Gavrinis depuis l'Ouest
84.10. Cliché (anonyme) montrant le cairn de Gavrinis depuis le Sud (1939)

85. 1961 - Achat du cairn par le Conseil Général du Morbihan 306
84.11. Création d'une plate-forme au niveau de l'entrée (1969 - Anonyme)

86. 1979 - Le cairn relevé par C.-T. Le Roux 307
86.1. Relevé topographique du cairn par C.-T. Le Roux (1980)
86.2. Élévation Sud-Est (GH)
86.3. Plan de toiture
86.4. Coupe Sud-Est (GH)
86.5. Plan avec les structures internes
86.6. Coupe Sud-Ouest (AB)
86.7. Élévation Sud-Ouest (AB)
86.8. Coupe Nord-Est (CD)
86.9. Élévation Nord-Est (CD)
86.10. Coupe vers le Nord (EF)
86.11. Élévation Nord-Ouest (HG)

87. 1979/1984 - Phasage des interventions menées par C.-T. Le Roux 312
87.1. Interventions de 1979
87.2. Interventions de 1980
87.3. Interventions de 1981
87.4. Interventions de 1982
87.5. Interventions de 1983
87.6. Interventions de 1984

88. Clichés réalisés pendant la campagne de fouille 318
88.1. Les premières interventions
88.2. L'entrée du couloir
88.3. Angle Est du cairn
88.4. Structures internes à droite du couloir
88.5. La « corniche »
88.6. Structures internes à gauche du couloir
88.7. Angle Sud du cairn
88.8. Exploration du parvis
88.9. Le muret médiéval
88.10. Le mobilier
88.11. La restauration du cairn

89. Relevés réalisés pendant les campagnes de fouilles 331
89.1. Élévation des structures en place
89.2. Plan du chantier et localisation des sections
89.3. Section A

89.5. Section C
89.6. Section D
89.4. Section B
89.7. Section E
89.8. Section F
89.10. Section H
89.9. Section G
89.12. Section J
89.11. Section I
89.13. Section K
89.14. Section L
89.15. Section M
89.17. Section O
89.16. Section N
89.18. Section P
89.20. Section R
89.19. Section Q
89.21. Description du sondage au dos du chevet
89.22. Description de l'entrée

90. Les projets de restauration du cairn 338
90.1. Le projet de 1981
90.2. Le projet de 1982
90.3. Le projet final (vue aérienne)

91. 2011 - Relevés numériques (lasergrammétrie) du cairn 339
91.1. Nuage de points en occlusion ambiante
91.2. Densité du nuage de points après une décimation à 5 cm
91.3. Élévation Sud-Est (GH)
91.4. Plan de toiture
91.5. Coupe Sud-Est (GH)
91.6. Plan avec les structures internes
91.7. Coupe Sud-Ouest (AB)
91.9. Élévation Sud-Ouest (AB)
91.8. Coupe Nord-Est (CD)
91.10. Élévation Nord-Est (CD)
91.11. Coupe vers le Nord (EF)
91.12. Élévation Nord-Ouest (HG)
91.13. Evolution de la morphologie du cairn entre 1979 (avant le chantier de fouilles) et 1984 (après la restauration, état de 2011)

Le couloir de Gavrinis depuis sa découverte

92. Le couloir en 1852 : dessins du capitaine Lucas 346
92.1. Plan

92.2. Elévation gauche
92.3. Elévation de l'entrée

93. Le couloir en 1868 : dessins de sir H. Dryden et W.C. Lukis 347
93.1. Plan

94. Le couloir en 1884 : dessins publié par G. de Closmadeuc 348
94.1. Plan
94.2. Elévation gauche
94.3. Elévation droite

95. Le couloir en 1935 : dessins de Z. Le Rouzic 349
95.1. Plan
95.2. Elévation gauche
95.3. Elévation droite
95.4. Elévation du chevet

96. Le couloir en 1981 : dessins de C.T. Le Roux 350
96.1. Plan

97. Le couloir en 2011 : Relevés numériques (laser- et photo-grammétrie) 351
97.1. Elévation gauche
97.2. Plan du sol
97.3. Plan des faces supérieures des dalles de couverture
97.4. Elévation droite
97.5. Plan des faces inférieures des dalles de couverture
97.6. Elévation du chevet
97.7. Elévation du dos du chevet
97.8. Synthèse des différents systèmes de notation des dalles de Gavrinis ayant eu cours

98. Photographies du couloir réalisées pendant les campagnes de fouilles 355
98.1. L'entrée avant 1979
98.2. Sondages autour de L11
98.3. Sondages autour de S1

Les dalles formant le couloir de Gavrinis

99. Orthostate L1 360
99.1. Représentation photoréaliste
99.2. Représentation en normal map
99.3. Représentation en occlusion ambiante

100. Orthostate L2 362
100.1. Représentation photoréaliste

100.2. Représentation en normal map
100.3. Représentation en occlusion ambiante

101. Orthostate L3 363
101.1. Représentation en normal map
101.2. Représentation en occlusion ambiante

102. Orthostate L4 364
102.1. Le relevé d'E. Shee-Twohig
102.2. Courbes de niveau espacées de 5mm
102.3. Représentation en normal map
102.4. Représentation en occlusion ambiante
102.5. Synthèse des cartes des écarts
102.6. Synthèse des tracés (sans fond)
102.7. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

103. Orthostate L5 366
103.1. Le relevé d'E. Shee-Twohig
103.2. Courbes de niveau espacées de 5mm
103.3. Représentation en normal map
103.4. Représentation en occlusion ambiante
103.5. Synthèse des cartes des écarts
103.6. Synthèse des tracés (sans fond)
103.7. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

104. Orthostate L6 368
104.1. Le relevé d'E. Shee-Twohig
104.2. Courbes de niveau espacées de 5mm
104.3. Représentation en normal map
104.4. Représentation en occlusion ambiante
104.5. Synthèse des cartes des écarts
104.6. Synthèse des tracés (sans fond)
104.7. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

105. Orthostate L7 370
105.1. Le relevé d'E. Shee-Twohig
105.2. Courbes de niveau espacées de 5mm
105.3. Représentation en normal map
105.4. Représentation en occlusion ambiante
105.5. Synthèse des cartes des écarts
105.6. Synthèse des tracés (sans fond)
105.7. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

106. Orthostate L8 372

106.1. Le relevé d'E. Shee-Twohig
106.2. Courbes de niveau espacées de 5mm
106.3. Représentation en normal map
106.4. Représentation en occlusion ambiante
106.5. Synthèse des cartes des écarts
106.6. Synthèse des tracés (sans fond)
106.7. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)
106.8. Représentation en normal map convertie en niveau de gris et les compléments photogrammétriques

107. Orthostate L9 374
107.1. Le relevé du capitaine Lucas en 1852
107.2. Le relevé d'E. Shee-Twohig
107.3. Courbes de niveau espacées de 5mm
107.4. Représentation en normal map
107.5. Représentation en occlusion ambiante
107.6. Synthèse des cartes des écarts
107.7. Synthèse des tracés (sans fond)
107.8. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

108. Orthostate L10 376
108.1. Le relevé de G. de Closmadeuc
108.2. Le relevé d'E. Shee-Twohig
108.3. Courbes de niveau espacées de 5mm
108.4. Représentation en normal map
108.5. Représentation en occlusion ambiante
108.6. Synthèse des cartes des écarts
108.7. Synthèse des tracés (sans fond)
108.8. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

109. Orthostate L11 378
109.1. Le relevé d'E. Shee-Twohig
109.2. Courbes de niveau espacées de 5mm
109.3. Représentation en normal map
109.4. Représentation en occlusion ambiante
109.5. Synthèse des cartes des écarts
109.6. Synthèse des tracés (sans fond)
109.7. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)
109.8. Identification des sources ayant permis de reconstituer L11 dans sa globalité
109.9. L'orthostate L11 dans son contexte (vue en plan)
109.10. L'orthostate L11 dans son contexte (vue frontale depuis le couloir)
109.11. L'orthostate L11 dans son contexte (vue frontale depuis la chambre)

110. Orthostate C1 382

110.1. Le relevé du capitaine Lucas en 1852
110.2. Le relevé d'E. Shee-Twohig
110.3. Courbes de niveau espacées de 5mm
110.4. Représentation en normal map
110.5. Représentation en occlusion ambiante
110.6. Synthèse des cartes des écarts
110.7. Synthèse des tracés (sans fond)
110.8. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

111. Orthostate C2 384
111.1. Le relevé d'E. Shee-Twohig
111.2. Courbes de niveau espacées de 5mm
111.3. Représentation en normal map
111.4. Représentation en occlusion ambiante
111.5. Synthèse des cartes des écarts
111.6. Synthèse des tracés (sans fond)
111.7. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

112. Orthostate C3 386
112.1. Le relevé du capitaine Lucas en 1852
112.2. Le relevé d'E. Shee-Twohig
112.3. Courbes de niveau espacées de 5mm
112.4. Représentation en normal map
112.5. Représentation en occlusion ambiante
112.6. Synthèse des cartes des écarts
112.7. Synthèse des tracés (sans fond)
112.8. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

113. Orthostate C4 388
113.1. Le relevé du capitaine Lucas en 1852 (vue du couloir)
113.2. Le relevé d'E. Shee-Twohig (vue du couloir)
113.3. Courbes de niveau espacées de 5mm (vue du couloir)
113.4. Représentation en normal map (vue du couloir)
113.5. Représentation en occlusion ambiante (vue du couloir)
113.6. Synthèse des cartes des écarts (vue du couloir)
113.7. Synthèse des tracés (sans fond - vue du couloir)
113.8. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux - vue du couloir)
113.9. Le relevé de C.-T. Le Roux (dos de C4)
113.10. Représentation en normal map (dos de C4)
113.11. Représentation en occlusion ambiante (dos de C4)

114. Orthostate C5 392
114.1. Le relevé d'E. Shee-Twohig

114.2. Courbes de niveau espacées de 5mm
114.3. Représentation en normal map
114.4. Représentation en occlusion ambiante
114.5. Synthèse des cartes des écarts
114.6. Synthèse des tracés (sans fond)
114.7. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

115. Orthostate C6 394
115.1. Le relevé d'E. Shee-Twohig
115.2. Courbes de niveau espacées de 5mm
115.3. Représentation en normal map
115.4. Représentation en occlusion ambiante
115.5. Synthèse des cartes des écarts
115.6. Synthèse des tracés (sans fond)
115.7. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

116. Orthostate R12 396
116.1. Le relevé d'E. Shee-Twohig
116.2. Courbes de niveau espacées de 5mm
116.3. Représentation en normal map
116.4. Représentation en occlusion ambiante
116.5. Synthèse des cartes des écarts
116.6. Synthèse des tracés (sans fond)

117. Orthostate R11 399
117.1. Le relevé d'E. Shee-Twohig
117.2. Représentation en normal map
117.3. Représentation en occlusion ambiante
117.4. Synthèse des tracés (sans fond)

118. Orthostate R10 400
118.1. Le relevé du capitaine Lucas en 1852 (vue du couloir)
118.2. Le relevé d'E. Shee-Twohig (vue du couloir)
118.3. Courbes de niveau espacées de 5mm (vue du couloir)
118.4. Représentation en normal map (vue du couloir)
118.5. Représentation en occlusion ambiante (vue du couloir)
118.6. Synthèse des cartes des écarts (vue du couloir)
118.7. Synthèse des tracés (sans fond - vue du couloir)
118.8. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux - vue du couloir)

119. Orthostate R9 402
119.1. Le relevé du capitaine Lucas en 1852 (vue du couloir)
119.2. Le relevé d'E. Shee-Twohig (vue du couloir)

119.3. Courbes de niveau espacées de 5mm (vue du couloir)
119.4. Représentation en normal map (vue du couloir)
119.5. Représentation en occlusion ambiante (vue du couloir)
119.6. Synthèse des cartes des écarts (vue du couloir)
119.7. Synthèse des tracés (sans fond - vue du couloir)
119.8. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux - vue du couloir)

120. Orthostate R8 404
120.1. Le relevé du capitaine Lucas
120.2. Le relevé d'E. Shee-Twohig
120.3. Courbes de niveau espacées de 5mm
120.4. Représentation en normal map
120.5. Représentation en occlusion ambiante
120.6. Synthèse des cartes des écarts
120.7. Synthèse des tracés (sans fond)
120.8. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

121. Orthostate R7 406
121.1. Représentation photoréaliste
121.2. Représentation en normal map
121.3. Représentation en occlusion ambiante
121.4. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

122. Orthostate R6 408
122.1. Le relevé d'E. Shee-Twohig
122.2. Courbes de niveau espacées de 5mm
122.3. Représentation en normal map
122.4. Représentation en occlusion ambiante
122.5. Synthèse des cartes des écarts
122.6. Synthèse des tracés (sans fond)
122.7. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

123. Orthostate R5 410
123.1. Le relevé d'E. Shee-Twohig
123.2. Courbes de niveau espacées de 5mm
123.3. Représentation en normal map
123.4. Représentation en occlusion ambiante
123.5. Synthèse des cartes des écarts
123.6. Synthèse des tracés (sans fond)
123.7. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

124. Orthostate R4 412
124.1. Le relevé d'E. Shee-Twohig

124.2. Courbes de niveau espacées de 5mm
124.3. Représentation en normal map
124.4. Représentation en occlusion ambiante
124.5. Synthèse des cartes des écarts
124.6. Synthèse des tracés (sans fond)
124.7. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

125. Orthostate R3 414
125.1. Le relevé d'E. Shee-Twohig
125.2. Courbes de niveau espacées de 5mm
125.3. Représentation en normal map
125.4. Représentation en occlusion ambiante
125.5. Synthèse des cartes des écarts
125.6. Synthèse des tracés (sans fond)
125.7. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

126. Orthostate R2 416
126.1. Représentation photoréaliste
126.2. Représentation en normal map
126.3. Représentation en occlusion ambiante

127. Orthostate R1 417
127.1. Représentation photoréaliste
127.2. Représentation en normal map
127.3. Représentation en occlusion ambiante

128. Les dalles de couvertures P1 et P2 418
128.1. Section sur les dalles
128.2. Représentation en normal map convertie en niveau de gris de la sous-face et de la tranche
128.4. Le relevé de Z. Le Rouzic
128.5. Le relevé d'E. Shee-Twohig
128.6. Le relevé de S. Cassen
128.3. Représentation en normal map convertie en niveau de gris de la sous-face et de la tranche avec superposition des gravures

129. Les dalles de couverture P3, P4 et P5 420
129.1. Section sur les dalles
129.2. Représentation en normal map convertie en niveau de gris
129.3. Représentation en occlusion ambiante

130. Les dalles de couverture P6, P7 et P8 421
130.1. Section sur les dalles

130.2. Représentation en occlusion ambiante
130.3. Représentation en normal map convertie en niveau de gris

131. La dalle de couverture P9 423
131.1. Représentation en normal map convertie en niveau de gris
131.2. Section sur la dalle
131.3. Représentation en occlusion ambiante

132. La dalle de couverture P10 425
132.1. Représentation en normal map convertie en niveau de gris de la face supérieure
132.2. Représentation en normal map convertie en niveau de gris de la dalle à une échelle réduite
132.3. Synthèse des tracés (sans fond)
132.4. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

133. Les dalles de sol S1, S2, S3 et S4 427
133.1. Représentation en normal map convertie en niveau de gris
133.2. Représentation en occlusion ambiante

134. Les dalles de sol S5, S6 et S7 428
134.1. Représentation en normal map convertie en niveau de gris
134.2. Représentation en occlusion ambiante

135. Les dalles de sol S8, S9 et S10 429
135.1. Représentation en normal map convertie en niveau de gris
135.2. Représentation en occlusion ambiante

136. Les dalles de sol S11 et S12 430
136.1. Représentation en normal map convertie en niveau de gris
136.2. Représentation en occlusion ambiante

137. Les ornements de la dalle de sol S12 431
137.1. Le relevé d'E. Shee-Twohig
137.2. Synthèse des cartes des écarts
137.3. Synthèse des tracés (sans fond)
137.4. Synthèse des tracés (avec ombrage selon les vecteurs normaux)

138. La dalle de sol S13 433
138.1. Représentation en normal map convertie en niveau de gris
138.2. Représentation en occlusion ambiante

139. Description des corpus photogrammétriques 435

Restitutions de l'architecture de Gavrinis au Néolithique

140. Gavrinis I, le premier cairn 440
140.1. Élévation Sud-Est (GH)
140.2. Plan de toiture
140.3. Coupe Sud-Est (GH)
140.4. Plan avec les structures internes
140.5. Coupe Sud-Ouest (AB)
140.6. Élévation Sud-Ouest (AB)
140.7. Coupe Nord-Est (CD)
140.8. Élévation Nord-Est (CD)
140.9. Coupe vers le Nord (EF)
140.10. Élévation Nord-Ouest (HG)

141. Gavrinis II, extension du couloir et agrandissement du cairn 444
141.1. Élévation Sud-Est (GH)
141.2. Plan de toiture
141.3. Coupe Sud-Est (GH)
141.4. Plan avec les structures internes
141.5. Coupe Sud-Ouest (AB)
141.6. Élévation Sud-Ouest (AB)
141.7. Coupe Nord-Est (CD)
141.8. Élévation Nord-Est (CD)
141.9. Coupe vers le Nord (EF)
141.10. Élévation Nord-Ouest (HG)

II - Protocoles d'acquisitions et de traitements des données

Traitement des maillages

142. Reconstruction de S12 452
142.1. Description géométrale des données acquises en lasergrammétrie
142.2. Reconstruction 123DCatch (Autodesk)
142.3. Processus de reconstruction 123DCatch (Autodesk)
142.4. Description géométrale de la reconstruction 123DCatch (Autodesk)
142.5. Comparaison entre les maillages issus de la lasergrammétrie et de la reconstruction 123DCatch (Autodesk)
142.6. Reconstruction Visual SFM
142.7. Processus de reconstruction Visual SFM
142.8. Description géométrale de la reconstruction Visual SFM
142.9. Comparaison entre les maillages issus de la lasergrammétrie et de la reconstruction Visual SFM

143. Description du corpus photogrammétrique 461

144. Procédure pour compléter les maillages de Gavrinis (R12 comme exemple) 462

144.1. Alignement des photos
144.2. Nuage de points des points de contrôle détectés parmi toutes les images et position des caméras dans l'espace
144.3. Construction de la géométrie et texturation du modèle
144.4. Prépositionnement du modèle photogrammétrique (en gris, le scan issu de la lasergrammétrie)
144.5. Mise à l'échelle du modèle
144.6. Installation des cibles de recalage sur le modèle photogrammétrique
144.7. Nettoyage du modèle photogrammétrique (modèle mobile) pour que le taux de recouvrement entre les deux maillages soit le plus élevé possible
144.8. Schéma algorithmique du processus d'assemblage du modèle photogrammétrique sur le modèle lasergrammétrique
144.9. Best fit entre les modèles mobile et lasergrammétrique
144.10. Utilisation des cibles de recalage pour repositionner le modèle photogrammétrique sur le modèle mobile
144.11. Résultat de l'assemblage et détourage de la partie qui nous intéresse
144.12. Détourage du modèle mobile pour ne conserver que les parties absentes du modèle lasergrammétrique
144.13. Fusion des maillages et résultat
144.14. Nettoyage des maillages
144.15. Différence de densité du maillage selon l'outil d'acquisition

La détection des gravures

145. Etablissement du catalogue de profil des gravures 472
145.1. Les trois paramètes permettant de générer le catalogue de profil des gravures
145.2. Le catalogue de profil des gravures

146. Application des méthodes de détection de gravure sur les profils 474
146.1. Détections numériques des gravures de la ligne 1 du catalogue
146.2. Détections numériques des gravures de la ligne 2 du catalogue
146.3. Détections numériques des gravures de la ligne 3 du catalogue
146.4. Détections numériques des gravures de la ligne 4 du catalogue
146.5. Détections numériques des gravures de la ligne 5 du catalogue
146.6. Détections numériques des gravures de la ligne 6 du catalogue
146.7. Détections numériques des gravures de la ligne 7 du catalogue
146.8. Détections numériques des gravures de la ligne 8 du catalogue
146.9. Détections numériques des gravures de la ligne 9 du catalogue
146.10. Détections numériques des gravures de la ligne 10 du catalogue
146.11. Détections numériques des gravures de la ligne 11 du catalogue
146.12. Détections numériques des gravures de la ligne 12 du catalogue
146.13. Détections numériques des gravures de la ligne 13 du catalogue
146.14. Détections numériques des gravures de la ligne 14 du catalogue
146.15. Détections numériques des gravures de la ligne 15 du catalogue

147. Synthèse des mesures réalisées ligne par ligne du catalogue (paramètre variable : la

trapézéification du profil) 489
147.1. Synthèse des mesures réalisées sur les lignes 1, 2 et 3
147.2. Synthèse des mesures réalisées sur les lignes 4, 5 et 6
147.3. Synthèse des mesures réalisées sur les lignes 7, 8 et 9
147.4. Synthèse des mesures réalisées sur les lignes 10, 11 et 12
147.5. Synthèse des mesures réalisées sur les lignes 13, 14 et 15

148. Synthèse des mesures réalisées selon la technique de détection 494
148.1. Synthèse des mesures pour la technique dite du rayon de courbure [B]
148.2. Synthèse des mesures pour la technique dite des cartes des écarts [C]
148.3. Synthèse des mesures pour la technique dite de l'éclairage virtuel rasant [E]
148.4. Synthèse des mesures pour la technique dite de l'occlusion ambiante [F]

149. Moyenne des mesures réalisées pour chaque technique 498

150. Comparaison des techniques deux à deux 499
150.1. Ratio (en %) des mesures réalisées à partir des techniques dites de la carte des écarts [C] et le rayon de courbure [B]
150.2. Ratio (en %) des mesures réalisées à partir des techniques dites du rayon de courbure [B] et de l'éclairage virtuel rasant [E]
150.3. Ratio (en %) des mesures réalisées à partir des techniques dites du rayon de courbure [B] et de l'occlusion ambiante [F]
150.4. Ratio (en %) des mesures réalisées à partir des techniques dites de la carte des écarts [C] et l'éclairage virtuel rasant [E]

III - Application des protocoles d'acquisition

151. Stèle Kermaillard à Sarzeau 506
150.5. Première reconstruction, février 2012
151.1. Deuxième reconstruction, avril 2012
151.2. Deuxième reconstruction, avril 2013

152. Alignement de Kerjouanno, Arzon (56), novembre 2012 512

153. Grotte de la Hache à Buthiers (71), jui n2013 514

154. Coffre 3 du Manio 2 à Carnac (56), octobre 2013 517

155. Stèle de la Tremblais à Saint-Samson (22), décembre 2013 520
155.1. La stèle dans sa position initiale supposée (représentation en texture photoréaliste augmentée du relief)
155.2. La stèle dans sa position actuelle (représentation en texture photoréaliste)

156. Stèle de la Pierre aux Fées à Saint-Micaud (71), avril 2014 524

157. Stèle de Nobles à Chapelle-sous-Brancion (71), avril 2014 526
157.1. Description géométrale de la stèle (eprésentation en texture photoréaliste)
157.2. Détail sur la zone gravée

158. Stèle de Mané Kerioned à Carnac (56), août 2014 529

159. Stèle de Moustoir à Carnac (56), août 2014 529

160. Stèle de Kerpenhir à Locmariaquer (56), septembre 2014 530

161. Rocher de la Vallée aux Noirs 6 à Buthiers (71), septembre 2014 531

162. Tumulus et ciste de Saint Michel à Carnac (56), février 2015 534

163. Ciste du tumulus Mané er Hroëck à Locmariaquer (56), février 2015 538

164. Description des corpus photogrammétriques 542

I/ Partie introductive

Chapitre 1. Définitions et problématiques

1.1. L'origine du projet

1.1.1. Des tombes à couloir néolithiques récemment fouillées, mais encore mal comprises

Entre 1979 et 1994, les trois grandes sépultures collectives du littoral morbihannais ont été l'objet de fouilles et de restaurations. Il s'agit des sites de :

- Petit Mont dont le chantier est dirigé par J. Lecornec entre 1979 et 1989 ;
- Gavrinis dont les travaux sont confiés au SRA (dirigé par C.-T. Le Roux) entre 1979 et 1984 ;
- la Table des Marchands, Grand Menhir Brisé et Er Grah : les missions administratives et scientifiques sont conduites par J. L'Helgouac'h et C.-T. Le Roux entre 1986 et 1994.

Même si le financement de ces programmes est différent, ces trois chantiers relèvent d'une même intention. Devant l'augmentation de la fréquentation des sites et les lacunes concernant la connaissance des monuments, ces travaux ont pour objectifs d'améliorer l'accueil des visiteurs et les discours qui leurs sont proposés. Au terme des explorations, les monuments sont restaurés, mais les recherches auront été ponctuées d'un faible nombre de publications pour des monuments aussi exceptionnels :

- trois publications sont à dénombrer pour Petit Mont (Lecornec 1985 ; Lecornec 1987 ; Lecornec 1994), la dernière étant postérieure au chantier de fouilles ;
- pour Gavrinis, quatre publications ont été recensées (Le Roux 1981 ; Le Roux 1982 ; Le Roux 1984 ; Le Roux 1985) ;
- et seulement une pour la Table des Marchands (Cassen et L'Helgouac'h 1992).

Cette liste ne reprend pas les différents rapports de fouilles rédigés en vue de rendre compte de ce qui a été fait et de justifier l'utilisation des fonds publics, mais illustre les lacunes pouvant exister quant à la documentation de ces architectures.

Pour ce dernier site, une opportunité est apparue en 2004 à travers une Action Collective de Recherche pour établir le bilan des fouilles à Locmariaquer. L'allocation d'un budget sur trois années a permis de constituer une équipe dirigée par S. Cassen et de rassembler les collections dispersées. Toute cette documentation réunie a permis de produire une synthèse archéologique. Les résultats ont été publiés

en 2009 (Cassen 2009b) à l'issu d'un colloque tenu en 2007 à Vannes. Du site le moins publié, il est aujourd'hui le mieux documenté.

Dans les conclusions de cette recherche, la restauration de la tombe est déjà critiquée puisque comme nous le détaillerons plus précisément dans les chapitres [4.2.] et [9.3.3.], le volume actuel des éboulis ne semble pas correspondre à l'état initial. Cependant, l'hypothèse d'une restitution de l'enveloppe tumulaire est seulement esquissée. D'une manière plus générale, la restauration de ces trois monuments et l'image véhiculée de leurs architectures sont jugées problématiques.

Le travail présenté dans cet ouvrage se pose pour ambition de questionner et d'approfondir les questions de restitution des tombes à couloir de l'Ouest de la France du début du IVe millénaire avant J.-C.

1.1.2. L'émergence de Gavrinis comme cas d'étude

À la fin du projet consacré à la Table des Marchands en 2009, c'est naturellement que le mouvement s'est dirigé vers le cairn de Gavrinis. La complémentarité du monument avec la Table des Marchands est évidente depuis la découverte des gravures au dos de la dalle de couverture de la chambre funéraire – celles-ci se raccordant parfaitement avec la dalle du site de Locmariaquer (Le Roux 1985).

L'argument du programme de recherche « Gavrinis (Larmor-Baden) – À la recherche des représentations d'une tombe à couloir du IVe millénaire » (Cassen et al. rapport 2011, p. 6) indique qu'il...

> *... s'agissait en premier lieu de constituer un nouveau corpus des représentations symboliques comprises dans le contexte architectural d'un des plus fameux monuments morbihannais. À travers un nouvel enregistrement des données topographiques et archéologiques du tumulus dit de Gavrinis et de la tombe à couloir inscrite à l'intérieur, l'objectif était d'assurer une représentation de l'architecture, d'une part, des signes gravés, d'autre part, en accord avec les avancées récentes de la recherche fondamentale sur le sujet. L'amélioration du rapport constant en archéologie, et notamment dans toute étude iconographique, entre représentation et interprétation.*
>
> *Les gravures de Gavrinis sont mondialement connues et sources d'innombrables articles, livres, bandes dessinées, films documentaires, sites Internet... Les documents sollicités par ces médias, quand il ne s'agit pas de photographies, sont tous dépendants de relevés effectués au XIXe siècle – encore tout récemment copiés sans discussion critique à l'occasion d'un congrès international (Sansoni 2008) –, ou repris du dernier enregistrement des gravures opéré entre 1968 et 1969, puis publiés en langue anglaise au début des années 80 (Shee-Twohig 1981). C'est sur cette base graphique que sont aujourd'hui produits les panneaux d'exposition figurant ces symboles, aussi bien en musée (Carnac, Bougon, Saint-Germain-en-Laye, etc.) que sur le site lui-même.*
>
> *Il n'est pas excessif d'affirmer que nous sommes arrivés en limite d'utilisation et d'exploitation de cette information visuelle, tandis que l'interprétation archéologique, architecturologique, sémantique même, méritent d'être réévaluées. Ce qui suppose là encore de constituer un corpus en accord avec les techniques aujourd'hui à notre disposition, dont la puissance de résolution est sans commune mesure avec les outils*

> *hier au service des chercheurs et des médiateurs du patrimoine. La reprise des gravures de haches en Armorique dans le cadre du programme JADE (programme ANR sous la direction de P. Pétrequin 2006/2009) nous a ainsi obligé à produire un nouvel enregistrement de ces signes si spécifiques à Gavrinis, une mission qui indirectement a conduit en 2007 à la détection de colorations rougeâtres inattendues, présentées au colloque international de Besançon en 2009 (Cassen 2012, p. 1345), colorations suspectes déjà évoquées lors de l'observation des gravures sur les sites de Locmariaquer (Cassen 2009b, p. 183). Ces exercices ont permis d'évaluer et le potentiel du site et les procédés techniques susceptibles de couvrir la totalité du monument.*

Afin d'atteindre ces objectifs, une équipe pluridisciplinaire associait alors archéologue (S. Cassen) et architectes (L. Lescop et V. Grimaud). Des topographes-géomaticiens se sont joints afin de remplir les missions d'acquisitions. Ce travail a été accompli par l'agence MMW (D. et M. Morel) pour l'enregistrement du site et assurer les raccords intérieurs/extérieur et architecture/détails. Cette échelle des détails, c'est-à-dire les gravures, a été acquise par le CRT de Morlaix (G. Bourbouze et Y. Liziard).

1.2. Quelle approche adopter pour étudier Gavrinis ?

1.2.1. Évolution du projet depuis le début de ce travail de doctorat

1.2.1.1. Un projet initial centré sur la médiation

Issu d'un laboratoire[1] dont les objets de recherche étaient dirigés vers la scénographie en lien avec l'architecture des lieux scéniques, la scénographie urbaine et paysagère, et la scénographie virtuelle, le projet initial de ce travail était naturellement orienté vers la médiation des architectures funéraires néolithiques grâce à des dispositifs scéniques et la recherche de la meilleure intégration de contenus numériques.

Une base de données tridimensionnelles a été constituée en 2011 pour le site de Gavrinis. Ce document avait pour objectif de servir à la fois l'étude du monument, et la médiation culturelle. Les deux volets ont été conçus comme indissociables.

Dans le cadre d'une construction personnelle du projet, le postulat initial considère que la médiation à concevoir autour du site doit s'appuyer sur un discours scientifique. Ce terme clef doit être défini avant de développer l'évolution du projet :

> **MÉDIATION** *nom féminin – 1561 ; « division » XIII^e^ ; bas latin mediatio*, de *mediare*. **1.** Entremise destinée à mettre d'accord, à concilier ou à réconcilier des personnes, des partis → arbitrage, conciliation, entremise, intermédiaire, intervention. *Offrir, proposer sa médiation. Tentative de médiation pour obtenir la libération des otages. Médiation entre États.* → *office (bons offices).* – SPECIALITES. Procédure de

1 Le GERSA : Groupe d'Étude et de Recherche en Scénographie et Architecture ; la structure a disparu en 2013 pour être intégrés au CERMA, puis fusionnés avec le LAUA (deux autres laboratoires de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes) afin de former le CRENAU en 2015.

> conciliation internationale organisée. *Médiation par l'ONU*. **2.** DIDACTIQUE. Le fait de servir d'intermédiaire ; ce qui sert d'intermédiaire. – PHILOSOPHIE. Processus créateur par lequel on passe d'un terme initial à un terme final.
>
> *Définition du Petit Robert 2003*

Le premier sens de la médiation renvoie à un contexte de conflit, mais ce n'est pas le cas qui nous intéresse dans le cadre d'un projet de valorisation du patrimoine. Le deuxième sens s'en approche, et c'est la seconde définition qui nous aidera à poser la réflexion. La médiation est un « processus créateur par lequel on passe d'un terme initial à un terme final ». Afin de hisser la médiation comme objet de recherche, il convient d'isoler les différents aspects de la médiation et d'étudier leurs relations.

La définition fait déjà état d'un terme initial et d'un terme final. Le point de départ correspond à l'objet ou au site qui fera l'objet de l'exposition et à l'ensemble de la documentation qui permet de comprendre cet objet. Ce dernier aspect peut comprendre à la fois les études scientifiques comme la culture populaire ; le lien doit néanmoins être établi entre l'objet et les sources d'informations. La préparation de l'exposition nécessite d'organiser l'ensemble de la base documentaire en relation avec le site : il s'agit du travail du commissaire d'exposition.

Depuis ce départ, l'arrivée peut être visée. Il s'agit de définir comment les discours – au sens large du terme, c'est-à-dire scientifiques, sensibles, etc. – sont perçus par le visiteur. Ce point est plus ou moins facile à cerner puisque la réception dépend de nombreux facteurs maîtrisables pour certains (mise en condition des visiteurs) et incontrôlables pour d'autres (le niveau de préparation de la visite, le capital culturel de chacun des visiteurs...).

Entre ces deux termes, nous trouvons l'ensemble des moyens scéniques et les éléments de discours permettant la transmission du message. Il s'agit du processus créateur évoqué dans la définition, et il est le résultat du travail conjoint du commissaire d'exposition et du scénographe.

Si nous hissons la médiation comme objet de recherche, chacun des termes peut être exploré individuellement, mais à condition de l'étudier dans la globalité du projet : création du contenu, conception des média, et réception du projet par les visiteurs. L'évaluation d'un projet de médiation repose sur la comparaison entre les objectifs de médiation initialement défini et le résultat.

L'expérience conduite en 2013 lors de la Semaine du Golfe (Vannes) a été riche d'enseignement. Pendant une semaine, les principaux résultats de nos travaux ont été présentés sur un écran immersif (Naexus) à un public divisé en groupe d'une dizaine de personnes. Pendant une quinzaine de minutes, des médiateurs assuraient la présentation et répondaient aux questions. Avec le recul, il s'est avéré que le hiatus existant entre le contenu disponible – relativement maigre – et la finalisation de la préparation de l'exposition était trop important. En l'occurrence, le rassemblement de la base documentaire et le recoupement des informations soulevaient plus de questions que n'apportaient de réponses sur lesquelles un projet de médiation pouvait se fonder. En outre, la justesse des moyens mis en œuvre et la réception du projet par les visiteurs est un facteur difficile à qualifier autrement que par la répétition du même discours à travers différentes installations.

Il faut enfin souligner que cette démarche recoupe des domaines d'activités propres au commissaire d'exposition et au scénographe. N'étant formé ni à l'un, ni à l'autre, cette approche semblait difficile à poursuivre.

1.2.1.2. Un projet réorienté vers l'exploration du site de Gavrinis

Par conséquent, une réorientation du projet de thèse a été décidée. Le mouvement a consisté à dissocier la production du contenu de l'invention des moyens (scéniques et/ou discursifs) permettant de délivrer un discours autour des architectures funéraires néolithiques. Cela a été possible car les deux volets reposent sur la même base de données tridimensionnelles.

Le programme de recherche dans lequel ce travail est inscrit est intitulé « à la recherche des représentations d'une tombe à couloir du IVe millénaire ». Le volet prédominant concerne l'étude des signes au travers de leur représentation et interprétation. En effet, le site de Gavrinis est principalement connu à travers les motifs de son couloir. Mais l'enregistrement complet du site avait également pour objectif de mener conjointement à l'étude architecturale du monument, et c'est cet angle que la présente thèse se donne pour objectif d'explorer. Ce travail s'inscrit donc dans le prolongement de ce qui a été réalisé pour le site de la Table des Marchands, appliqué au cairn de Gavrinis. Il s'appuie sur la constitution d'un corpus documentaire issu des archives, son renouvellement grâce aux techniques d'acquisition en vigueur au moment de l'opération (en 2011), et la confrontation des différentes observations. De cette manière, des questionnements archéologiques ont pu être résolus.

La pluridisciplinarité de l'équipe de recherche a conduit à une situation unique dans l'épistémologie de l'étude des architectures funéraires néolithiques dans l'Ouest de la France puisqu'il s'agit de la première étude architecturale en France de ces monuments réalisée par un architecte. À l'échelle européenne, il est tout au plus possible de citer l'équipe de T. Dehn spécialisée sur la restauration des dolmens au sein de l'équivalent de l'office danois des eaux et forêts (Dehn et Hansen 1990).

Ce projet de recherche mené par une équipe de recherche si restreinte (trois personnes) nécessite d'explorer plusieurs pistes pour apporter les réponses aux problèmes posés. La posture adoptée dans ce travail pourra être interrogée puisque des questions purement archéologiques seront abordées, tout autant que des aspects techniques. D'une manière générale, cela renvoie au débat concernant la définition d'une thèse en architecture. L'installation de la réforme Licence – Master – Doctorat aux études d'architecture souleva de nombreuses interrogations (Lengereau 2005). Nous n'engagerons pas ici une synthèse des débats ; l'exercice serait beaucoup trop long. Simplement, la diversité des approches rapportées dans ce rapport du Ministère de la Culture et de la Communication nécessite de définir la posture adoptée pour mener à bien le projet que nous venons de définir. Ce point sera plus précisément détaillé dans le chapitre [2.2.].

1.2.1.3. Définition des termes réexplorer et valoriser

L'objet principal de cette thèse n'est plus de définir les médiations des architectures funéraires néolithiques de l'Ouest de la France, mais de réexplorer et de valoriser. Ces deux termes sont nécessaires pour définir le travail qui a été mené. Leurs définitions permettront de mieux cerner les objectifs que nous nous fixons.

> **EXPLORER** *verbe transitif – 1546 « examiner, vérifier » ; repris en 1797 ; latin explorare*
> **1.** Parcourir (un pays mal connu) en l'étudiant avec soin. *Découvrir et explorer une île, une zone polaire. Explorer un pays pour en connaître la topographie, les ressources* (→ prospecter), *les habitants*. | par extension : parcourir en observant, en cherchant. *Explorer le ciel à la jumelle. « Boulatruelle avait exploré, sondé et fureté toute la forêt, et fouillé partout où la terre lui parut fraîchement remuée »* (Hugo). → battre. *« Des celliers aux mansardes, elle avait exploré, pièce par pièce, les profondeurs de la vieille demeure »* (Bosco). **2.** (abstrait) Faire des recherches en étudiant (un ensemble d'informations, un domaine du savoir). *Explorer une science, une question.* → approfondir, étudier. *Ces signes « que mon attention explorant mon inconscient allait chercher »* (Proust). → sonder. *« L'œuvre de Rimbaud est encore riche en détours, en jungles, en retraites mal explorées »* (Duhamel). **3.** MÉDECINE Procéder à l'exploration de. → ausculter, examiner, sonder. *Sonde pour explorer les plaies, les cavités naturelles.*
>
> *Définition du Petit Robert 2003*

La définition donnée pour le terme *explorer* implique que l'objet ou le domaine dont il est question est encore mal connu. L'exploration du cairn de Gavrinis se donne pour mission de mieux connaître l'histoire et l'architecture du monument. Il s'agit cependant d'une *ré-exploration* car de nombreux auteurs nous ont déjà précédés dans cette tâche. Cependant, le travail ne sera pas vain puisque comme nous l'avons indiqué, la synthèse des dernières interventions réalisées sur le site n'a pas été produite. De plus, les outils dont nous disposons aujourd'hui permettent d'étudier le monument autrement et sous un nouveau jour. Nous exposerons cela dans la méthodologie.

> **VALORISER** verbe transitif – 1925 ; du latin *valor* □ valeur. Action d'attribuer une valeur à quelque chose.
>
> **VALEUR**[1] nom féminin – 1080 ; du latin *valor* □ valeur. **[IV] 1.** (1845) Mesure (d'une grandeur variable). *« Affirmer d'une grandeur qu'elle est mesurable, c'est affirmer qu'on peut en fixer la valeur* (Broglie). *Valeur numérique.* → mesure. *Valeur absolue d'un nombre réel*, ce nombre s'il est positif, son opposé s'il est négatif. *Valeur relative :* Rapport d'une grandeur à une autre grandeur. → proportion. | Quantité approximative. *Ajoutez la valeur d'une cuillère à café.* → équivalent. **2.** Mesure conventionnelle (attachée à un signe). *La valeur des différentes cartes*. (1659) Durée relative (d'une note, d'un silence), indiquée par sa figure, éventuellement modifiée par certains signes. *La valeur de deux blanches est deux noires*. **3.** (XVII[e] siècle) LINGUISTIQUE. Sens (d'un mot) limité ou précisé par son appartenance à une structure (champ associatif, contexte). *« Dans la langue, chaque terme a sa valeur par son opposition avec tous les autres termes »* (Saussure). **4.** (1792) PEINTURE. Qualité (d'un ton plus ou moins foncé ou plus ou moins saturé). *« Des écarts de valeurs plutôt que des contrastes de tons »* (Fromentin)
>
> *Définition du Petit Robert 2003*

La réexploration du site nous conduira à formuler de nouvelles restitutions du monument selon les différentes phases de construction identifiées. Ce travail, bien qu'argumenté, restera toujours une interprétation propre à notre état de connaissance. En effet, la restauration de Gavrinis et des tombes

1 Parmi les quatre sections de définition du Petit Robert 2003, seule celle qui apparaît la plus intéressante pour cerner l'objectif que nous cherchons à cerner est reportée ici.

à couloir néolithiques des années précédentes relèvent de la même intention. Les travaux qui ont été engagés sont le reflet de la connaissance de ces architectures par les auteurs aux moments de l'exécution. Les restitutions proposées à la fin de cet ouvrage proposent une valeur propre à notre état des connaissances actuelles, et il est possible que de nouveaux éléments remettront en cause dans plusieurs années ce qui est avancé ici. C'est ainsi que la connaissance progresse.

1.2.2. Adoption d'une posture d'architecte-archéologue

Cette thèse s'inscrit à la confluence de deux disciplines : l'architecture et l'archéologie. Elle renvoie par conséquent à un métier : l'architecte-archéologue. Avant d'aller plus loin dans la présentation du sujet, nous allons définir son périmètre de compétence. Pour cela, nous nous appuierons sur le master Architecture et Archéologie[1] de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg dont le contenu s'organise autour de huit points. Les intitulés sont repris tel quel, mais nous les catégoriserons pour mieux identifier les pôles de spécificités :

1. techniques de relevés et de représentation des vestiges architecturaux ;
2. infographie appliquée à l'archéologie ;
3. méthodes de l'archéologie : fouilles, stratigraphie, enregistrement ;
4. archéologie de la construction ;
5. techniques de construction ;
6. historiographie et méthodologie de la restitution ;
7. théories et pratiques de la restauration ;
8. valorisation du patrimoine archéologique et aménagement de sites.

Ces compétences s'organisent autour de trois pôles de spécificité : documentation de l'espace, l'analyse des structures, et la gestion des sites et des images produites. L'évolution des pratiques de ces dernières s'articule principalement autour des outils numériques qui se sont largement démocratisés au cours de ces dernières années.

En parcourant certaines parties de cette thèse, il pourrait apparaître que le périmètre de compétence est franchi pour aller sur des terrains propres à ceux de l'ingénieur. C'est notamment vrai pour les chapitres dont le contenu consiste à mettre en place des procédures pour l'enregistrement des architectures et des gravures. Cela a été rendu nécessaire par la recherche de solutions à des problèmes très spécifiques. La littérature scientifique est particulièrement lacunaire en ce qui concerne la description précise des procédés d'acquisition. Deux mondes cohabitent : celui des informaticiens et celui des archéologues. Le premier fabrique les outils qui seront utilisés par les seconds. L'hermétisme qui a été constatée est essentiellement le produit de vocabulaires très spécifiques. De plus, il est difficile de comprendre comment et quels algorithmes publiés sont intégrés dans les outils disponibles. Il a été jugé nécessaire de combler cette lacune et de l'intégrer dans le processus de réflexion. Les méthodes mises en place servent un objectif : l'argumentation des restitutions de l'architecture de Gavrinis. Dans le même esprit, toutes les précautions ont été prises pour que ce travail reste accessible.

1 strasbourg.archi.fr/master/architecture-archeologie (consulté le 26 mai 2015)

1.3. Présentation de Gavrinis

1.3.1. Description sommaire du monument

Gavrinis est un monument principalement reconnu pour son couloir et ses ornements. Le couloir, long de près de 16 mètres, est composé de 29 orthostates, dont 6 étaient considérés sans ornement[1] (Cf. figures 1 et 2). Le sol est dallé et 2 de ces 13 blocs sont gravés. Le plafond est formé de 10 éléments ; 2 d'entre eux sont gravés, mais l'une des compositions est placée sur la face orientée vers le ciel (P10) de manière à être invisible depuis le couloir, et l'autre est située sur la tranche et est difficile d'accès.

Ce couloir débouche sur une chambre funéraire qui se situe au centre d'une masse de pierres. L'ensemble est enseveli sous une structure tumulaire dont seule la façade a été fouillée. Il s'agit de parements globalement rectilignes s'étendant d'une quinzaine de mètres de part et d'autre de l'entrée. Ceux-ci se retournent de manière assez vive pour s'enfoncer dans la masse qui n'a pas été fouillée. Le reste du monument présente donc un volume fait d'éboulis dont le diamètre atteint une cinquantaine de mètres.

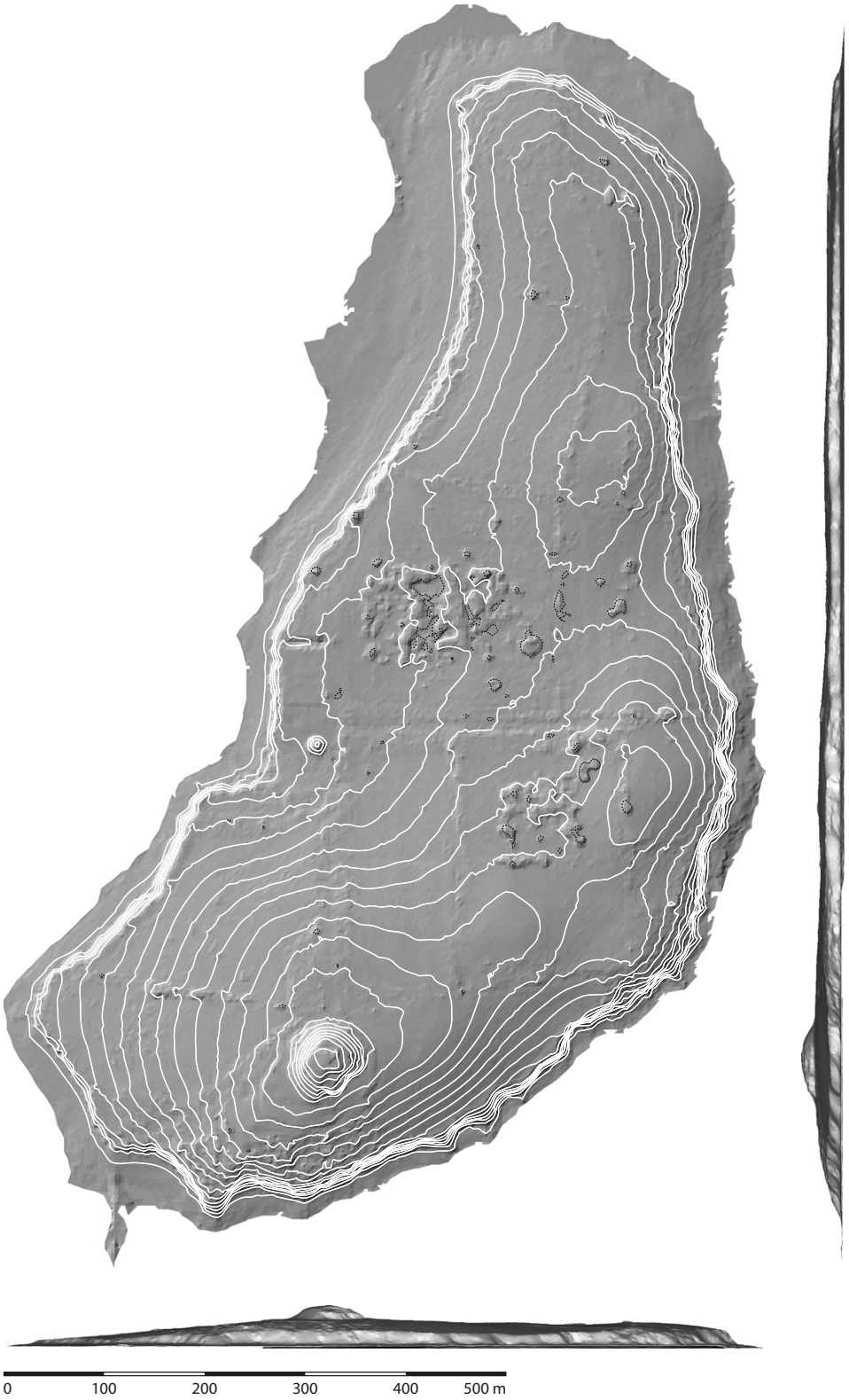


1. Vue sur la façade restaurée du cairn de Gavrinis



2. Panorama (360°) de l'entrée du couloir de Gavrinis

1 Lors du programme de recherche, des gravures quasiment imperceptibles ont été découvertes sur l'une de ces dalles (R7). Aujourd'hui, seulement 5 de ces orthostates sont reconnues comme vierges de tout ornement.



Résolution du maillage : 2 mètres
Equidistance des courbes de niveau : 1 mètre
Source : relevé LIDAR, Géosciences Marines et Géomorphologie du Littoral - UMR CNRS 6538)

3. Description de la topographie de l'île de Gavrinis et localisation du cairn

1.3.2. Un environnement qui a beaucoup évolué

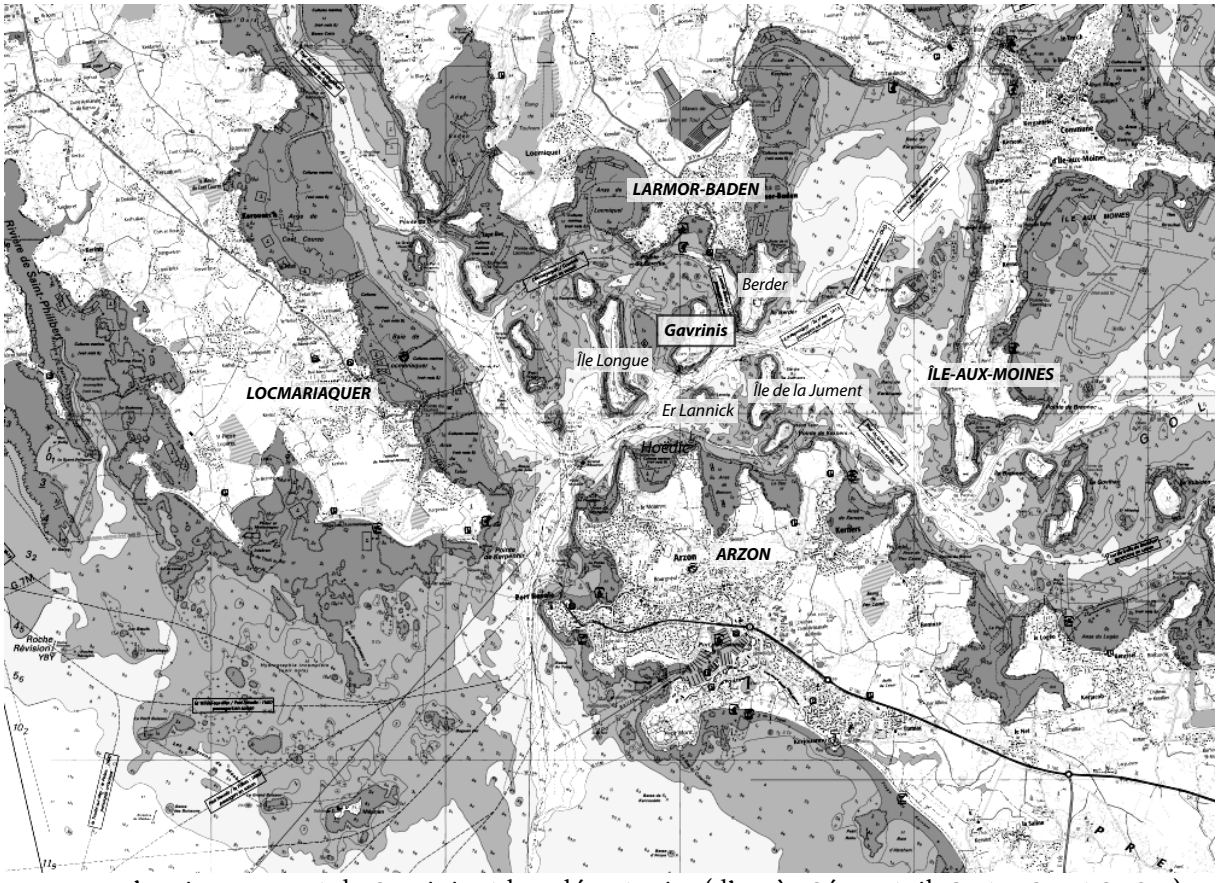
1.3.2.1. L'environnement contemporain de Gavrinis

L'île de Gavrinis est située à l'entrée de l'étendue d'eau aujourd'hui appelée « Golfe du Morbihan » (Cf. figure 4). Nous trouvons :

- à l'Est l'Île-aux-Moines ;
- au Sud-Est l'Île de la Jument ;
- au Sud l'Île d'Er Lannick et au-delà la commune d'Arzon ;
- au Sud-Ouest l'entrée du Golfe définie par la presqu'île de Rhuys (Arzon) et la pointe de Kerpenhir (Locmariaquer) ;
- à l'Ouest l'Île Longue et au-delà la commune de Locmariaquer ;
- au Nord la commune de Larmor-Baden à partir de laquelle nous embarquons pour Gavrinis ;
- au Nord-Est l'Île de Berder.

Le Golfe est un endroit particulier puisque malgré le fait que ce lieu est aujourd'hui perçu comme une mer intérieure au paysage fermé. Nul part la terre laisse l'eau et le ciel se côtoyer.

L'île est située sur la voie empruntée par les bateaux pour rejoindre depuis l'Océan le port de Vannes, en passant entre l'Île-aux-Moines et le continent. Il s'agit du tracé le plus direct, mais également celui qui présente le plus grand tirant-d'eau puisque la paléo-rivière de Vannes y avait déjà creusé son lit. Sous l'influence des marées, le golfe se vide et se remplit deux fois par jour. Cependant, à



4. L'environnement de Gavrinis et le paléoestuaire (d'après Géoportail, Carte IGN et SHOM)

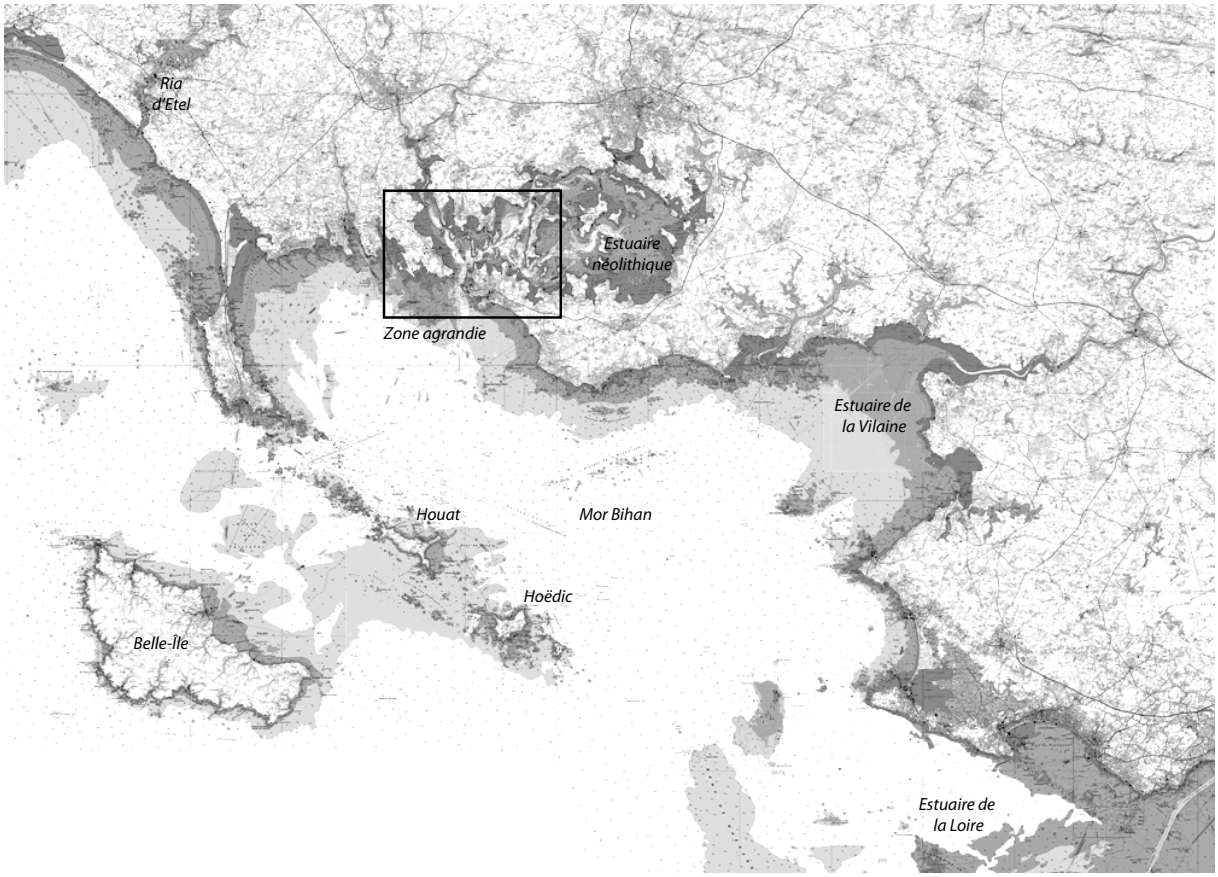
cause de l'étroitesse de l'entrée, le processus n'est pas terminé que la dynamique s'inverse déjà, ce qui provoque de puissants tourbillons jusque devant l'Île de Gavrinis. L'effet est d'autant plus renforcé que la plus grande étendue d'eau se situe derrière l'Île-aux-Moines qui barre littéralement le passage vers l'Océan. Les flots doivent se diviser en deux parties pour contourner l'île et s'échapper vers l'Océan. Les courants sont d'autant plus forts que des paléo-rivières ont creusé des chenaux dont le fond est situé à plus de 20 mètres quand les abords ne se situent guère au-delà de 6 mètres.

L'île de Gavrinis elle-même est assez petite : 700 mètres dans sa longueur Nord-Sud et 400 mètres dans sa plus grande largeur Est-Ouest. Elle est divisée en deux propriétés : l'une est privée et correspond à la plus grande partie de l'île ; seul le pourtour du cairn est la propriété du Conseil Général du Morbihan. Le profil général de l'île est ascendant en allant vers Sud, et le cairn de Gavrinis se situe exactement au sommet topographique (Cf. figure 3), dominant de cette manière l'entrée du Golfe. Le monument fait face à l'îlot d'Er Lannick.

Mais il s'agit là de l'environnement actuel. Au Néolithique, époque de la construction et de l'utilisation du cairn de Gavrinis, la situation était toute autre.

1.3.2.2. L'environnement néolithique de Gavrinis

Le cairn de Gavrinis a été construit dans un environnement très différent de celui que nous connaissons actuellement. En effet, le trait de côte était bien plus bas qu'il ne l'est aujourd'hui (Menier et al. 2009, p. 809). Malgré l'incertitude inhérente aux simulations, le niveau de la mer est situé vers -25 mètres (± 5m) vers -8 000 ans. La remontée des eaux est spectaculaire entre -8 000 et -5 700 : +16 mètres, ce



5. Localisation du paléoestuaire par rapport au *Mor Bihan*, la « petite mer » (d'après Géoportail, Carte IGN et SHOM)

qui établit le trait côtier à -9 mètres (sans préciser si la marge d'erreur de ± 5 mètres est toujours en vigueur). Néanmoins, il est estimé que « le niveau des hautes mers [vers -5 000, soit un millénaire avant la construction de Gavrinis] équivaut au niveau des basses mers actuelles ».

Ces variations modifient complètement le paysage puisque ce qui est aujourd'hui perçu comme le Golfe du Morbihan se transforme en un paysage d'estuaire. Les rivières d'Auray et de Vannes confluent dans le triangle formé par l'Île Longue, la pointe de Kerpenhir (Locmariaquer) et la pointe de Bilgroix (Arzon). La carte marine montre bien leur parcours sinueux entre les collines (Cf. figure 4). Ce paléoestuaire débouchait alors sur une mer intérieure enclose par la barre formée de la pointe de Conguel (Quiberon) et des plateaux solidaires de Beniguet, Houat et Hoëdic ; seul le passage de la Teignouse autorise une ouverture vers le large. Historiquement, il s'agit du Morbihan, du breton *Mor bihan*, la *petite mer* (Cassen et al. 2015).

Les simulations que nous pouvons aujourd'hui mener sur ce type d'environnement à partir de relevés LIDAR et bathymétriques pour retrouver l'aspect du paysage au Néolithique sont difficiles à conduire. En effet, les courants marins lessivent les sols et érodent les côtes alors que des processus de sédimentation dans les zones les moins soumises à la turbulence des eaux peuvent être très importants. De cette sorte, il est assez difficile de reproduire une microtopographie fine de ce territoire submergé.

Néanmoins, ce vaste territoire montre globalement peu de relief – hormis les îles encore visibles et les paléorivières évoquées précédemment. Si nous abaissons le niveau de la mer de 7 mètres par exemple, de vastes pans de terres émergent et le réseau hydrographique se dessine (Cf. figure 5). Il est probable que le niveau de la mer n'était que 5 mètres plus bas qu'aujourd'hui au moment de la construction du monument, ce qui suppose donc que les terres pouvaient être submergées lors des vives-eaux. Le paysage devait alors être composé de grandes étendues de slikke[1] et de prés salés. À cette période, la montée des eaux n'était probablement pas encore suffisante pour détacher l'île du continent.

En termes de couverture végétale, le paysage actuel est beaucoup plus fermé que celui qui devait exister au Néolithique. Si les essences végétales introduites au cours de ces derniers siècles sont retirées, il ne reste plus que la végétation basse et moyenne (Marguerie 1987). Le paysage devait alors ressembler à celui décrit par G. de Closmadeuc en 1876 :

> « Vers 1830, l'île était sans culture de temps immémorial, et à peine accessible, à cause des touffes de landes et de hautes fougères qui en couronnaient toute la superficie » (de Closmadeuc 1876, p. 2).

Cette description du paysage correspond à celui d'avant la réoccupation de l'île, et donc avant l'introduction de nouvelles essences végétales. Si le climat a pu changer entre le Néolithique et celui que nous connaissons, une végétation haute locale aurait eu du mal à se développer en raison de la faible puissance de terres humiques en général sur ce littoral, et les conditions météorologiques peu adéquates (forte exposition aux vents et salinité de l'air).

1 Les vasières de l'estran, régulièrement inondées

1.3.3. Présentation des différents auteurs ayant produit des documents sur Gavrinis

Des documents décrivant le monument de Gavrinis ont été produits par différents auteurs depuis 1825 – année de la première mention de Gavrinis comme architecture. Chacun, selon leurs convictions, les savoirs de leur époque ou leurs intérêts produira un ensemble de textes, d'images, et de descriptions géométriques éclairant le monument sous différents angles. L'objectif de ce chapitre est de présenter ces auteurs.

La documentation n'a pas été facile d'accès. Certains documents sont aisément accessibles car numérisés et disponibles sur internet ; d'autres sont référencés et archivés, d'autres encore ne sont pas référencés. Dans tous les cas, l'ensemble de la documentation est fragmentée et dispersée.

L'histoire récente du monument a été recomposée à partir des archives disponibles. L'objectif de ce chapitre est de présenter les différents auteurs afin de mettre en lumière le contexte dans lequel ils ont décrits Gavrinis.

1.3.3.1. L'abbé Mahé

L'abbé Mahé est né en 1760 dans une famille de pêcheur sur l'Île d'Arz. Orphelin de son père à l'âge de dix ans, sa mère le destine à une carrière ecclésiastique. Le recteur de l'Île d'Arz l'envoie étudier au collège de Vannes (1772) où il poursuit de brillantes études classiques. Il accède ainsi à la prêtrise en 1784. Quand la révolution éclate, il officie dans la paroisse Saint-Salomon à Vannes qui sera détruite pendant cette période de troubles. Il refuse de prêter serment à la Constitution civile du Clergé. Prêtre réfractaire, il vécut jusqu'au 9 février 1805 dans la clandestinité – date de son amnistie. Pendant cette période confuse, il aura malgré tout été précepteur des enfants de la famille Desgrées du Loû (1795 – 1801) chez qui il trouva refuge, et chanoine de la cathédrale de Vannes (en 1802). Cela lui permit de se consacrer entièrement à l'étude de la musique, du dessin, des mathématiques, de la littérature et de la philosophie. A la fin de cette période incertaine, il accède au statut d'aumônier du collège royal de Vannes et y occupe les postes de professeur suppléant, de conservateur à la bibliothèque de Vannes et d'antiquaire spécialiste des traditions populaires (1806-1815). C'est dans ce contexte qu'il rédigera et publiera en 1825 son œuvre majeure : *Essai sur les Antiquités du département du Morbihan* (Mahé 1825) dans lequel il évoquera Gavrinis. L'année suivante, en 1826, il sera l'un des créateurs de la Société Polymathique du Morbihan et en deviendra le premier président, jusqu'à sa mort en 1831 (Gourhan 2001).

C'est donc instruit de toute la littérature antique et classique et à travers ce prisme que l'abbé Mahé étudiera les architectures néolithiques.

1.3.3.2. Le docteur Cauzique et Prosper Mérimée

Après diverses transactions suite à la vente de l'île comme bien national en 1793, le sud de l'île appartient à partir de 1801 au docteur Cauzique, alors maire de Crac'h. Son objectif était de valoriser les terres pour un usage agricole. Il ne rédigera aucun texte, mais l'excavation du couloir sera rapportée par Prosper Mérimée (Le Roux 2006).

Prosper Mérimée est né en 1803 dans une famille parisienne d'artistes bourgeois. Ces parents lui inculquèrent un solide bagage culturel qui lui permit d'étudier au lycée Napoléon (le futur lycée Henri IV). Là, il fréquenta les fils de l'élite parisienne. Après des études de droit, il s'engagea dans une carrière d'écrivain avec des publications de nouvelles dès 1825. Il intégra alors les clubs littéraires, se créant ainsi un réseau qui lui sera utile par la suite.

En 1830 éclate la révolution qui mènera à la Monarchie de Juillet. Affirmant ses convictions libérales et bénéficiant de plusieurs protections, il entre dans la haute administration en tant que chef de cabinet du ministre du commerce, le comte d'Argout. Cela ne l'empêchera pas de poursuivre son activité littéraire.

En 1834, il sera nommé inspecteur général des Monuments historiques. Ce poste l'amènera à voyager à travers la France pour visiter les différents sites et il rédigera à cette occasion plusieurs notes de voyages, dont *Notes d'un voyage dans l'Ouest de la France* en 1836 (Mérimée 1836).

Lors de ce voyage, il s'attardera notamment à Carnac et Locmariaquer. Il visitera le site de Gavrinis dont le couloir est toujours en cours de déblaiement. Il restera en contact avec le propriétaire, M. Cauzique, qui lui fournira des précisions à la fin des travaux sur la configuration du couloir. De cette manière, bien que l'inventeur du couloir n'ait rien publié, les faits ont été entièrement relatés par Prosper Mérimée. Il s'éteindra en 1870 (Fonyi et al. 2003).

1.3.3.3. Le capitaine Lucas

Nous ne savons pour ainsi dire rien du capitaine du Génie en chef Lucas. Cependant, il est possible de déduire que sa fonction au sein de l'armée au milieu du XIXe siècle l'a amené à s'intéresser aux places stratégiques de la côte bretonne. La défense des intérêts économiques des ports de Vannes et de Lorient notamment, commerçants avec les comptoirs des Indes au XVIIIe siècle, a conduit à fortifier les îles en avant du continent (Cerino 2007). La prise de Belle-Île en 1761 (et restituée en 1763) en constitue le point d'orgue. L'ouverture de ces deux ports sur le sub-continent indien s'est maintenus jusqu'à l'ouverture du canal de Suez en 1869. Il faut noter que les incursions de la *Royal Navy* semblent être moins intenses au XIXe siècle, mais la voie maritime entre Nantes et Brest reste soumise à un stress et n'est pas sure. Le blocus permanent de Brest par la flotte anglaise – en plus de l'intérêt économique de désenclavement du centre de la Bretagne – amènera à décider la construction du canal de Nantes à Brest au début du XIXe siècle ; l'inauguration aura lieu en 1858.

Si le rôle du capitaine Lucas n'est pas clairement connu, nous pouvons imaginer que dans une logique de recensement des places fortes de la côte bretonne au milieu du XIXe siècle, il a été amené à s'intéresser à l'île de Gavrinis, stratégiquement placé à l'entrée du Golfe de Vannes, avec le cairn servant de promontoire. Le point de vue est idéal pour surveiller toutes les activités à l'entrée de l'estuaire. Le capitaine Lucas réalisa donc le relevé de l'entrée de la baie en 1852, et impressionné par les ornementations du couloir, il s'attarda aussi sur cette structure qu'il représente comme s'il s'agissait de fortifications. Cette fascination transparaît à travers les notes jointes aux dessins. Les documents ont été retrouvés au service historique de la défense (SHD) de Vincennes suite aux travaux menés par P. Jadé.

1.3.3.4. Sir Henry Dryden et William Collings Lukis (et sa famille)

W.C. Lukis (1817-1892) est né en 1817 sur l'île de Guernesey. Il étudia au *Trinity College* à Cambridge, puis travaillera à la société des antiquaires de Londres où il se liera d'amitié avec son collègue sir H. Dryden (1818-1899) – personnage assez énigmatique car il est être resté dans l'ombre de son collègue. La mission confiée à l'équipe semble avoir été d'étudier et de représenter les mégalithes en Grande-Bretagne et sur le continent afin d'établir des relations, ce qui explique leur présence dans la région de Carnac entre 1864 et 1872, et au Pays-Bas en 1874. Lors de leurs expéditions, ils établiront les relevés de nombreux monuments. W.C. Lukis ira parfois plus loin en fouillant certains sites (Bailloud et al. 1995, p. 27). Tous les documents ne sont pas publiés par leur soin malgré les deux portfolios *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, and the Peninsulas of Quiberon and Rhuys, Brittany*, et *On the class of rude stone monuments which are commonly called in England cromlechs, and in France dolmens, and are here shown to have been the sepulchral chambers of once-existing mounds. Prevailing errors on the subject refuted by a critical examination of the monuments referred to by the maintainers of these errors*, tous deux publiés en 1875. C'est le cas de Gavrinis qui ne sera pas publié, mais G. de Closmadeuc sera en possession des relevés de l'équipe anglaise et les publiera en 1886 (de Closmadeuc 1886).

Il faut aussi attirer l'attention sur le fait que W.C. Lukis n'est pas le premier de sa famille à sillonner la région. J.W. Lukis, son père, est le premier à visiter Gavrinis, et ce dès 1844. Ses deux fils, F.C. Lukis et W.C. Lukis visiteront le site dix ans plus tard, en 1854. Ce dernier reviendra plus tard comme expliqué précédemment avec sir H. Dryden et ils visiteront Gavrinis tous les ans entre 1864 et 1869. Pour P. de Jersey, du *Guernesey Museum*, toutes les représentations non datées sont réalisées entre 1844 et 1854.

1.3.3.5. Gustave Thomas de Closmadeuc

G. de Closmadeuc est né en 1828 à la Roche-Bernard dans une famille de médecin. Par un jeu de mariage, il se trouve être le neveu du docteur Cauzique, l'inventeur du couloir de Gavrinis. Il est connu pour avoir été un chirurgien réputé (il a été chirurgien en chef de l'hôpital civil et militaire de Vannes pendant vingt-trois ans) ; homme politique (il a été élu trois fois conseiller municipal de Vannes) ; et archéologue, l'activité qui nous intéresse ici.

Il adhère à la Société Polymathique du Morbihan en 1858 et ne la quittera qu'à son décès, en 1918. Il en sera aussi huit fois président (Collinot 2000).

Il rédigera un premier texte en 1876 sur *L'Île de Gavr'inis et son monument* (de Closmadeuc 1876) afin de présenter l'état des connaissances sur ce monument. Il y décrit notamment l'environnement de l'île de Gavrinis, le cairn, le couloir et le légendaire qui entoure le monument.

A la fin du XIXe siècle, le monument semble menacé par une surfréquentation touristique et une absence de législation adéquate (Bailloud et al. 1995, p. 34). Le cairn de Gavrinis sera protégé grâce à l'acquisition du terrain par G. de Closmadeuc. C'est donc avec le titre de propriétaire du monument que l'archéologue mènera trois campagnes de fouilles entre 1884 et 1886 dans le couloir et sur le cairn via une exploration en tranchée (de Closmadeuc 1884; de Closmadeuc 1885; de Closmadeuc 1886). L'objectif de ces travaux consiste à vérifier deux points : la présence ou non d'un couloir parallèle à celui

existant dans la masse du cairn ; et l'existence ou non d'un étage inférieur au couloir que laisseraient suggérer les dalles de sol. Ces différentes publications dans le bulletin de la Société Polymathique du Morbihan rendent compte des activités et des observations réalisées sur le monument.

1.3.3.6. Zacharie Le Rouzic

Z. Le Rouzic naît en 1864 à Carnac dans une famille nombreuse et pauvre. Il n'ira plus à l'école après ses dix ans, mais fréquente l'archéologue écossais J. Miln qui en fait son principal collaborateur jusqu'à la mort de ce dernier en 1881. Le frère de J. Miln, Robert, créera le musée municipal de Carnac et Z. Le Rouzic deviendra le gardien, puis le conservateur en 1910. Il ne cessera alors de fouiller, d'étudier, d'inventorier, de classer et de restaurer les monuments mégalithiques de la région de Carnac.

Il interviendra à Gavrinis à la fin des années 1920 en engageant les premiers travaux de restauration. A notre connaissance, aucun témoignage direct ne nous est parvenu. Il semblerait donc que ces travaux ce soient limités à la mise en place d'une porte fermant à clef afin de contrôler les flux à l'intérieur du couloir. Le seul article qu'il aurait rédigé au sujet de Gavrinis date de 1935 (Le Rouzic 1935) et porte sur l'identification de nouvelles gravures au sol (S9) et sur une dalle de couverture (P2) (Cf. figure 128).

L'accès à certaines archives personnelles de Z. Le Rouzic a permis de prendre connaissance de quelques dessins inédits du monument (plans et coupes). De plus, la photographie est un médium que Z. Le Rouzic affectionnait particulièrement et qu'il a largement utilisé afin de documenter de très nombreux sites. Plusieurs clichés ont pu être récupérés ; cette source d'information est très importante car elle permet de visualiser le monument avant les campagnes de fouilles menées par C.-T. Le Roux (Cf. figures 84.5 à 84.9).

1.3.3.7. Elizabeth Shee-Twohig

E. Shee-Twohig a étudié à l'université de Cork et a obtenu un master après un travail sur les ornements des tombes à couloir irlandaises situées en dehors de la vallée de la Boyne. La qualité de ce travail lui a permis de décrocher une bourse spécifique, *the National University of Ireland Travelling Studentship in Archaeology*. Entre 1968 et 1971, elle a pu effectuer ce travail d'enregistrement à l'échelle de la façade atlantique européenne. Cela a nourri sa thèse de doctorat soutenue en 1973 et la publication d'un livre en 1981 (Shee-Twohig 1981). C'est dans ce contexte que les gravures de Gavrinis ont été relevées.

1.3.3.8. Charles-Tanguy Le Roux et René Lisch

C.-T. Le Roux est né en 1941. Il était conservateur général du patrimoine au service régional d'archéologie (SRA) de Bretagne quand les travaux de fouilles sur Gavrinis ont débuté.

A la fin des années 1970 et au début des années 1980, une politique ambitieuse est menée afin de mieux connaître les grandes tombes à couloir de la région de Carnac et ainsi renouveler les discours proposés aux touristes toujours de plus en plus nombreux à fréquenter ces sites. C'est ainsi que les grands monuments comme la Table des Marchands – Er Grah – le Grand Menhir brisé à Locmariaquer, Petit Mont à Arzon et Gavrinis à Larmor-Baden sont fouillés pendant cette période.

Le site de Gavrinis revient à C.-T. Le Roux. La mission s'étendant de 1979 à 1984 est appelée « opération de sauvetage programmée ». Bien que l'expression puisse paraître être un oxymore, ce serait le reflet du montage financier permettant de réunir le budget nécessaire pour mener à bien à la fois la fouille et la restauration du monument. Il a travaillé de concert avec l'architecte en chef des Monuments historiques R. Lisch car les travaux de fouilles et de restaurations étaient menés en même temps.

Les fouilles du monument ont été ponctuées par plusieurs publications scientifiques afin de rendre compte des découvertes réalisées (Le Roux 1981 ; Le Roux 1982 ; Le Roux 1983 ; Le Roux 1984 ; Le Roux 1985). Toute la documentation produite lors de ces chantiers a été archivée à la DRAC Bretagne. Notre attention s'est portée sur trois types de documents :

- les rapports de fouilles faisant la synthèse des activités de chacune des années (Le Roux rapport 1979 ; Le Roux rapport 1980 ; Le Roux rapport 1981 ; Le Roux rapport 1982 ; Le Roux rapport 1983 ; Le Roux rapport 1984) ;
- les plans, coupes et élévations mis au propre par l'équipe de C.-T. Le Roux – les informations contenues dans les innombrables notes de terrain sont censées être reportées dans les documents mis au propre ;
- et l'ensemble des photographies prises pendant la campagne de fouilles.

On peut dire que C.-T. Le Roux est l'auteur ayant le plus documenté ces travaux et ces observations. Mais ce sont aussi les opérations les plus importantes jamais portées sur l'architecture du cairn.

1.4. Les enjeux de cette recherche

L'ambition première de cette thèse consiste à développer le volet architectural du programme « à la recherche des représentations d'une tombe à couloir du IVe millénaire ». Pourtant, deux axes se dégagent distinctement. L'objectif principal consiste à produire les restitutions des différentes phases de construction du cairn de Gavrinis. Mais pour y parvenir, des protocoles spécifiques devaient être mis en place.

1.4.1. Les thèmes connexes à ce travail et qui ne seront pas traités

1.4.1.1. Les questions archéologiques non résolues

Le travail se bornera de l'étude du fond archivistique constitué jusqu'aux propositions de restitution. Les questions de restauration ne seront pas abordées, bien que cela fasse partie du domaine de compétence de l'architecte-archéologue. Une étude en cours du Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques indique que la pérennité des vestiges archéologiques n'est plus assurée par la restauration réalisée entre 1979 et 1984 (Cassen et al. rapport 2013, p. 111). De l'eau s'écoule le long des parois après s'être notamment chargée des sels minéraux que le béton utilisé lors de la restauration dégorge. En somme, l'intégrité du couloir est compromise par des altérations biologiques, cristallines, chromatiques et thermiques. Le travail de restauration du monument devra prendre en compte les préconisations de cette étude et développer des dispositifs architecturaux afin de résoudre ce problème.

1.4.1.2. Les questions techniques non abordées

Une autre thématique – les *Heritage Buildings Information Modelling* – située exactement dans le prolongement du travail qui a été effectué consiste à construire un outil de visualisation des hypothèses de manière à faciliter leur validation. Le principe est d'intégrer dans la même interface la documentation relative à l'objet étudié. De cette manière, le croisement de ces données devient beaucoup plus aisé. Plusieurs équipes travaillent sur cela ; nous pouvons citer par exemple :

- les travaux de l'UMR MAP[1] qui visent la mise en place d'outils permettant d'analyser les archives, de formuler les hypothèses, et de représenter les différentes phases de construction des architectures.
- le projet MayaArch3D[2] dirigé par J. von Schwerin (Institut allemand d'archéologie – DAI) et H. Richards-Rissetto (université de Nebraska-Lincoln) ; l'objectif est de conduire l'étude du site archéologique de Copan (Honduras) classé au patrimoine mondial de l'UNESCO et l'ancien empire Maya et de construire un outil permettant le travail collaboratif d'une équipe pluridisciplinaire.

Mais derrière cet outil de visualisation se cachent de nombreuses questions qu'il n'a pas été possible de résoudre seul dans le temps imparti du travail de doctorat. Cela concerne la mise en place de solutions techniques comme la construction et la gestion de bases de données associées à une interface de visualisation, mais aussi des aspects plus théoriques comme la modélisation temporelle ou encore la distinction entre les différents degrés de certitude des hypothèses (Favre-Brun 2013).

Plutôt qu'un projet complet de validation du projet de restitution, seule une interface a été développée de manière à faciliter l'étude du corpus. Elle est décrite dans le chapitre [2.3.]. Cependant, cela n'interfère pas le processus de validation comme cela sera expliqué dans le chapitre [2.2.4.].

1.4.2. Les thématiques traitées

Dans ce périmètre restreint du domaine d'intervention de l'architecte-archéologue, deux axes principaux se dégagent comme nous l'avons déjà évoqué : des questions archéologiques et techniques seront à résoudre. Elles représentent des enjeux assez importants comme nous allons le détailler maintenant.

1.4.2.1. Les questions archéologiques à résoudre

Trois sépultures collectives ont été fouillées au cours des décennies 1980 et 1990. Comme nous l'avons évoqué, la littérature n'est pas abondante en regard de la quantité d'information qui ont pu être extraites. Cela pose un problème fondamental puisque l'histoire de ces sites reste en grande partie floue – excepté pour la Table des Marchands. Le premier apport direct de ce travail sera l'historiographie du site de Gavrinis et une connaissance beaucoup plus précise de son état de conservation. Avant que ce travail n'ait été effectué, il existait de nombreuses zones d'ombre au sujet des structures encore en place et celles remaniées.

1 Unité Mixte de Recherche, Modèles et simulations pour l'Architecture et le Patrimoine ; Cf. map.archi.fr (consulté le 8 juin 2015).

2 Cf. mayaarch3d.org (consulté le 8 juin 2015).

La constitution de l'historiographie du monument nous amènera à reconsidérer la restauration du cairn. Bien que des critiques aient déjà été émises à ce sujet, la déconstruction du modèle largement adopté dans l'Ouest de la France et qui ne trouve pas d'équivalent à l'échelle européenne nous amènera à interroger la composition architecturale de cette typologie de sépulture collective. Au terme de cette première partie, des restitutions seront proposées pour les phases de construction identifiées. Cela pourrait conduire à reconsidérer les futurs projets de restauration de ces monuments.

Ce sont les deux thèmes archéologiques principaux traités dans cette thèse. Mais pour y parvenir, il convient de mettre en place des procédés pour explorer cette architecture avec les outils d'aujourd'hui.

1.4.2.2. Les questions techniques à résoudre

Les techniques actuelles d'acquisition numérique permettent d'enregistrer les objets d'étude à des résolutions multiples tout en conservant une grande cohérence entre les échelles d'intervention. Mais elles interrogent aussi sur les objectifs que doivent atteindre les procédures d'acquisition et de relevé. La relation entre acquisition numérique et relevé architectural devra être réinterrogée car le caractère documentaire du modèle tridimensionnel dans la littérature scientifique semble se diluer dans la masse des images produites.

En France, pour se résumer à cette zone géographique, ces techniques sont davantage appliquées aux sites historiques et paléolithiques. Leur application sur les architectures funéraires néolithiques reste relativement rares. Cependant, l'intérêt est très grand car contrairement à l'art paléolithique retrouvé dans des abris sous roche ou des cavernes, les sépultures néolithiques sont des espaces construits et le fruit d'une conception, d'une pensée. Les représentations tridimensionnelles permettent en l'occurrence de décomposer les structures pour les analyser d'un point de vue architectural. C'est d'autant plus important que les surfaces inconnues ne peuvent pas facilement être prédictibles. Pour les architectures des objets historiques, une portion de mur identifié peut raisonnablement être prolongée de manière rectiligne jusqu'à une intersection orthogonale, et son élévation est – sauf mention contraire – verticale. Il est possible, même à partir d'une fraction du fût d'une colonne, de déterminer le diamètre, sa position initiale, et par comparaison avec les autres éléments la hauteur de l'ensemble. Pour les stèles ou les orthostates d'un dolmen, ce travail est strictement impossible en raison du caractère organique des matériaux de construction.

La dernière décennie a vu l'émergence de plusieurs outils d'acquisition (lasergrammétrie, lumière structurée…). Cependant, leur application restait limitée à des cas exceptionnels en raison de contraintes économiques principalement. Le matériel impliquait un investissement considérable en inadéquation avec les budgets disponibles. En même temps que ce travail de thèse a débuté, une technique alternative s'est largement démocratisée (photogrammétrie). Seuls des appareils photographiques sont nécessaires pour acquérir un objet, quelle que soit son échelle. En revanche, un protocole devait être mis en place pendant l'acquisition et le traitement des données pour que les résultats soient pleinement exploitables. Le travail ici ne rend peut-être pas entièrement compte de toutes les étapes qui ont été nécessaires pour affiner le protocole, de crainte de transformer cet ouvrage en un tutoriel rébarbatif à lire. Néanmoins, les clés essentielles sont décrites et compréhensibles à celui qui est familier des logiciels de modélisation pour l'enregistrement à l'échelle de l'architecture.

Enfin, des solutions précises devaient être apportées à la documentation de l’art pariétal en relief. Il existe en effet de nombreuses pratiques, chacune pouvant produire un résultat différent. L’objectif consiste donc à normaliser les méthodes d’enregistrement et à rendre les résultats autant que possible reproductibles.

Chapitre 2. Méthodologies

2.1. Considérations générales

Comme nous l'avons identifié dans le premier chapitre, les moyens pour apporter des réponses aux questions posées doivent mobiliser plusieurs disciplines. L'axe principal concerne des thématiques archéologiques et architecturales, mais des protocoles issus de l'ingénierie doivent être mis en place afin de construire l'argumentation. Il a été jugé indispensable d'intégrer ces deux aspects de la recherche. Comme dans de nombreux travaux actuels, la recherche est conduite à partir de modèles tridimensionnels. Ceux-ci nécessitent pour leur construction et leur exploitation des compétences avancées qui ne figurent généralement pas dans les cursus de formation initiale en archéologie. Par conséquent, il s'agit d'un obstacle non négligeable pour de nombreuses équipes d'archéologues pour l'utilisation des outils numériques.

Il a été constaté que la littérature scientifique concernant les thématiques traitées ici sont séparées en deux univers quasiment étanches l'un à l'autre. L'un reflète celui des informaticiens mettant en place les algorithmes permettant de construire les logiciels ; l'autre concerne les utilisateurs – archéologues principalement – qui les mettent en œuvre. Est-ce le reflet d'une difficulté à mettre en œuvre les protocoles ? De procédés jalousement gardés ? Ou plus simplement d'une difficulté à présenter à la fois l'objet d'étude, les moyens d'investigations et les résultats dans l'espace restreint de la publication scientifique ?

La démarche que nous avons adoptée consiste également à ne pas rédiger de tutoriels pas à pas comme il est possible d'en trouver sur internet. En revanche, le principe général est présenté, ce qui permet d'éviter une obsolescence prématurée du contenu. En terme d'outils, les premiers mobilisés étaient des logiciels propriétaires et fermés, ce qui ne garantit pas une réplicabilité des méthodes de travail. Peu à peu, les solutions gratuites et open sources ce sont substituées sur presque tous les traitements. C'est ainsi que Cloud Compare[1], Meshlab[2], Blender[3] et Krita[4] sont venus en complément ou ont remplacé Geomagic Studio[5], Autodesk 3DS Max[6] et Adobe Photoshop[7].

1 danielgm.net/cc/ (consulté le 29 mai 2015)
2 meshlab.sourceforge.net/ (consulté le 29 mai 2015)
3 blender.org/ (consulté le 29 mai 2015)
4 krita.org/ (consulté le 29 mai 2015)
5 geomagic.com/ (consulté le 29 mai 2015)
6 autodesk.fr/products/3ds-max/overview (consulté le 29 mai 2015)
7 adobe.com/fr/products/photoshop.html (consulté le 29 mai 2015)

Plusieurs modes d'investigations ont été mis en place arriver à la formulation des hypothèses de restitution de Gavrinis. Mais avant de les détailler, nous détermineront les procédures de travail qu'un architecte-archéologue peut adopter pour s'emparer de son objet d'étude.

2.2. Méthode de travail d'un architecte-archéologue

2.2.1. Méthodologie de recherche en architecture

La recherche scientifique en architecture n'est pas un développement inné. La formation préparant au métier de l'architecte est avant tout axée sur la conception du projet et sa réalisation. La mise en place du système Licence – Master – Doctorat dans les écoles d'architectures françaises notamment a introduit un débat sur la place de la recherche en architecture (Lengereau 2005). Cette discussion était nécessaire car :

> *« ce n'est un secret pour personne : l'hypothèse d'un doctorat en architecture n'est pas de nature consensuelle et suscite même la tension persistante de convictions qui s'opposent. […] Parmi les multiples acteurs de l'enseignement de l'architecture, s'impose malheureusement la fracture déjà ancienne qui éloigne d'un côté les architecte praticiens qui forment les étudiants au projet – projet d'architecture, projet urbain ou projet de paysage – et, de l'autre côté, les compétences scientifiques – compétences dont certaines sont celles d'architectes – qui incarnent les relations incontournables entre enseignement et recherche » (p. 8).*

Ces discussions arrivent pourtant après une politique volontariste menée au sein de plusieurs laboratoires de recherche hébergés dans les écoles d'architecture au cours des années 1990. Cela s'explique par une reconnaissance de l'intérêt de ces travaux par le CNRS et l'institutionnalisation de partenariat. Au CERMA par exemple, les premiers doctorants sont accueillis dès 1992. Sans vouloir retracer l'ensemble de ces discussions, il apparaît que « le maillage interdisciplinaire de la recherche doctorale en architecture est l'avenir même de la recherche scientifique dans les écoles d'architecture. » (p. 9). Il apparaît donc que la recherche en architecture s'appuie presque nécessairement à une autre discipline, et cela transparaît également dans les enseignements de la formation initiale puisque nous y retrouvons – au-delà du projet d'architecture – des disciplines principalement liées :

- aux sciences de l'Homme (psychologie, anthropologie, sociologie, histoire de l'art et de l'architecture, etc.) ;
- aux sciences de l'ingénieur (comportements des structures, résistance des matériaux, études des phénomènes acoustiques, thermiques, lumineux, etc.) ;
- à la représentation de l'espace (approches techniques et artistiques).

Par conséquent, il n'y a pas à proprement parler d'une méthodologie spécifique à la recherche en architecture. Ces questions se sont posées au sein des laboratoires ; les réponses apportées se situent du côté de l'interdisciplinarité. Dans les mêmes locaux, architectes et informaticiens ont travaillé

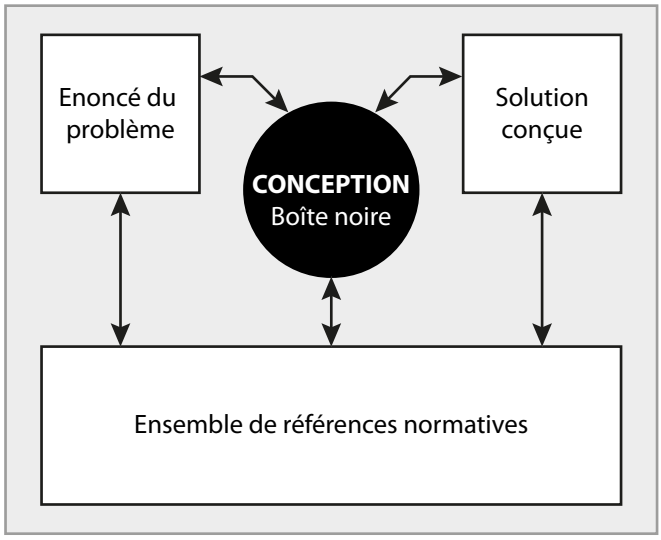
ensemble au sein du CERMA (Nantes) ou du GAMSAU, architectes et sociologues au sein du LAUA (Nantes) ou du CRESSON (Grenoble). Mais il est en même temps souligné que ce travail de recherche ne doit pas oublier le cœur de métier de l'architecte : la conception architecturale.

Il s'avère que ce travail est très spécifique puisqu'il ne peut pas être résumé à une « formulation du problème » et à une « formulation de solution », ces deux pôles se répondant parfaitement (Prost 1992, p.55). Si nous considérons :

> *« les processus de formulation de solution, nous arrivons à une étape considérée comme le ''cœur'' du problème de la conception, non pas en raison d'arguments théoriques, mais bien plutôt parce que ce moment du processus a été identifié comme lieu de la création et espace du concepteur/créateur ».*

La raison vient du fait que le premier registre (problématique et programmatique) se transforme vers un langage architectural et formel, et que ce passage d'un état à un autre est largement obscur car un troisième pôle vient alimenter le processus de conception : l'ensemble de références normatives (Cf. figure 6). Ce dernier ensemble est :

> *« composite, hybride, et se présente davantage comme les pièces d'un gigantesque puzzle dont on aurait perdu l'image qui résulteraient de leurs associations, plutôt que comme les composantes d'un système dont on connaîtrait parfaitement la nature des composantes et les relations entre chacune d'elles » (p. 57).*



D'après (Prost 1992, p. 57)

6. Modélisation du processus de recherche d'une solution en architecture

Contrairement à un contexte « industriel », la méthodologie mise en œuvre présentée ici ne peut pas être linéaire, par déduction entre un point d'arrivée et une ligne de départ. Et de fait cette méthodologie de travail, spécifique à l'architecte, s'accommode mal à une démarche de recherche scientifique contrôlable et réplicable.

C'est peut-être ce qui explique pourquoi les travaux de recherche en architecture peuvent difficilement être menés en autonomie par rapport à d'autres disciplines. Elle s'adosse essentiellement à une autre science, adopte ses règles et vient éventuellement la compléter par touches successives.

Est-ce pour autant que les spécificités d'un architecte se fondent complètement dans la discipline associée ? Non, puisque l'objet étudié ne le sera pas sous le même angle en raison de la culture propre à la lecture des espaces, leurs représentations, ainsi que les méthodes spécifiques de conception architecturale.

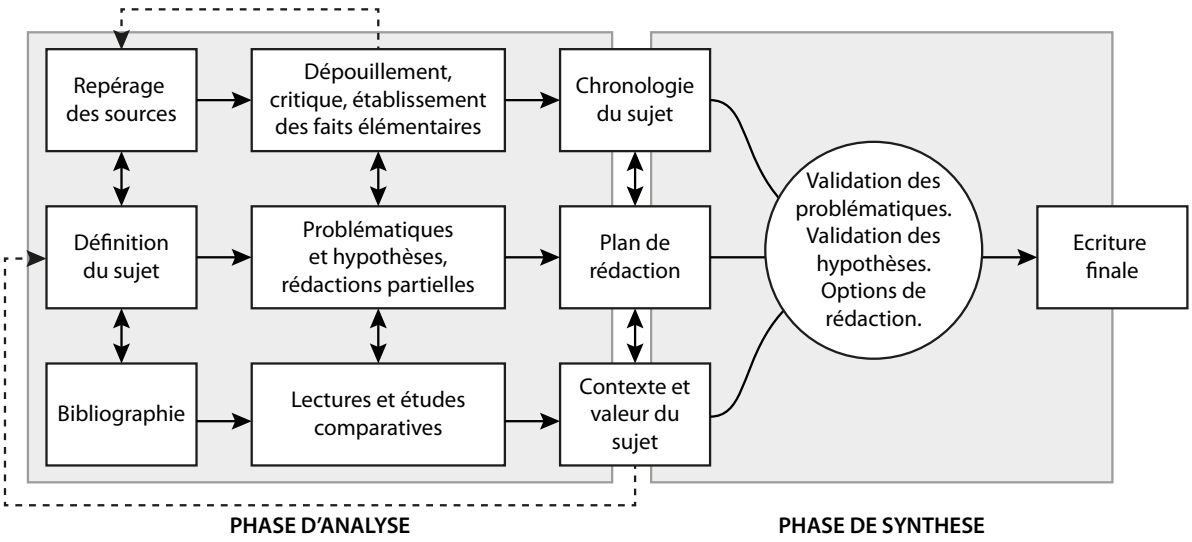
Dans notre cas, l'archéologie servira de cadre principal, et c'est dans celui-ci que les spécificités d'un architecte pourront se développer.

2.2.2. Méthodologie de recherche en archéologie

La démarche de travail d'un archéologue se décompose principalement en deux phases : la première consiste à accumuler des informations à travers une collecte sur le terrain (fouilles, relevés, etc.) et dans les archives ; la seconde correspond à la synthèse de ces informations pour produire un nouveau discours, augmenter la connaissance de l'objet de l'étude et partager ces résultats avec la communauté. Entre ces deux étapes, une problématisation est réalisée de manière à orienter la rédaction (Cf. figure 7).

Les travaux en archéologie nécessitent de manipuler de nombreuses données d'origines diverses. Une part plus ou moins importante de ces documents est créée par l'archéologue lui-même pendant et à l'issue des chantiers de fouilles. Les procédures d'acquisition et de documentation sont donc au cœur des savoir-faire puisque c'est le préalable indispensable qui permet d'extraire les informations et de nourrir l'étude. En effet, la manière d'enregistrer les données conditionne très fortement les résultats et la pertinence des conclusions. À la faveur des progrès réalisés dans les outils d'acquisition, le réenregistrement des structures peut fournir de nouvelles informations. Ces données peuvent être de natures extrêmement diverses, et l'archéologue seul ne peut pas maîtriser toutes les techniques permettant de relever les indices – c'est pourquoi il s'entoure des spécialistes des domaines concernés.

L'autre source d'information provient des archives et concerne les travaux déjà réalisés sur l'objet de l'étude. Celui-ci a pu avoir été exploré par d'autres personnes, depuis sa découverte, et il est nécessaire



D'après (Laroche 2007, p. 26)

7. Modélisation du processus de recherche en archéologie

de nourrir la réflexion en cours avec les observations passées. Cela permet entre autre de qualifier les vestiges actuels et de connaître leur degré d'authenticité – entre la structure intacte, restaurée, détruite…

À la suite de cette phase d'accumulation des informations, des liens doivent être créés entre les données afin de produire du sens. Vient donc la phase de la problématisation qui consiste à orienter la recherche. De cette manière, les données sont ordonnées et mettent idéalement au jour un aspect de l'objet d'étude qui n'était pas connu auparavant.

2.2.3. Méthodologie de recherche en architecture-archéologie

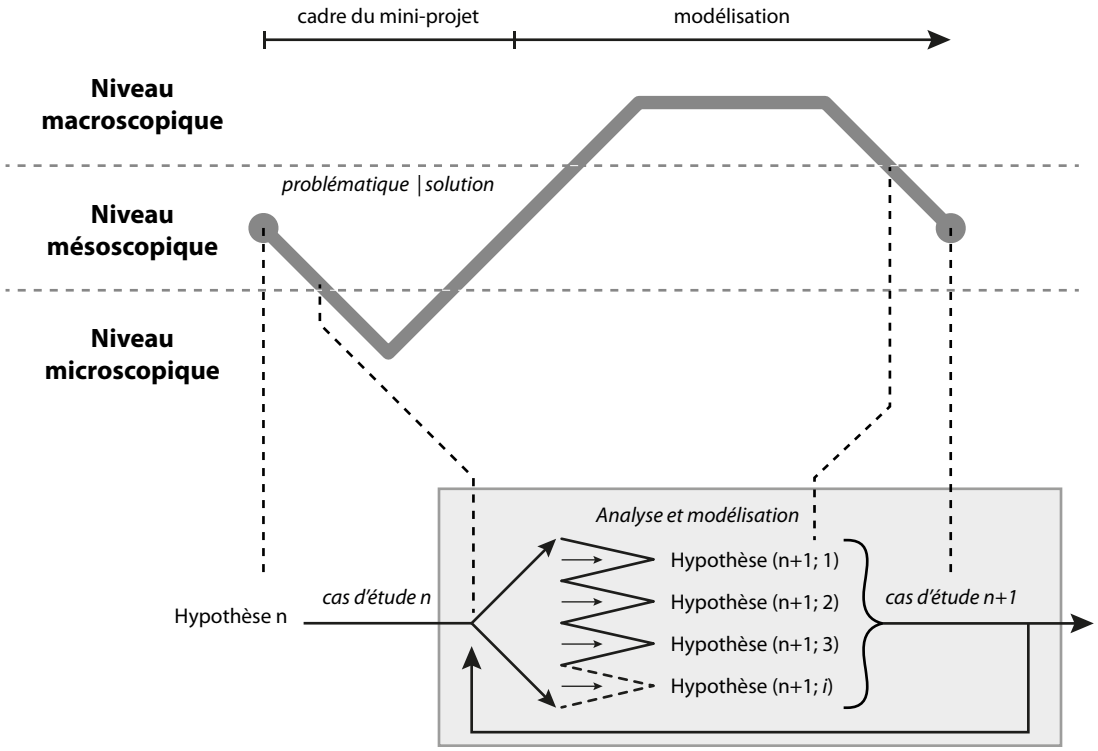
Les méthodes génériques de travail et d'investigation propres aux architectes et aux archéologues viennent d'être exposées. Si celle des premiers s'adapte mal *in extenso* au monde de la recherche académique, celle des seconds permet difficilement de formuler des hypothèses de restitution architecturale. La réussite de cet exercice ne tient pas seulement de la combinaison des méthodes des archéologues et des compétences des architectes. En effet, la formulation des restitutions – et plus encore le projet de restauration – d'un site archéologique peut raisonnablement être assimilé à une conception architecturale. Néanmoins, des différences notables doivent cependant être mises en avant entre les exercices de restitution de sites archéologiques et ceux répondants à une commande.

Dans un premier temps, il convient de souligner que le système d'acteurs est différent, et que cela influe fortement le processus de conception. Dans un cas, il faut répondre à la demande d'un client et saisir toute la subjectivité de son besoin ; dans l'autre, il convient de retrouver la cohérence d'un site à travers les différentes phases de son histoire. Par conséquent, le premier objectif vise à satisfaire un besoin et cela répond principalement à des critères subjectifs par la mise en place de discours et dispositifs implicites. En revanche, la restitution d'une architecture a un processus de validation stricte que nous ne retrouvons pas dans la pratique d'un projet d'architecture. Cette homologation de la proposition consiste à vérifier que le projet formulé soit en cohérence de manière effective avec l'ensemble du corpus d'étude disponible. Répondant avant tout à des critères scientifiques, le résultat ne doit pas porter la marque de notre temps. Ce critère est particulièrement difficile à tenir car la formulation de l'hypothèse est nécessairement la projection de notre perception sur un état passé. Le travail d'argumentation a pour objectif de tendre à minimiser cette « inventivité ». Dans la même logique, un ensemble de chartes émises par des structures internationales comme ICOMOS existe de manière à uniformiser les approches au niveau international ; la plus célèbre d'entre-elles étant certainement la charte de Venise (Gazzola et al. 1964). Plus généralement, cela se traduit notamment par la mise en place de stratégie de vérification par la communauté scientifique apte à juger et critiquer, la distinction entre les parties existantes et vérifiées, et ce qui est de l'ordre de l'hypothèse.

La nécessité de rendre transparent le processus de conception modifie en profondeur la méthode de travail. Chaque choix doit pouvoir être décrit précisément, et la fameuse « boîte noire » de la conception architecturale ne trouve plus sa place. La méthode de travail s'approche donc de celle mise en place par F. Laroche (Laroche 2007, p.27). Trois niveaux sont identifiés : un cadre mésoscopique correspondant à l'échelle du projet est bordé par une échelle microscopique (ce projet segmenté

en problèmes plus facile à résoudre individuellement) et une échelle macroscopique (ensemble des arguments issus d'études antérieures permettant de construire la restitution). La méthode nécessite de traverser successivement ces échelles macro- et micro- pour cerner l'objet d'étude. De cette manière, nous obtenons ce qui a été nommé « méthode en racine carrée » (Cf. figure 8).

La résolution d'un problème à l'échelle du projet de restitutions de Gavrinis (niveau mésoscopique) nécessite le découpage en plusieurs secteurs ou thématiques, plus faciles à étudier une fois isolés (niveau microscopique). Les incertitudes peuvent être compensées par comparaison avec des données similaires (niveau macroscopique). Au fur et à mesure de l'avancement de l'étude, par rétroactivité, les solutions s'affinent. Chacune de ces étapes produit une nouvelle hypothèse dont la cohérence doit être de nouveau vérifiée. Cet effort de modélisation permet de produire une ou plusieurs solutions qui pourront par la suite apporter des réponses sur des cas d'études similaires.



D'après (Laroche 2007, p. 26)

8. Modélisation du processus de recherche à l'aide de modèles tridimensionnels

2.2.4. Procédure de validation des résultats

Les systèmes de visualisation s'inscrivant dans la philosophie des *Heritage Building Information Modelling* peuvent servir de manière efficace la validation des hypothèses de restitution. En effet, la combinaison des archives, des modèles 3D représentant les différentes phases de l'histoire du monument, et les hypothèses qui ont été produites permettent mieux que jamais de déconstruire les arguments de la restitution et comprendre les choix effectués. Cependant, ces outils bien que prometteurs peuvent être encore difficiles à mettre en œuvre. L'évolution rapide des technologies de l'information et de la communication permettent de les déployer plus facilement dans un avenir relativement proche. Ces interfaces deviendraient alors de puissants outils pour valider les travaux concernant le patrimoine. Néanmoins, la validation du projet de restitution par les experts du domaine ne devrait pas être écartée par la mise en place de ce type de document.

En raison des problématiques à résoudre et le temps nécessaire d'une part à la conduite de la résolution des problèmes archéologiques et d'autres part à la mise en place de solutions techniques, il n'a pas été possible de mettre en place l'outil décrit précédemment. Le seul processus de validation des résultats envisagé ici est donc la procédure classique en archéologie : la publication des résultats et le regard critique extérieur des experts dans le domaine concerné. La méthode et les résultats présentés ci-après ont pour objectif de présenter en détail chacun des arguments de la restitution.

La publication des ouvrages comme *Éléments d'architectures* et *Autour de la Table* avaient également ce rôle.

2.2.5. Conclusion

Trois méthodes ont été présentées afin de pouvoir cerner comment un architecte-archéologue peut se saisir de son objet d'étude. Cela a été rendue nécessaire par le fait que la méthodologie « classique » employée par l'architecte n'est pas compatible avec les impératifs de la recherche. Par conséquent, la recherche en architecture s'adosse généralement à une autre discipline – l'archéologie dans ce cas présent. En revanche, cela n'est pas suffisant pour les objectifs des architectes-archéologues tels que nous avons définis en introduction.

Il s'agit là de la méthodologie générale. Mais dans ce cadre générique, plusieurs manières de conduire la recherche peuvent être mises en place. Trois thèmes nous semblent devoir être éclairci afin de rendre la méthodologie transparente. Cela concerne le croisement des données, le protocole d'acquisition, et la formulation des hypothèses de restitution.

2.3. Croiser les informations

Les travaux en archéologie peuvent être considérés comme un immense puzzle dont il faut découvrir les pièces soi-même, et dont l'image à reconstituer n'est pas connue au départ. La principale difficulté vient de la masse importante de documents à manipuler et de la quantité d'information à croiser. Il s'agit d'un domaine de recherche en pleine effervescence à la croisée du Big data et de la visualisation des informations. Cela conduit à la mise en place de systèmes d'information dédié à la gestion de la documentation du patrimoine construit : le Heritage Building Information Modelling (HBIM). Les dimensions spatiales et temporelle d'un objet sont associées à un ensemble plus ou moins vaste de métadonnées (Pauwels et al. 2008). Ce sont des outils développés en parallèle des BIM en architecture et qui se donnent pour objectif de faciliter les échanges de maquettes numériques entre les différents acteurs d'un projet de construction (architectes et bureaux d'études), ainsi que le suivi du chantier. L'utilisation de la maquette peut enfin être poussée jusqu'à la gestion du bâtiment par l'exploitant.

Bien que l'outil mis en place puisse s'inscrire dans la lignée des HBIM, nos objectifs ne nécessitent pas la mise en place d'un projet aussi ambitieux. L'objet de cette recherche n'est pas de développer un système de visualisation dédié au patrimoine. Notre besoin ne nécessitait pas la mise en place de dispositifs aussi avancés et lourd à mettre en œuvre, mais il convient de décrire la manière avec laquelle les archives ont été manipulées. La différence principale vient du fait que très peu de

métadonnées ont été utilisées, et elles sont inexistantes sur les objets 3D – à l'exception du nom. Une ébauche a été esquissée avec comme seules missions de parcourir facilement l'ensemble du corpus et de pouvoir recouper les informations. Mais avant de décrire cet outil, nous présenterons les différents auteurs de ces données.

2.3.1. Les matériaux à disposition

2.3.1.1. La nature des différentes archives

Les matériaux récoltés sont assez différents les uns des autres et peuvent être classés en plusieurs catégories :

- textes (livres, articles, rapports...) ;
- images (esquisses, aquarelles, photographies argentiques ou numériques, diapositives...) ;
- descriptions géométrales (plans, coupes, élévations à diverses échelles de représentation) ;
- vidéos (d'archives, prises sur le terrain ou issues des modèles 3D) ;
- objets 3D (nuages de points, maillages texturés ou non).

Les archives conservées sur supports physiques ont été numérisées. L'ensemble a ensuite été compilé dans les formats les plus adaptés en fonction du fond d'origine. Principalement, le format PDF a été privilégié puisque son intégration dans un fichier html permet de s'affranchir de la quantité d'information disponible pour chaque source et de pouvoir zoomer sur le contenu en fonction des besoins. Afin de pouvoir assurer une fluidité dans la navigation, la taille des fichiers pdf a été surveillée et parfois les documents sont en basse résolution. Dans la très grande majorité des cas, cela ne pose pas de problème. Si le besoin de consulter des détails se faisait sentir, la conservation de la référence entre l'archive haute résolution et le document ICARE permet de retrouver facilement la source. Le tableau suivant répertorie ces conservations et les formats de destination :

- textes : fichier pdf
- images : fichier pdf et flash[1]
- descriptions géométrales : fichier pdf et Unity html[2]
- vidéos : fichier avi ou mp4
- objets 3D : fichier Unity html

Certains types de document peuvent être davantage exploités que d'autres, ce qui permet d'augmenter encore le processus de recoupement d'information. À ce titre, nous attirerons l'attention sur deux types de documents : les descriptions géométrales et les photographies.

1 Le format flash pour les images a été particulièrement utile pour créer une visite virtuelle du site à partir de vues panoramiques complètes ou partielles.

2 Les modèles 3D ont été assemblé dans Unity 3D, et les scènes exportées en Unity html pour être intégrées dans un site internet. Cela nécessite néanmoins l'installation d'un plugin.

2.3.1.2. Les dessins géométraux

Tous les plans, coupes et élévations sont superposés dans le même repère spatial – celui qui a été défini lors de l'acquisition lasergrammétrique de 2011. De cette manière, tous les documents partagent la même échelle graphique et la comparaison entre eux en est facilitée. Le logiciel utilisé pour accomplir cette tâche est Adobe Illustrator. L'échelle de travail pour cette synthèse est le 1/200 (un centimètre sur le dessin représente deux mètres en réalité).

Le relevé topographique réalisé en 1979 par C.-T. Le Roux (Cf. figure 86) a pu être converti en 3D. De nombreux documents ont pu ainsi être produits afin de faciliter la comparaison avec l'état actuel du monument. De la même manière, tous les plans et coupes produits pendant les fouilles ont pu être intégrés dans le modèle 3D.

2.3.1.3. Les archives photographiques des campagnes de fouilles

Le nombre de clichés photographiques pris lors des campagnes de fouilles entre 1979 et 1984 est important et le corpus n'était pas organisé. De nombreux négatifs ont été développés en plusieurs exemplaires. Ces tirages redondants ont pu être assez facilement identifiés grâce au logiciel Panaustik[1]. Ce logiciel compare les photos sélectionnées entre elles pour définir leur degré de similitude, et propose ensuite de les déplacer dans un dossier spécifique.

L'ensemble de ce corpus a ensuite été trié selon la zone représentée, puis la date du cliché. Une fois ce long travail de classification terminé, un fichier *.pdf est créé en prenant en considération les deux paramètres décrits précédemment.

2.3.2. Constitution de l'interface de contrôle archéologique des restitutions (ICARE)

2.3.2.1. Enjeux de cet outil

Trois enjeux principaux ont été identifiés concernant la manipulation des archives :

1. Les informations sont éparpillées dans l'ensemble du corpus, et il est primordial de pouvoir accéder rapidement à n'importe quel document. L'enjeu principal en revanche que nous avons identifié consiste à pouvoir naviguer facilement et rapidement d'un document à l'autre.
2. Un autre besoin formulé consiste à pouvoir prendre des notes pendant la lecture, quel que soit le document consulté.
3. Et le dernier consiste à pouvoir trier les documents selon leur nature et la date de leur production.

Pour cela, une interface reposant entièrement sur le langage HTML a été créée puisqu'il permet d'agréger des documents très divers dans la même interface. Ce format est suffisamment souple pour

1 http://www.panaustik.com/ (consulté le 24/12/14)

s'adapter à des projets plus ou moins ambitieux, et les possibilités – qui sont déjà innombrables – peuvent grandement évoluer avec le langage HTML 5. La mise en place de liens hypertextes non pas au sein de chaque document, mais entre différentes pages qui comprennent ces archives est relativement aisé et permet d'ajouter facilement de nouveaux éléments à condition d'écrire quelques lignes dans le langage HTML. Enfin, cette base de données peut simplement être hébergée en local et ne nécessite pas de déploiement sur un serveur pour notre usage.

2.3.2.2. Description de l'interface

L'interface ICARE est structurée de manière à pouvoir accéder à tout le contenu en seulement deux clics. Une seule exception apparaît pour le fond iconographique des archives des campagnes de fouilles 1979-1984 puisque les clichés ont été triés en fonction du secteur représenté. Afin de pouvoir conserver ce travail, un niveau de hiérarchie supplémentaire a été inséré.

Cette structuration est importante afin de pouvoir accéder rapidement à l'ensemble du contenu.



9. Présentation de l'interface ICARE

En termes d'ergonomie, la première page est composée de deux blocs distincts que nous retrouvons sur l'ensemble du site (Cf. figure 9). Le panneau de gauche intègre un bloc-notes Framapad ce qui permet de prendre des notes pendant la consultation des archives ; celui de droite affiche l'ensemble de la documentation ou l'archive sélectionnée en fonction de notre position dans l'arborescence d'ICARE.

Les différentes archives sont affichées sous la forme de tuiles organisées de manière chronologique. Un titre et une couleur y sont associés pour identifier la date, l'auteur, et la nature du document en question. Comme les différents formats de fichiers listés précédemment sont lisibles directement dans un navigateur internet, la sélection d'une tuile ouvre une page avec le contenu associé et le bloc-notes n'est pas rechargé. La prise de note est ainsi continue et plus fluide : au fil de la lecture, les informations sont triées par secteur et chronologiquement.

Cet outil – encore à l'état de prototype – demande à être davantage développé, mais son état actuel convient tout à fait pour les besoins de ce travail et est même jugé indispensable pour l'exploration des archives.

2.4. Mettre en place de protocole(s) d'acquisition

2.4.1. Principes généraux

Le site de Gavrinis a été numérisé en 2011, comme nous le détaillerons dans le chapitre [6.1.], grâce à des capteurs laser. Mais il n'est pas possible d'utiliser cette méthode d'acquisition sur toutes les campagnes archéologiques pour des questions budgétaires. Le coût de ce matériel est trop important pour pouvoir être supporté par les structures de recherche. Par conséquent, il a fallu trouver des solutions alternatives.

En même temps que ce travail de doctorat débutait (en 2011), les outils de photogrammétrie se démocratisaient et s'affinaient de plus en plus (Cf. chapitre [6.2.]). L'évolution a donc été suivie attentivement, et les différentes expériences ont bénéficié du savoir-faire accumulé. Tout comme les acquisitions en lasergrammétrie, le chantier d'acquisition doit être réfléchi et les problèmes anticipés. De plus, l'appareil photo doit être précisément réglé de manière à pouvoir exploiter au mieux les informations contenues au niveau du pixel de chaque cliché. À cette fin, des stratégies précises d'acquisition doivent être mises en place. Elles visent principalement deux objectifs. Les modèles tridimensionnels produits – nuages de points ou maillages texturés – doivent être les plus propres possible, et ces informations doivent également être orientées et à l'échelle. Si ces objectifs ne sont pas atteints, il est difficile de nettoyer les données et les modèles seront peu exploitables dans un processus de documentation.

De la même manière, les procédures d'acquisition et de traitements des représentations gravées sont variables et dépendantes des compétences de chaque opérateur (Cf. chapitre [7.2.]). Il devenait nécessaire d'unifier les pratiques en mettant en place un protocole unique et indépendant du contexte et du technicien.

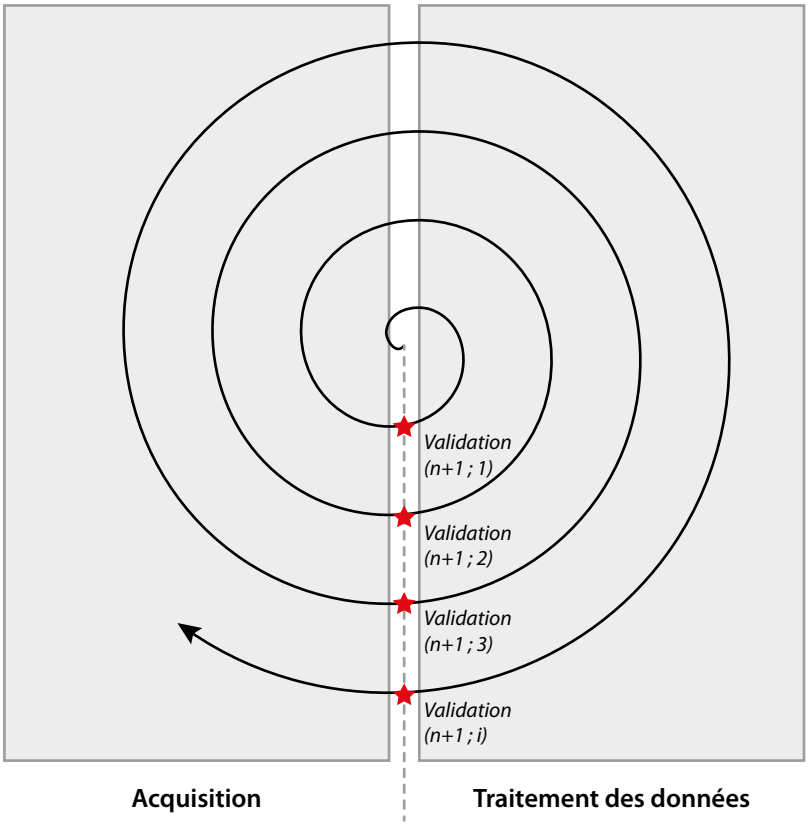
Les outils et nos compétences évoluant, l'enregistrement tridimensionnel des architectures et des représentations gravées ont pu être réalisé lors de la même opération : des stratégies multi-résolution ont pu être mise en place pour la documentation de l'échelle architecturale et des ornements.

2.4.2. Conduite de l'expérimentation pour une acquisition architecturale

La première étape a consisté à établir un état de l'art des pratiques en cours. Rapidement il s'est avéré que la photogrammétrie pouvait être une solution alternative puisque contrairement aux autres capteurs disponibles au moment de nos travaux, il y a adéquation entre l'appareil photo, l'échelle de l'objet à enregistrer, les contraintes spatiales et les objectifs de description que nous nous fixons (Cf. chapitre [5.]).

L'enregistrement tridimensionnel des objets en photogrammétrie doit être l'objet de nombreux réglages qui tous cumulés permettent d'obtenir les résultats optimaux. La difficulté principale vient du fait que ces micro-réglages peuvent difficilement être repérés, et qu'ils ne sont jamais publiés in extenso dans les différents articles que nous avons pu consulter. La part de savoir-faire reste importante et les secrets jalousement gardés.

Afin de comprendre l'impact de chacun des réglages, les expériences ont été multipliées, explorant à chaque fois de nouveaux contextes et environnements. La méthode de travail adoptée est une démarche itérative en spirale (Cf. figure 10). Alternant entre phases d'expérimentation (acquisition et traitement des données), et validation des réglages avant d'éprouver le nouveau protocole, les faiblesses et les forces apparaissent et peuvent être corrigées au fur et à mesure des expériences.



10. Démarche itérative permettant de valider les résultats en accumulant les expériences

Les premiers cas d'étude étaient purement exploratoires et étaient réalisés sur le site même de Gavrinis. La participation au programme de recherche européen JADE 2[1] a ensuite permis de se confronter à une diversité d'environnements et de typologies d'espace qui ont sévèrement éprouver les protocoles. Deux campagnes ramassées dans le temps ont été organisées ; l'une dans le bassin parisien, l'autre en Bourgogne. À cela s'ajoute aussi diverses missions en Bretagne. Les sites qui ont servi à l'expérimentation sont les suivants :

- Relevés complémentaires de Gavrinis à Larmor-Baden :

1. L1, L2, L3, L7, L8, L10, L11, C1, C4, C5, R1, R2, R6, R7, R9, R12, toutes les dalles de sol, P1, P2, P7, P8, P9, P10

- Relevés en forêt de Fontainebleau (juin 2013) :

2. Larris des Boulins à Buno-Bonnevaux (91)
3. Grotte à Deux Étages à Buthiers (71)
4. Grotte de la Hache à Buthiers (77)
5. Rocher de la Vallée aux Noirs 6 à Buthiers (77)
6. Cavité de Châtillon 5 à Milly-la-forêt (91)
7. Rocher du Closeau à Nanteau-sur-Essonne (77)
8. Stèle de l'Ouche-de-Beauce à Maisse (91)
9. Dolmen du Berceau à Saint-Piat (28)

- Relevés en Bourgogne (avril 2014) :

10. Stèle de Charmeau à Broyes (71)
11. Stèle de Nobles à Chapelle-sous-Brancion (71)
12. Stèle A de l'alignement d'Epoigny, Couches (71)
13. Stèle B de l'alignement d'Epoigny, Couches (71)
14. Stèle C de l'alignement d'Epoigny, Couches (71)
15. Stèle D de l'alignement d'Epoigny, Couches (71)
16. Stèle G de l'alignement d'Epoigny, Couches (71)
17. Grande Borne (ou pierre Sainte Christine) à Genay (21)
18. Stèle des Ublaies à Massy (71)
19. Stèle des Vignats à Saint-Clément-sur-Guye (71)
20. Stèle de la Pierre aux Fées à Saint-Micaud (71)

- Relevés en Bretagne :

21. Dolmen d'Er Hourel à Locmariaquer (56 – janvier 2013)
22. Coffre 3 du Manio 2 à Carnac (56 – octobre 2013)
23. Stèle de Kermaillard à Sarzeau (56 – février 2013)

1 Le programme de recherche « JADE 2 – Objets-signes et interprétations sociales des jades alpins dans l'Europe néolithique » est dirigé par P. Pétrequin et E. Gauthier depuis la Maison des Sciences de l'Homme et de l'Environnement Claude Nicolas Ledoux (Besançon) entre le 1er janvier 2012 et le 31 décembre 2015.

24. Stèle de la Tremblais à Saint-Samson (22 – décembre 2013 sur site ; février 2014 pour les moulages)
25. La ciste du tumulus Mané er Hroëck à Locmariaquer (56 – février 2015)
26. La ciste du tumulus Saint Michel à Carnac (56 – février 2015)
27. La stèle de Mané Kerioned à Carnac (56 – août 2014)
28. La stèle de Moustoir à Carnac (56 – août 2014)
29. La stèle de Kerpenhir à Locmariaquer (56 – septembre 2014)
30. L'alignement de Kerjouanno à Arzon (56 – novembre 2012)
31. La stèle de Bronzo à Locmariaquer (56 – janvier 2013)

- Autres régions :

32. Dalle de couverture du Déhus à Guernesey (février 2014)

Toutes ces expériences ont constitué autant de cas d'études pour éprouver les outils et les différents réglages dans des contextes très variés. Les résultats sont présentés en annexe de ce volume.

2.4.3. Conduite de l'expérimentation pour une acquisition des ornements

Après un état de l'art, les différentes techniques actuellement employées sont répertoriées, et l'intérêt de chacune d'elle est évalué. Avec l'expérience et la confrontation des points de vue, ces techniques sont éprouvées sur un ensemble d'échantillons constitué de manière à représenter l'ensemble des cas possibles en générant les profils selon trois paramètres. Bien que ces sections soient théoriques, les différents cas peuvent se combiner pour retrouver toute la variété des *artefacts* auxquelles nous pouvons être confrontés sur site. Le corpus ainsi créé se veut généré selon des critères maîtrisés et en même temps représentatif.

Les différentes méthodes sont systématiquement appliquées sur chacun des échantillons. De cette manière, les tracés détectés peuvent être systématiquement comparés entre eux selon la technique employée et les variations de section. L'analyse des différents résultats permet ainsi de formuler des comportements propre à chacune des méthodes, et d'établir quelles sont les méthodes les plus efficaces, et ce que chacune d'elle enregistre effectivement.

Cette application systématique est la seule qui permette d'explorer en profondeur le produit de chaque méthode (Cf. chapitre [7.3.] et [7.4.]).

2.5. Formuler les restitutions

2.5.1. La caractère heuristique des modèles 3D

Depuis de nombreuses années, les maquettes numériques servent à visualiser les architectures, et encore plus précisément le patrimoine en reconstituant les parties détruites ; cette idée étant apparue dès 1973 (Wilcok 1973). Depuis, d'innombrables autres sites archéologiques ont bénéficié de ces

technologies, soit pour l'étude soit pour la communication et la médiation. Les travaux engagés sur Gavrinis à la suite de sa numérisation s'inscrivent dans la même philosophie. Cela devait permettre dans un premier temps de mieux étudier le site, puis de favoriser la médiation des résultats auprès d'un public « touristique ». Ce deuxième volet n'est pas traité dans ce travail.

Le caractère heuristique des modèles tridimensionnels en sciences historiques provient de plusieurs facteurs (Rocheleau 2010) :

- une meilleure compréhension par l'organisation des sources premières : les liens entre les différents documents composants le corpus ne sont pas toujours évidents à créer. Si le contenu intrinsèque peut être exploité, sa mise en relation avec l'ensemble peut aussi fournir beaucoup d'autres données impossibles à obtenir s'ils ne sont pas manipulés.
- une méthode pour évaluer les sources : toutes les sources n'ont pas le même degré de fiabilité. Le document peut posséder sa propre cohérence – spatiale notamment –, mais ce n'est toujours le cas. Les représentations tridimensionnelles permettent d'obtenir des points de vue impossibles en réalité, et de cette manière permettent de corréler ou de souligner les incohérences.
- la mise en évidence de propriétés inattendues et transcender les apports classiques : la construction des modèles 3D et l'analyse des espaces permettent de soulever des interrogations qui n'étaient alors pas envisagées, car les problèmes n'étaient pas perceptibles. Le modèle tridimensionnel sert de catalyseur à la réflexion puisque sa construction mobilise l'ensemble des archives à disposition et permet de réexplorer sous de nouveaux jours aussi bien les sites encore existants et ceux détruits, ou encore ceux possédant une documentation abondante de ceux qui en ont peu.
- formation d'hypothèses et de questions de recherche grâce à des simulations : les modèles permettent d'éclairer de nombreux aspects qui n'apparaissaient pas auparavant. La question des usages se retrouvent notamment au cœur des réflexions puisqu'il est possible de pratiquer les espaces disparus en adoptant les mêmes points de vue que ceux qui les ont réellement arpentés. Les conflits d'usages apparaissent donc au grand jour et il faut déterminer la nature de la relation entre ce qui nous apparaît être en conflit et la réelle pratique.

Pour atteindre ces objectifs, quelques principes doivent être particulièrement soignés selon le même auteur – en plus de ceux que nous avons déjà évoqués : la transparence du mode de fabrication des modèles 3D. Les images tridimensionnelles ont particulièrement la faculté de détourner l'esprit de l'intention initiale. Dans le cadre de restitutions, une image scientifique sera comparée à celle produite pour l'industrie du divertissement (cinéma et jeux vidéos). La première souffrira de la comparaison car elle n'atteint pas les standards auxquels le public est habitué. La fiabilité des espaces et des usages pratiqués ne sont alors plus les facteurs pris en compte dans la compréhension des espaces proposés. Cela est d'autant plus compliqué qu'il doit être possible de déterminer les parties dont la restitution est fiable ou incertaine (Favre-Brun 2013).

Sur un autre registre que celui de la constitution des images s'ajoute la pérennité des fichiers. C'est un vaste sujet qui dépend de l'obsolescence des logiciels et des supports de sauvegarde. Nous ne

l'aborderons pas car il concerne un domaine d'étude concernant l'archivistique. Même si le sujet est préoccupant, il nous éloignerait des objectifs que nous nous sommes fixés : les restitutions des différentes phases de construction de Gavrinis.

2.5.2. L'encadrement de l'utilisation des modèles 3D pour le patrimoine

Pour que les recherches soient menées de manière optimales, des chartes internationales ont été émises. La première à aborder les contenus multimédia est la charte de Cracovie en 2000 (The Charter of Krakow 2000) – la question est seulement évoquée en une ligne. En 2010, la charte de Londres tente d'établir une base commune pour la gestion de ces données numériques en lien avec le patrimoine (Hugh Denard 2009). Cependant, la diversité des média en jeu et la spécificité des objets tridimensionnels nécessitent la rédaction d'un nouveau document : la charte de Séville (Principles of Seville 2011). Ce dernier document se donne pour objectif de produire un cadre dans lequel l'étude du patrimoine à travers les modélisations tridimensionnelles peut évoluer. Huit principes généraux ont été énoncés :

1. Interdisciplinarité
2. Objectif(s) – de la construction des modèles 3D
3. Complémentarité – des outils d'acquisition
4. Authenticité
5. Rigueur historique
6. Efficience – des moyens mobilisés
7. Transparence scientifique
8. Formation et évaluation

Tous n'ont pas été exactement suivis puisqu'ils ne correspondaient pas exactement au contexte dans lequel ce travail a été conduit.

Le travail relève effectivement d'un caractère interdisciplinaire puisque le développement mobilise autant les compétences de l'archéologue, de l'architecte et de l'ingénieur. La composition restreinte de l'équipe pour l'étude de Gavrinis impliquait de facto une certaine transgression de nos disciplines respectives. Mais il faut avant tout souligner que la charte semble s'adresser avant tout à la communauté des archéologues pour qui les outils de modélisation 3D ne font pas nécessairement partis du quotidien. Des échanges ont alimenté la recherche, mais pas de la manière que laisse présager la charte.

En ce qui concerne l'authenticité de restitutions, le principe n'est évidemment pas remis en cause. Seulement, les pièces graphiques qui ont été produites ne font pas la distinction entre les structures encore en place et celles qui ont été supposées. Le principe d'incertitude n'est pas explicité afin de conserver une lecture aisée. L'ensemble des pièces a été produit comme appartenant à un corpus cohérent, et c'est en le parcourant de manière chronologique que le lecteur pourra comprendre l'enchaînement des différentes phases et en le lisant à rebours et à l'aide du texte qui précise le développement, il est aisé de comprendre quels sont les éléments encore en place.

C'est au nom de l'efficacité des moyens mobilisés que ICARE n'a pas été développé au-delà de la compilation des données et la prise de notes. C'est également en regard de ce critère que la procédure d'acquisition en photogrammétrie a été développée – en vue de remplacer les acquisitions en lasergrammétrie.

Les autres points développés par la charte de Séville ont été suivis.

2.5.3. Limites des modèles

L'utilisation de modèles tridimensionnels pour asseoir la réflexion et vérifier les hypothèses n'est pas un geste anodin. Le terme modèle est au cœur de cette approche ; il convient donc de le définir :

> **MODÈLE** *nom féminin – 1564 ; modelle 1542 : italien modello, latin populaire modellus, de modulus moule.* **1.** *Ce qui sert ou doit servir d'objet d'imitation pour faire ou reproduire quelque chose. [...]* **2.** *ARTS Personne ou objet dont l'artiste reproduit l'image. [...]* **3.** *Modèle de... : personne, fait, objet possédant au plus haut point certaines qualités ou caractéristiques qui en font le représentant d'une catégorie. [...]* **4.** *PAR EXTENSION Ce qui représente sous une forme concrète ou restreinte une classe, une catégorie. [...]* **5.** *Objet, type déterminé selon lequel des objets semblables peuvent être reproduits à de multiples exemplaires. [...]* **6.** *Objet de même forme qu'un objet plus grand mais exécuté en réduction. [...]* **7.** *Représentation simplifiée d'un processus, d'un système [...]*
>
> *Définition du Petit Robert 2003*

En outre, ce mot emprunté au latin modulus « mesure », « module (architecture) » et « mode, mélodie » remonte à la racine indo-européenne *MED- qui nous envoie vers « penser, réfléchir » et « mesurer, peser ». Il est courant d'utiliser des modèles pour asseoir la réflexion. Cependant, la définition rappelle que le modèle est une abstraction plus ou moins fidèle de la « réalité » (les points 3 et 4). Cette dernière ne peut effectivement pas être exactement représentée. Certains paramètres les plus significatifs sont extraits tandis que d'autres peuvent être plus ou moins ignorés – leurs variations influant peu les qualités prédictives du système. La relation entre le modèle utilisé et les objectifs à atteindre doit être précisément évaluée afin d'éviter de biaiser les résultats.

Le même phénomène se produit avec les représentations tridimensionnelles. Les capteurs de plus en plus performants sont capables de représenter les objets à des résolutions très denses comme nous pourrons le détailler dans le chapitre [5.3.]. Certains permettent d'acquérir sur site, dans des environnements difficiles, une représentation de l'objet d'étude sous la forme de points avec un espacement inférieur au millimètre. Les modèles 3D issus de ces nuages de points restent cependant des abstractions de la réalité car la surface est interpolée à partir de données plus ou moins denses, plus ou moins éparses.

Cette limite inhérente à tous les modèles doit être connue afin d'optimiser l'acquisition, et le cas échéant de ne pas dévoyer la réflexion. Des stratégies doivent être mises en place de manière à conserver la plus grande fiabilité possible. Sans cela, les modèles 3D deviennent inutilisables pour démontrer l'aspect étudié.

2.6. Le fil conducteur

Le développement de ce travail sera présenté en cinq parties :

Partie 1 : introduction

Après avoir exposé la méthodologie (chapitre 2.) permettant d'atteindre les objectifs que nous avons définis (chapitre 1.), l'exploration de Gavrinis sera décomposée en trois phases.

Partie 2 : interroger les archives pour reconstituer l'histoire de Gavrinis

La première phase se donnera pour objectif de reconstituer l'histoire de Gavrinis à travers les archives que nous aurons pu compulser. Ce travail sera établi en deux temps : l'histoire récente de Gavrinis – depuis l'identification du monument comme architecture – permettra de comprendre l'ensemble des interventions réalisées sur le site (chapitre 3.) et ainsi de déterminer les différentes phases d'occupation du site (chapitre 4.). C'est à partir des faits documentés que nous pourrons établir ce qui ne l'est pas.

Partie 3 : Mise en place d'un nouvel appareillage instrumental afin de réinterroger le site de Gavrinis

La deuxième phase consiste à mettre en place des procédures permettant d'enregistrer l'ensemble des informations nécessaires à l'étude d'un site. À cette fin, la notion de relevé en architecture sera clairement définie (chapitre 5.), puis les outils et les protocoles seront détaillés pour enregistrer les architectures (chapitre 6.) et détecter les gravures (chapitre 7.).

Partie 4 : réévaluer l'histoire du site à la lumière des nouvelles observations

La troisième et dernière phase synthétise l'ensemble des observations issues de la lecture des archives et du site (chapitre 8.), ce qui permet de formuler les hypothèses de restitution des différentes phases de construction de la tombe (chapitre 9.).

Partie 5 : Conclusion

Enfin, nous conclurons ce travail et ouvrirons de nouvelles perspectives quant à l'étude de ces architectures funéraires néolithiques (chapitre 10.).

II/
Interroger les archives pour reconstruire l'histoire de Gavrinis

Chapitre 3. La reconstitution des interventions depuis l'identification du monument comme architecture en 1825

Le monument de Gavrinis a fait l'objet de nombreuses publications, mais aucune synthèse des observations réalisées depuis sa découverte n'a encore été menée. C'est l'objectif des deux chapitres à suivre. Le premier consignera les faits selon leur spatialité ; le second mettra en relation ce qui a été récolté dans le premier pour constituer une histoire cohérente du monument à partir des documents d'archives.

3.1. L'invention du cairn en 1825 et du couloir en 1832

L'île semble ne plus avoir été occupée après l'abandon des moines, excepté de manière très épisodique. Quand M. Cauzique rachète l'île en 1830, elle était devenue « à peine accessible » et « sans culture de temps immémorial » (de Closmadeuc 1876, p. 2). La rumeur rapportait que des réfractaires avaient cependant trouvé refuge dans le cairn pendant le premier Empire (1804-1815). Cette cachette, dissimulée au fond du cratère, n'était accessible que par un orifice si étroit au milieu des ronces qu'il ne permettait le passage que d'un seul homme (de Closmadeuc 1876, p. 4). Cela poussa l'abbé Mahé à visiter l'île pour en savoir un peu plus. Il est ainsi le premier à identifier ce tumulus comme une construction humaine en identifiant un caveau central recouvert de terre et de pierres (Mahé 1825).

En 1830, M. Cauzique achète l'île et décide de la mettre en culture. Pour cela, il entreprend la construction d'une ferme en lieu et place de la chapelle du Moyen Âge en utilisant les ruines comme matériaux de construction. Ce n'est que deux ans plus tard, suite à un éboulement de pierres, qu'il entreprend l'exploration du tumulus (Mérimée 1836, p. 260). L'ouverture triangulaire précédemment mentionnée est située entre les stèles L11, C1 et la dalle de couverture P10.

Avec l'aide de M. Lorois, préfet du Morbihan, des fouilles furent engagées. Seulement neuf ou dix mètres du couloir étaient dégagés quand P. Mérimée visita l'île en 1835. Le couloir était rempli de pierres et de terre qui se seraient infiltrées entre les dalles de couverture (Mérimée 1836, p. 263). Cet argument sera réfuté par G. de Closmadeuc après avoir interrogé M. Cauzique. Selon ce dernier, les pierres étaient bien trop grosses pour avoir percolé. En revanche, le couloir était « obstrué de pierres accumulées avec une intention manifeste de remblai » (de Closmadeuc 1876, p. 5).

En 1836, le couloir est totalement dégagé et la position de l'entrée apparaît pour la première fois de manière évidente en façade depuis son obstruction (Mérimée 1836, p. 261).

3.2. Evolution de la morphologie du cairn

3.2.1. La perception d'un objet ruiné

Le chanoine J. Mahé décrit pour la première fois le cairn (Mahé 1825, pp. 97-99). Il note la présence sur le sommet d'une « cavité de 4 ou 5 pieds, en forme de cône renversé, comme le cratère d'un volcan ». Pour expliquer cette formation, il propose l'idée d'un caveau au centre du monument recouvert d'une dalle qui se serait fracturée sous le poids de la masse de pierres la recouvrant. Selon le même principe que le sablier, l'écoulement de sable du bulbe supérieur vers celui du bas produit un cône vide dans la partie supérieure. J. Mahé remet néanmoins rapidement cette hypothèse en question suite à la comparaison de Gavrinis avec les cairns de Plougoumelen et de Saint-Nolf. Il avance alors que ces monuments ont soit peut-être déjà été fouillés, soit que ce cratère fait partie de la structure même de ces galgals. Il s'appuie pour cette dernière observation sur ce qu'il a vu à Saint-Nolf.

Lors de son passage sur l'île, P. Mérimée demande au lecteur de « se représenter un grand dolmen fort régulier, enseveli sous un amas de terre et de pierres » (Mérimée 1836, p. 261). Depuis sa découverte quelques années plus tôt, l'intérêt se porte uniquement sur le couloir et ses ornements. La structure tumulaire disparaît ensuite de la description de l'Inspecteur Général des Monuments Historiques de France. C'est le résultat de la nouveauté de la découverte – le couloir n'est pas encore totalement déblayé – et la profusion des ornements est telle que le discours se focalise sur ce point.

3.2.2. Premières descriptions d'une architecture

Cette attraction pour le couloir se confirme en 1852 lorsque le capitaine du Génie en chef P. Lucas visite et en exécute le relevé (Cf. figure 92). Le tumulus est seulement suggéré par une simple esquisse, provoquant un déséquilibre de documentation entre l'intérieur et l'enveloppe. L'intérêt transpire également à travers le texte qui accompagne la planche :

> *« La grotte de Gavrinis, par les bizarres sculptures qu'elle présente, voir la feuille n° 21, est un des monuments les plus curieux que nous aient laissés les anciens Gaulois, si même il n'est pas unique en son genre. En considérant l'isolement de ce monument au milieu du Morbihan, la difficulté que peut avoir pour le visiter, ou son éloignement de tout centre d'intelligence érudite, on est porté à désirer que l'État fasse mouler les 29 pierres formant les parois de cette grotte (toutes les pierres ne sont pas sculptées) ; les plâtres seraient transportés à Paris où l'on reconstruirait ce monument sur une échelle déterminée, dans une des salles du Louvre. Là il y aurait des chances pour qu'un Archéologue pût un jour parvenir à trouver la clef des Hiéroglyphes présentées par ces sculptures. Cette question semble toucher tellement à nos origines nationales que l'État ne devrait pas hésiter à faire une dépense assez minime pour le moulage et le transport des plâtres à Paris. »*

Quelques stèles sont représentées plus en détail pour leurs motifs. Il s'agit des dalles de chevet C3 et C4 (Cf. figure 113.1), C1 (Cf. figure 110.1), R10 et R9 (Cf. figures 118.1 et 119.1), et des fragments de L9 (Cf. figure 107.1) et de R8 (Cf. figure 120.1).

Le monument a été visité en 1868 par Sir H. Dryden et W. C. Lukis. À cette occasion, ils ont – à défaut d'avoir rédigé – dessiné et relevé le monument. Une aquarelle montrant l'île de Gavrinis depuis l'île de la Jument montre bien le profil « volcanique » du tumulus (Cf. figure 82). Une distinction dans les couleurs employées montre déjà dans les années 1860 que la végétation est prépondérante sur la partie Ouest du cairn, alors que la zone Est est plutôt minérale. Trois clichés pris par Z. Le Rouzic dans les années 1900 depuis les îles Er Lannic (vue depuis l'Est) et de la Jument (vue depuis le Sud-Ouest) montrent également des états de végétalisation différents selon les orientations (Cf. figures 84.5, 84.6 et 84.7).

Le plan et la coupe du cairn seront publiés une vingtaine d'années plus tard (de Closmadeuc 1886). La coupe a le mérite de rechercher une relation entre la position du couloir, la masse du cairn et le plancher granitique de l'île comme le confirme Closmadeuc en 1876 :

> *« Si on suppose une coupe verticale du monument, et qu'on recherche les rapports qui existent entre lui et le sol naturel, on s'assure que le plancher de la galerie repose directement sur la montagne, contrairement à l'assertion émise par plusieurs auteurs. Nous possédons un plan parfaitement exécuté de la main des savants archéologues Sir Henry Bart et W. Lukis, qui ne laisse aucun doute à cet égard » (de Closmadeuc 1876, p. 6).*

Dans ce document, deux profils de plancher sont proposés (Cf. figure 83). Le premier est courbe et passe largement au-dessus des dalles de sol du couloir. Le second profil est une ligne droite rejoignant les extrémités des éboulis du cairn. Le premier profil a l'avantage de montrer que le cairn est construit sur un sommet topographique. Il est cependant contredit par les fouilles effectuées dans le couloir en 1884 et 1886 car les dalles de sol reposent sur un lit de pierres et de terre sur une puissance maximale d'un mètre. Le profil plat s'avère par conséquent plus proche de la réalité. Cette épaisseur et la nature des sédiments retrouvés par G. de Closmadeuc et C.-T. Le Roux lors de leurs fouilles respectives permettront de supposer l'existence d'un tertre sous-jacent au cairn de Gavrinis (Boujot et Cassen 2000a, p. 155).

En 1876, G. de Closmadeuc est l'un des premiers à décrire le monument comme « un dôme au sommet tronqué ». Il introduit de cette manière l'idée que le monument possédait autrefois un sommet conique et qu'ainsi le monument devait atteindre une hauteur de dix mètres minimum pour un diamètre oscillant entre 50 et 55 mètres (de Closmadeuc 1876, p. 3). Cette image sera entre autre reprise plus tard par Z. Le Rouzic dans un de ses dessins (Cf. figure 84.1).

Depuis la visite de P. Mérimée et son expérience avec un bâton pour sonder la profondeur sous le dallage, l'hypothèse d'un dolmen à étage est posée. G. de Closmadeuc la réfutera en 1876 : « si on suppose une coupe verticale du monument, et qu'on recherche les rapports qui existent entre lui et le sol naturel, on s'assure que le plancher de la galerie repose directement sur la montagne, contrairement à l'assertion émise par plusieurs auteurs » (de Closmadeuc 1876, p. 6). Il s'appuie pour cela sur le plan et la coupe réalisés par Sir H. Dryden et W. C. Lukis en 1868. Cependant, cette certitude disparaîtra car en 1884, Closmadeuc veut répondre à une question : « *existe-t-il, sous le dallage, un étage inférieur ?* » et engage pour cela des travaux exploratoires de « l'espace sous-dallaire ». La méthode employée consiste à soulever les dalles à l'aide de leviers, les poser sur des rondins de bois puis les faire glisser sur le côté. Trois publications résulteront de ces opérations (de Closmadeuc 1884; de

Closmadeuc 1886; de Closmadeuc 1887). Les observations seront consignées dans le chapitre [4.3.3.]. Il a également pratiqué une tranchée exploratoire à partir de la dalle de couverture P10 vers le midi afin de voir s'il y avait d'autres structures parallèles au couloir existant et dissimulées dans la masse du cairn. Ces espoirs seront déçus (de Closmadeuc 1885, p. 134). Il est à noter que la chambre est encore éclairée à cette date par le premier accès qui a permis la découverte du couloir (de Closmadeuc 1876, p. 8).

En 1935, Z. Le Rouzic réaménage l'accès au couloir, sans toutefois détailler la nature de l'intervention. Un cliché de 1979 de C.-T. Le Roux montre la porte permettant de contrôler les flux dans le couloir (Cf. figure 98.1). La structure du cairn ne sera en tout cas pas l'objet de travaux importants (Le Roux rapport 1979, p. 2).

En 1961, le monument est racheté par le Conseil Général du Morbihan, et plusieurs interventions ont été réalisées afin de contenir un flot de touristes de plus en plus important et d'améliorer les conditions de visite. Un escalier a été créé pour accéder au sommet du monument et profiter ainsi de la vue panoramique sur le Golfe grâce à un sentier suivant la crête du cratère. L'accès à cette promenade devait probablement être aménagé sur le flanc Sud, de manière à profiter de l'ouverture du cratère pratiquée par G. de Closmadeuc en 1885 (Cf. figure 83.2). Le couloir est éclairé grâce à des dispositifs électriques alimentés par une éolienne installée au sommet du monument. (Le Roux rapport 1979, p. 2).

L'intervention la plus lourde sera réalisée à partir de 1979 lors d'une série de cinq campagnes de sauvetage programmées. Le chantier a été ouvert afin d'améliorer la connaissance du monument car l'information et l'état de conservation de celui-ci ne correspondaient pas à sa notoriété. Les contraintes de fouilles étaient importantes car il fallait non seulement composer avec le flot des visiteurs, mais aussi mener la restauration du monument en même temps. Il n'était donc pas possible d'avoir une vision globale des résultats de fouilles et un modèle de restauration a par conséquent été adopté et imposé au monument (Cassen et al. 2013a).

Nous décrirons dans un premier temps la chronologie du chantier, les résultats seront décrits secteurs par secteurs.

3.2.3. La fouille de sauvetage programmée du monument (1979-1984)

3.2.3.1. Année 1979

L'opération réalisée en 1979 est une préparation au chantier beaucoup plus vaste qui va s'ouvrir. L'objet consiste à nettoyer la surface de la dalle de couverture P10 et à construire une voûte de décharge (Cf. figure 88.5-A). Ce principe de précaution répond à l'image d'un cairn conique proposée par G. de Closmadeuc en 1876 et à la volonté de retrouver la volumétrie initiale de la tombe. Cette structure en arc brisé a pour fonction de diriger les forces de part et d'autre de la chambre et ainsi de ne pas charger la dalle de tout effort qui pourrait la fracturer ou engendrer des désordres structurels. Il était pour cela nécessaire d'asseoir la voûte sur des fondations solides. Or, deux faiblesses ont été repérées :

l'une au dos de C4, l'autre au dos de L11. Afin de parer à d'éventuels problèmes pouvant surgir lors de l'édification de cette voûte de décharge, deux sondages seront pratiqués et une maçonnerie récente sera réalisée tout en conservant un certain accès aux faces découvertes (Le Roux rapport 1979).

Les travaux se sont arrêtés ici pour cette campagne de fouilles, mais les résultats renseignent déjà beaucoup sur l'organisation de la matière autour de la chambre, et par extrapolation autour du couloir.

3.2.3.2. Année 1980

Le chantier reprend en 1980 par la réalisation d'une tranchée exploratoire parallèle au couloir (côté Nord). Elle s'étend de la crête du cratère aux éboulis afin de découvrir les éventuelles structures du cairn et planifier la suite de la fouille. Trois systèmes ont été identifiés (Cf. figure 87.2).

Le premier ensemble correspond à la façade, c'est-à-dire du sol naturel jusqu'au sommet du premier parement de façade. Cette zone ne sera pas complètement excavée lors de cette campagne afin de préserver le vieux sol pour l'examiner plus en détail ultérieurement. Le deuxième système correspond à ce qui a été nommé « corniche » et renvoie à l'espace entre les deux premiers parements de façade. Le dernier secteur est constitué de tout ce qui est au-delà du deuxième parement perpendiculaire à l'axe du couloir. Il est caractérisé par des murs de refend s'appuyant sur le deuxième parement et s'enfonçant dans la masse du cairn.

L'objectif de cette campagne a été atteint puisqu'il s'agissait de déterminer l'articulation entre la façade et le couloir. Les observations rapportées seront analysées plus précisément dans le point [4.2.4.], mais déjà à la fin de cette mission, des hypothèses de restitutions sont formulées. L'image du tumulus conique proposée par G. de Closmadeuc est substituée par une « façade monumentale à deux degrés » :

> *« On connaît maintenant la disposition exacte de l'entrée avec sa porte s'ouvrant curieusement en saillie au milieu d'un renfoncement de la façade ; le plan en « aile de mouette » de cette façade maçonnée, sa construction d'une seule travée sur plus de 4 m de haut avec une base verticale sur 1,5 à 2 m, et une partie haute inclinée ; la disposition en « corniche » rectiligne du second parement qui devait se dégager du premier à partir de 4,5 – 5 m du sol environ pour monter à plus de 7 m et peut-être jusqu'à 9 ou 10 m si l'on extrapole le volume des matériaux éboulés ». (Le Roux rapport 1980, p. 12)*

Les travaux réalisés les années suivantes s'appliqueront à prouver ce modèle. Nous pouvons aussi signaler l'aménagement d'un nouveau dispositif de fermeture du couloir : un système à deux portes dont les charnières sont encastrées dans les interstices entre les orthostates R1 et R2, et entre L2 et L3 (Le Roux rapport 1980).

3.2.3.3. Année 1981

En 1981, l'attention s'est essentiellement portée sur trois points spécifiques (Cf. figure 87.3). Le premier objectif était de dégager l'angle Nord-Est du cairn. L'année précédente, la fouille s'était étendue jusqu'à dix mètres de l'axe du couloir car la façade du premier parement s'arrêtait ici brusquement. Le second parement avait quant à lui pu être poursuivi sur une plus longue distance. L'angle découvert était

très endommagé car seulement quelques assises de pierres étaient encore en place (Cf. figure 88.8-H). La fouille du parvis a également été poursuivie. Mais afin de concilier la mission archéologique avec les contraintes d'ouverture du site aux touristes, la zone a été divisée en deux selon l'axe du couloir, et c'est l'espace Nord qui a été exploré en premier. La stratigraphie révélera différents événements que nous détaillerons dans le chapitre [5.] La dernière intervention de cette campagne s'est portée à l'intérieur du couloir, sur la dalle de seuil de la chambre S12. Des gravures y ont été identifiées dès sa découverte, et la fréquentation intense du site engendre une érosion des gravures très importante. Dans un souci de conservation, cette dalle sera remplacée par un moulage et déposée au dépôt archéologique de Vannes. A cette occasion également, l'équipe de C.-T. Le Roux effectuera un sondage pour contrôler les travaux de G. de Closmadeuc menés en 1884 et 1886.

Les résultats de cette campagne de sauvetage auront permis d'établir une condamnation volontaire du cairn. Des structures fossilisées en bois suite à un incendie et un enfouissement profond et rapide permettent à C.-T. Le Roux d'établir des liens entre Gavrinis et l'allée couverte de Kercado (Le Roux rapport 1981).

3.2.3.4. Année 1982

L'année suivante, en 1982, les travaux entamés sur le parvis Nord et l'angle Nord-Est du cairn ont été achevés. Les équipes de fouilleurs se sont ensuite déplacées vers le Sud (Cf. figure 87.4). L'examen du parvis ne sera qu'entamé, mais l'angle Sud sera quant à lui complètement démonté. Contrairement aux structures situées au Nord, le premier parement en façade est plutôt bien conservé, mais l'élément interne n'a pas réellement pu être identifié. La recherche de cet angle a permis également de découvrir un muret médiéval fossilisé par un étalement du cairn.

La campagne de 1982 aura permis de confirmer les résultats de l'année précédente et de prouver l'unicité de la conception du cairn, celui-ci étant centré sur le couloir. Aussi :

> *« ces renseignements d'ordre architectural permettent[-t-ils] maintenant de proposer en connaissance de cause un programme de consolidation-restauration qui, en s'inspirant des principes de base définis par P. R. Giot lors de la restauration de Barnenez (restitution des murailements sur la base des points hauts attestés), tient compte également des autres contraintes : volume du tumulus dans son état actuel, cubage des matériaux à replacer, nécessité de raccorder la façade restaurée à l'arrière du tumulus laissé en l'état ». (Le Roux rapport 1982)*

3.2.3.5. Année 1983

Le parvis sud sera entièrement fouillé jusqu'au substratum granitique en 1983 (Cf. figure 87.5). Les observations permettent de mettre en évidence une certaine symétrie dans les vestiges de part et d'autre du couloir et donc de corréler encore une fois les hypothèses formulées lors de la campagne précédente, à savoir une condamnation volontaire de l'entrée (Le Roux rapport 1981, p. 18). La zone devant l'entrée a mis au jour un vaste cratère de la largeur du couloir et s'étendant sur près de deux mètres. L'activité a également été portée vers l'angle Sud, de manière à comprendre plus finement la relation entre le muret découvert l'année précédente et le cairn. La recherche du mur interne a

été poursuivie, en vain. Enfin, la dalle de couverture P10 a été nettoyée de la couche de protection laissée depuis la construction de la voûte de décharge en 1979. Les figures sont apparues alors pour la première fois et ont permis d'établir la correspondance entre les dalles de couverture de Gavrinis et de la Table des Marchands à Locmariaquer (Le Roux 1983).

De nouveau, les hypothèses formulées précédemment trouvent confirmation grâce aux constats des excavations, à savoir la grande cohérence dans la conception du monument.

3.2.3.6. Année 1984

En 1984, la dernière mission de sauvetage s'est déroulée sur une semaine avant que la saison touristique ne démarre (Cf. figure 87.6). La principale intervention a été réalisée autour de la dalle de seuil S1 car C.-T. Le Roux cherche à établir un lien chronologique entre l'intérieur et l'extérieur du couloir grâce à une unité stratigraphique (une lentille d'argile) parfaitement identifiable depuis l'extérieur du couloir. Malheureusement, elle n'existe plus en raison des perturbations causées par les opérations très probablement menées par G. de Closmadeuc puisque celui-ci avait déplacé les dalles S2 et S3 (Cf. figure 12 et le chapitre [3.3.3.1.]). Enfin, un autre sondage a été réalisé vers l'angle Nord-Est car des fosses creusées dans le substratum et passant sous les parements de façades étaient susceptibles de livrer des informations stratigraphiques ; cependant les résultats ont été vains (Le Roux rapport 1984).

La compréhension de l'architecture évoluera finalement assez peu avec la progression des découvertes. Les différents dessins jalonnant l'avancement du travail permettent d'en rendre compte, même s'il est vrai que seulement deux représentations relativement schématiques ont été produites. Le projet de restauration s'adaptera néanmoins aux quelques observations réalisées. Entre 1981 et 1983, le projet prend en considération les murs de refend découverts entre-temps au sommet du cairn, du côté gauche du couloir car cette zone n'avait jusqu'alors pas été fouillée. En revanche, le projet se simplifie au niveau de l'angle Nord-Est par la suppression d'un parement, ce qui produit une dissymétrie structurelle de la façade. Excepté les imprécisions de la volumétrie de la réserve archéologique sur la partie arrière du cairn, la restauration actuelle est conforme au dessin de 1983.

3.2.4. Description des observations par secteur

3.2.4.1. L'entrée du couloir

Au niveau de l'entrée, le cairn repose sur une masse de pierrailles liées par une terre argileuse brune, riche en mobilier et dans le prolongement du couloir (Le Roux rapport 1981, p. 11). Cette zone sera explorée en 1983 pour l'extérieur, mais une fouille en cratère a détruit toutes les couches stratigraphiques (Le Roux rapport 1983, p. 6). Cette unité stratigraphique négative n'a pas pu être datée. En 1984, l'exploration se poursuit, mais à l'intérieur du couloir pour établir une continuité. (Le Roux rapport 1984, p. 2). Cette campagne a montré que devant l'entrée, de gros moellons devaient représenter les restes (bouleversés eux aussi par les explorations anciennes) d'une fermeture du dolmen se plaquant contre le parement de façade pour aveugler l'entrée. Cependant, il y a tellement de perturbations dans ce secteur qu'il ne sera pas possible de conclure sur un tel dispositif. (Le Roux rapport 1984, p. 3).

Les quelques gros moellons retrouvés sont à peu près à la même hauteur que le dallage du couloir (Cf. figure 89.22). Une première structure de trois pierres se situe dans le prolongement de l'élévation gauche du couloir ; trois autres pierres sont perpendiculaires à l'axe du couloir (Cf. figures 88.8-H, 98.3-C). Le caractère asymétrique du dispositif pose question car nous serions en attente d'une structure qui marque le prolongement des deux élévations du couloir (or il manque le prolongement de R1), jusqu'à ce qu'elle soit fermée par l'amorce des trois pierres qui restent contre le parement à droite (le blocage côté L1 est manquant). Si nous savons que R1 a subi des désordres comme nous le verrons au chapitre [3.3.3.1.], ce n'est pas le cas pour L1.

Enfin, un dispositif a été découvert à l'entrée du couloir, à gauche :

> *« une petite tablette sub-triangulaire, ménagée à hauteur d'homme par un ressaut de la maçonnerie en pierre sèche ; malgré une conservation beaucoup plus médiocre, un dispositif similaire a pu être reconnu du côté opposé » (Le Roux rapport 1980, p. 6).*

Seules les archives permettent de documenter aujourd'hui ce détail (Cf. figures 88.2-D, 88.2-F, 88.2-G, 88.8-D, 88.11-B). La restauration du monument ne l'aura pas conservé...

3.2.4.2. Le parement de façade

Le parement de façade a pu être localisé grâce à la tranchée exploratoire réalisée en M1, N1, O1 et P1. Cette structure a été reconnue en continu sur dix-huit mètres de part et d'autre de l'entrée (Le Roux rapport 1980, p. 5). La masse appuyée contre ce parement n'était pas constituée de manière homogène, de telle sorte qu'il était possible de reconnaître des zones formées de « gros blocs empilés sans ordre mais compactés par le temps, bien que très incomplètement réunis par une matrice sableuse légèrement humifère », et des zones « où le calibre des blocs était en moyenne plus faible mais surtout plus hétérogène et où la proportion de terre, elle-même nettement plus humique, [...] pouvait atteindre près de la moitié du volume total ». Plus intéressant, ces deuxièmes zones sont multiples et sont postérieures à la première. De plus, elles recoupent « à l'emporte-pièce » les parements. C'est le reflet de stratégies anciennes d'exploration du cairn. Certaines de ces explorations sont superficielles, d'autres sont très profondes et plongent presque jusqu'au niveau du sol.

Le parement de façade est composé de beaux moellons de forme « sub-tubulaire » (Le Roux rapport 1980, p. 5). Il présente une élévation verticale jusqu'à la table de couverture P1, puis un fruit pouvant atteindre jusqu'à 30°. L'angle de raccord entre ces deux profils est franc, mais cette disposition se modifie au niveau de l'entrée à cause d'un renfoncement (p. 6). La première dalle de couverture est nettement en sailli sur façade est supportée par deux orthostates encore plus proéminents (L1 et R1). Ils étaient jusque-là ennoyés dans la maçonnerie moderne de la porte installée par Z. Le Rouzic.

Un détail curieux a été remarqué au niveau de l'entrée : une petite tablette sub-triangulaire a été ménagée à hauteur d'homme grâce à un ressaut de la maçonnerie en pierre sèche. Le dispositif est symétrique (Le Roux rapport 1980, p. 6).

En 1981, il a été remarqué qu'une partie du parement de façade reposait sur une épaisseur anormale de terre humique (3 mètres de longueur, 60 centimètres de largeur et sub-parallèle à la façade). Elle est comparable aux fosses similaires découvertes sur le parvis. Le problème de leur datation se pose, mais la terre stérile qui la remplissait n'a pas fourni de clé de datation (Le Roux rapport 1984, p. 5).

À l'angle Nord-Est, le parement de façade à droite du couloir se raccorde en sifflet sur le parement interne après avoir dessiné un quart de cercle de cinq mètres de rayon (Le Roux rapport 1981, p. 5). Cependant, ce parement n'a pu être suivi que sur quelques assises. Ce sont de gros blocs bruts posés à plat sur le vieux sol (Le Roux rapport 1982, p. 8).

En limite Ouest de la fouille, c'est-à-dire quasiment sous le point P3, la coupe montre un cône s'étalant sur cinquante à soixante-dix centimètres avec une stratigraphie classique pour des éboulis, composé de bas en haut : d'amas terreux, de gros blocs correspondant à l'éboulement, puis une zone superficielle plus mélangée correspondant à un étalement (Le Roux rapport 1981, p. 6).

Le remplissage situé entre ce parement de façade et le parement interne est constitué de blocs plus petits que ceux utilisés pour le parement. Il est plutôt homogène et les pierres sont emballées dans une terre sableuse (Le Roux rapport 1982, p. 8).

Ce parement de façade repose sur un vieux sol humique, sableux et de couleur brun chocolat. L'épaisseur varie en fonction du substratum rocheux entre cinq et quinze centimètres (Le Roux rapport 1982, p. 8).

À l'angle Sud, l'état de conservation de ce parement est considéré comme meilleur que celui de l'angle Nord (Le Roux rapport 1982, p. 6). Il subsiste sur une hauteur moyenne de cinquante à quatre-vingt centimètres. À mi-distance entre l'entrée et l'angle Sud, un détail de maçonnerie est indiqué comme un « repentir » (p. 7) : c'est comme si la base de ce parement était construite en deux panneaux indépendants venant se raccorder en sifflet. Le raccord disparaît cependant entre cinquante et cent centimètres du sol.

3.2.4.3. Les parements internes

Les parements internes sont visibles dès que la couche humique est enlevée (Le Roux rapport 1980, p. 7). Leur fruit peut atteindre 30°, comme la structure de façade. Les structures s'organisent dans un premier temps parallèlement à la façade de manière à former un mur continu à environ trois mètres du parement de façade (Le Roux 1981, p. 420). Ces structures culminent à environ six mètres de hauteur et sont immédiatement qualifiées de « mur de corniche ». Des raccords en sifflet sont visibles à chacune de ces interfaces, ces structures s'enfoncent vers le cœur du monument pour former les « murs de refend ». Ils sont au nombre de trois au Sud et de deux au Nord et agencés symétriquement autour d'un noyau central. Enfin, nous inclurons dans les parements internes celui qui a été découvert en 1979 à l'occasion du sondage au dos du chevet.

En 1980, l'angle sud des parements internes n'a pas pu être atteint à cause des échafaudages d'entreprise. Leur reconnaissance s'arrête en O8 (Cf. figure 87.2), et un sondage dans le prolongement de l'autre côté de l'échafaudage n'a pas permis de retrouver la continuité (Le Roux rapport 1980, p. 7).

La destruction est imputée à la tranchée réalisée en 1885 par G. de Closmadeuc, mais il ne semble pas d'après sa description qu'elle ait été prolongée aussi loin. Peut-être est-ce plutôt le résultat d'explorations anciennes en puits. En 1983, les murs de refend à gauche du couloir ont été suivis sur une dizaine de mètres (Le Roux rapport 1983, p. 5). Ils se poursuivent parallèlement les uns aux autres, et de manière oblique par rapport à la façade. Cependant, le parement le plus interne n'a pu être suivi à cause de la fouille en cratère, mais la tranchée exploratoire de Closmadeuc a certainement dû détruire également les structures en place.

Les parements Nord ne sont qu'au nombre de deux, et ils ne sont pas parallèles. Il faut noter que cette partie est moins décrite car certainement moins fouillée, ou moins de résultats sont à rendre compte à cause de ces explorations anciennes.

Enfin, un sondage au dos de C4 a été réalisé en 1979 afin d'assurer une assise solide à la voûte de décharge (Le Roux rapport 1979, p. 3). L'excavation pratiquée de 2 x 2 mètres environ a permis d'identifier :

> *« un parement en secteur de sphère, paraissant ceindre tout le chevet de la chambre en s'appuyant sur ses angles en-dessous du niveau de la table. Ce bourrage était fait de moellons généralement de belle qualité et de forme assez plate ; la périphérie étant faite des meilleurs d'entre eux soigneusement appareillés, bien mieux même que le parement qui les moulait extérieurement de sorte que l'on peut penser que la structure originelle était en fait un massif de maçonnerie plaqué contre le chevet de la chambre, habillé ensuite par la masse du cairn ».*

Ce massif reposait sur le vieux sol par l'intermédiaire d'un lit de sable (Le Roux 1981, p. 420).

3.2.4.4. La fouille du vieux sol

La fouille du vieux sol permettra de mettre au jour plusieurs fosses, et plus particulièrement sur la partie Nord. Sous les éboulis du cairn, une couche d'humus de cinq à quinze centimètres d'épaisseur recouvre le substratum de l'île. Les fosses en revanche peuvent attaquer le plancher granitique de l'île sur quatre-vingt centimètres de profondeur (Le Roux rapport 1982, p. 10). Pour cela, les plans de diaclases ont été mis à contribution pour extraire les moellons qui permettront de compléter la construction du cairn. Des pieux en bois seront retrouvés carbonisés dans une de ces fosses (au milieu du parement Nord, distante de trois mètres). Du matériel sera concentré en deux zones : aux abords du grand foyer et réparti de manière nébuleuse ; devant l'entrée du couloir en une couronne plus dense, ce qui témoignerait de la fréquentation du couloir.

Dans la partie Sud du parvis, une auréole cendreuse dessinant un large arceau dans le vieux sol devant la façade a été confirmée et la rubéfaction des pierres de la base du cairn prises dans cette zone cendreuse montre bien le caractère brutal de l'accumulation par-dessus le foyer (Le Roux rapport 1983, p. 6).

La fosse A (quasiment circulaire) découverte en 1981 se prolonge dans la coupe de l'axe du dolmen (Le Roux rapport 1983, p. 6). La poursuite de son exploration a permis de comprendre qu'elle a été comblée par des plaquettes « jetées » depuis l'entrée du couloir. Ce remplissage était pris dans un

massif d'arène et pierraille faisant perron devant l'entrée du dolmen – ce massif repéré dès 1980 étant lui-même pris sous le parement de façade de part et d'autre de l'entrée. Il était attendu que le raccord entre ce massif et l'intérieur du dolmen soit établi, mais un vaste cratère a chamboulé toute la stratigraphie (Le Roux rapport 1984, p. 2). Cette excavation traverse toute la masse argileuse rapportée (d'une épaisseur de soixante centimètres) et attaquait le substratum rocheux pour descendre au-delà de la base de la pierre de seuil. Le remplissage était fait d'un remblai de terre humique et de pierrailles. Il est plus hétérogène que le simple remaniement des couches traversées. Il a donc dû perturber d'autres couches au-dessus, et avoir été comblé avec du tout-venant depuis une hauteur assez importante...

3.3. Interventions réalisées dans le couloir depuis 1832

Le couloir est composé de cinquante-deux orthostates répartis ainsi :

- 13 stèles pour l'élévation gauche du couloir, dont 2 pour la chambre
- 14 stèles pour l'élévation droite du couloir, dont 2 pour la chambre
- 2 stèles forment le chevet de la chambre. De cette manière, 6 stèles composent la chambre funéraire. Celle-ci se referme grâce aux deux stèles terminant le couloir.
- le sol est composé de 13 dalles
- le plafond est formé de 10 dalles

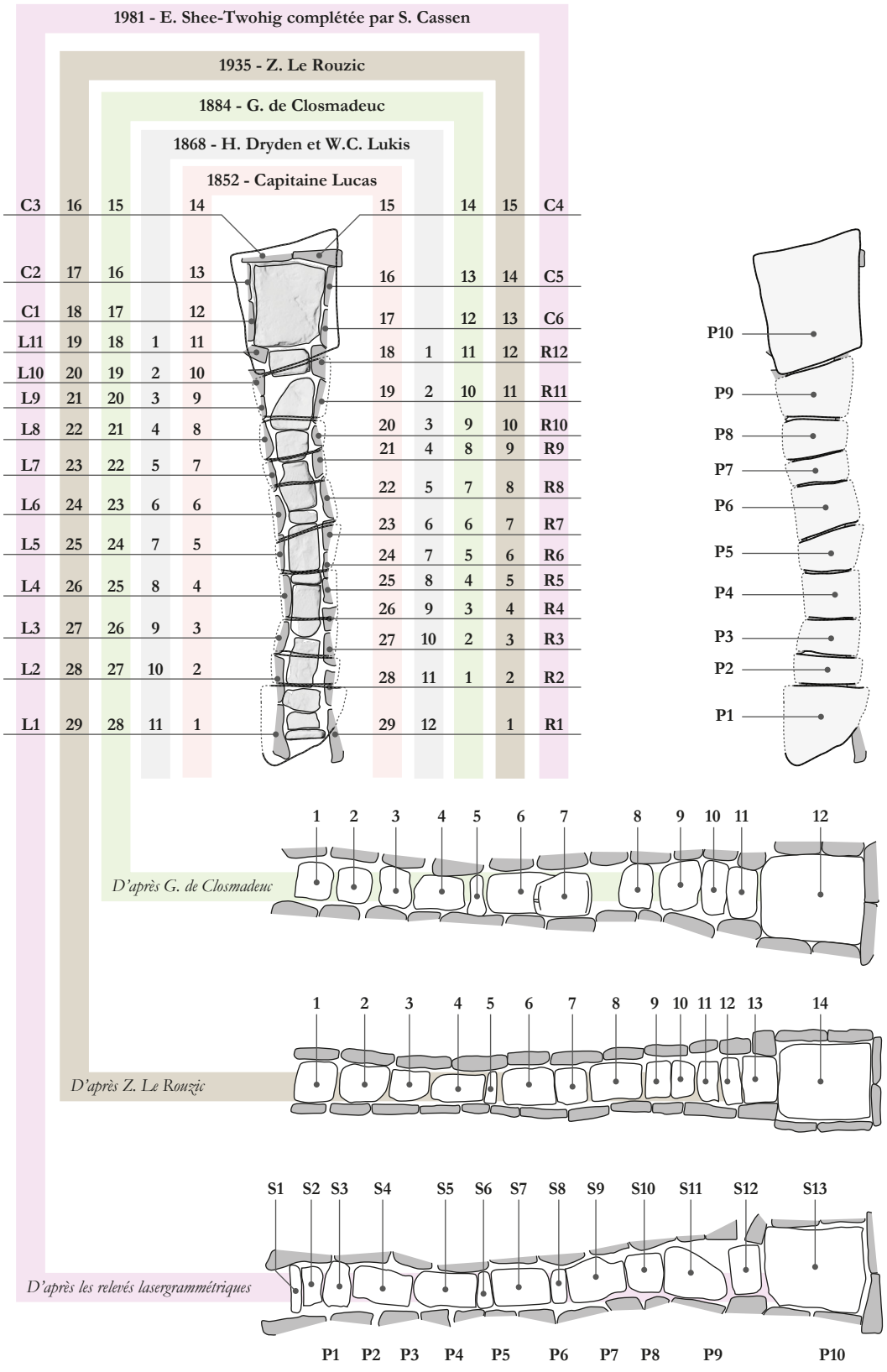
La numérotation que nous utilisons est celle mise en place par E. Shee-Twohig au début des années 1980 et complétée par nos soins (Cassen et al. rapport 2011) (Cf. figure 11). Les blocs sont classés grâce à un préfixe (R = *right* ; L = *left* ; C = *chamber* ; P = plafond ; S = sol), et numérotés dans l'ordre croissant depuis l'entrée vers la chambre – excepté pour ceux de la chambre qui le sont dans le sens des aiguilles d'une montre.

Afin de clarifier le propos et le retour aux sources, chaque stèle sera décrite individuellement et les différents systèmes de numérotation seront rappelés. Cependant, seul celui établi par E. Shee-Twohig sera utilisé par la suite.

3.3.1. Les orthostates

3.3.1.1. Élévation droite du couloir

L'élévation droite du couloir est composée de douze stèles. A cela doit s'ajouter les deux orthostates C5 et C6 qui sont dans le prolongement du couloir, mais que nous détaillerons dans la partie consacrée à la chambre funéraire (Cf. chapitre [3.3.1.3.]). Il est notable de remarquer que pour cette élévation, toutes les dalles n'ont pas toujours été reconnues depuis la découverte du couloir (Cf. figure 11). En effet, tous les auteurs identifient bien les douze stèles, sauf G. de Closmadeuc dans sa numérotation de 1884 qui ne reconnaît pas R1. Cela est d'autant plus étonnant qu'en 1876, il dénombre bien pour le couloir « vingt-trois menhirs verticaux alignés, douze à la paroi de droite et onze à la paroi de gauche,



11. Synthèse des différents systèmes de notation des éléments du couloir utilisés à Gavrinis

surmontés de neuf tables horizontales » (de Closmadeuc 1876, p. 7). Parmi les différents systèmes de numérotation mis en place par les différents auteurs, c'est la seule divergence notée quant au nombre d'orthostates composant le couloir.

- *R1 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Stèle n° 1 dans la nomenclature de M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927)

Cette première stèle R1 justement a été retrouvée fissurée sur toute la hauteur lors de la campagne de fouilles de 1983 (Le Roux rapport 1983, p. 7). L'hypothèse émise est que cet orthostate a été fragilisé lors du dégagement du couloir en 1836 suite à la déflagration d'un explosif. La conséquence aurait été cette fracture donc, et le décollement en écaille de certaines parties de la stèle. Bien que l'application de telles méthodes soit attestée au XIXe siècle pour explorer ces architectures[1], il semble néanmoins étonnant que d'autres orthostates n'aient pas subi de dégâts similaires – à moins que cet usage ait été réservé pour la partie extérieure au couloir. De plus, il ne semble pas y avoir de fractures nettes en écaille aux bords vifs qui pourraient rendre compte de cet usage (Cf. figure 127). Il est remarqué aussi que certaines parties sont piquetées, sans pour autant que des gravures aient été réalisées. L'objectif était plus d'aplanir des reliefs trop proéminents, alors que d'autres étaient jugés moins dérangeants. Bien que ce ne soit pas détaillé dans le rapport de 1983, l'identification de la colle utilisée lors de la restauration de la stèle permet de conclure qu'elle a été retrouvée brisée en trois fragments.

Lorsque Z. Le Rouzic intervient sur le couloir en 1935 pour installer une porte et contrôler ainsi l'accès au couloir, nous savons qu'il l'installe au niveau de L1 et de L2 (Cf. figure 98.1). Le dormant opposé du portillon se situe par conséquent au niveau de R1 et de R2. Comme le laisse présager ce cliché, l'installation est fixée grâce à l'emploi de ciment directement accolé contre les orthostates.

- *R5 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Stèle n° 5 dans la nomenclature de M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927)
  Stèle n° 4 dans la nomenclature de G. de Closmadeuc (1884)

Une partie du sommet de R5 est manquante, mais c'est certainement une écaille qui a sauté suite à la compression de la dalle de couverture (Cf. figure 123). Cet endroit était un peu plus fragile car le sommet de la stèle est globalement plat et incliné dans la direction opposée au couloir, vers l'arrière, de telle sorte que la partie manquante était dans une position saillante. Les gravures présentes sur la surface de l'orthostate sont interrompues nettement.

- *R6 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Stèle n° 6 dans la nomenclature de M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927)
  Stèle n° 5 dans la nomenclature de G. de Closmadeuc (1884)

À l'instar de la stèle R9, la dalle R6 est trop petite par rapport aux proportions du couloir (Cf. figure 122). Il est courant de trouver des pierres de calage pour égaliser la hauteur des différentes stèles, mais la différence ici se situe sur l'emploi d'une pierre de calage ornée et relativement plus imposante que les autres. Initialement en un seul bloc, cet élément est aujourd'hui cassé en trois morceaux sous la

1 Par exemple, le dépôt du Bernon (Arzon, Morbihan) était situé dans un champ. Afin de le dégager, il a été explosé à la poudre (Cassen et al. 2012).

compression de la dalle de couverture et de la masse tumulaire recouvrant le couloir. Cette fracture s'est produite après l'installation de la dalle de couverture puisque les éléments sont toujours en connexion comme nous pouvons le constater avec la gravure de la hache emmanchée.

- *R7 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Stèle n° 7 dans la nomenclature de M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927)
  Stèle n° 6 dans la nomenclature de G. de Closmadeuc (1884)

La stèle R7 est longtemps restée connue comme une stèle vierge de toute gravure. La nature de la roche (quartz filonien) est très dure et donc très difficile à travailler. Mais un examen minutieux de toutes les surfaces a permis de détecter des tracés très discrets réalisés par piquetage (Cf. figure 121). Un traitement particulier de photographie sous Dstretch a permis de constituer une synthèse des tracés.

Si la composition géologique des différentes stèles fait état de cinq natures de roche (Cf. le point 4.3.5.), la stèle R7 attire l'attention par l'aspect différent de la roche, et beaucoup d'auteurs le remarqueront (de Closmadeuc 1876, p. 9). Le choix de cette stèle pour la construction du couloir n'est alors peut-être pas anodin.

- *R11 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Stèle n° 11 dans la nomenclature de M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927)
  Stèle n° 10 dans la nomenclature de G. de Closmadeuc (1884)

Enfin, l'orthostate R11 possède également des gravures très difficiles à observer, mais contrairement à R7, elles ont été reconnues dès 1854 par H. Dryden, W. C. Lukis et H. S. Cooper comme le prouvent les annotations transcrites à côté du plan établi par les deux premiers (Cf. figure 117) :

> *« N°2 [R11] not carved.*
>
> *This prop has been stated by John and Frank, as well as by all authors and visitors to this spot, as uncarved, and like n°6 [R7] to be of quartz. After a carefull exam of this prop in August 1854 by myself H. Dryden and W. C. Lukis and Mr H. S. Cooper it was found to be marked very slightly with a similar design as some of the other props of this chamber. The design is better seen by holding a light on the side of the stone. »*

Traduction :

> *La stèle numéro 2 (i.e. R11) n'est pas gravée.*
>
> *John et Frank, comme tous les auteurs et visiteurs de cet endroit, ont établi que cette stèle n'est pas gravée et que comme la numéro 2 (i.e. R7), elle est en quartz [l'analyse pétrographique conclura qu'elle est en grès (Querré et Pustoc'h rapport 2013)]. Après un examen minutieux de cette surface en août 1854 par moi-même H. Dryden, W. C. Lukis et H. S. Cooper, nous avons découvert qu'elle était légèrement ornée de dessins similaires à ceux visibles sur les autres stèles de la chambre. Ces dessins sont mieux visibles en tenant la lampe sur le côté de la pierre.*

Suite à cette observation, l'équipe anglaise a très certainement inspecté toutes les autres dalles, et notamment R7, mais leurs observations n'auront pas été aussi fructueuses. En outre, tous les orthostates de cette partie du couloir sont gravés, à l'exception des deux premières dalles situées à l'entrée. Sans entrer sur le terrain de l'interprétation des signes, il faut aussi remarquer que la composition de la stèle R3 est beaucoup plus lâche et plus imprécise que toutes les autres. La réalisation du programme iconographique n'est clairement pas inscrit dans le même cercle de savoir-faire que les autres dalles ornées.

3.3.1.2. Élévation gauche du couloir

Le couloir, dans son élévation gauche, est composé de onze stèles. Toutes sont ornées, excepté les trois premières.

- *L1 et L2 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Stèle n° 28 et 29 dans la nomenclature de M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927)
  Stèle n° 27 et 28 dans la nomenclature de G. de Closmadeuc (1884)

En 1935, Le Rouzic aménage une porte à l'entrée du dolmen (Cf. figure 98.1). Sur les photos prises par Le Roux en 79, nous voyons que L1 ou L2 est maçonnée pour fixer le cadre de la porte.

- *L10 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Stèle n° 20 dans la nomenclature de M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927)
  Stèle n° 19 dans la nomenclature de G. de Closmadeuc (1884)

Le déplacement de S12 par G. de Closmadeuc lui permet de constater que les gravures de L10 se poursuivent bien en dessous du dallage, et que la tranche orientée vers la chambre est ornée également de chevrons (de Closmadeuc 1884). D'après son dessin, ces motifs occupent à peu près les deux tiers centraux de la hauteur de la stèle (Cf. figure 108). La partie inférieure du motif en chevrons commencerait également au même niveau que les dessins de la face composant le couloir. Ces motifs ont été vus une nouvelle fois en 1981 lors de la dépose de la dalle de sol S12 et du sondage réalisé par la même occasion par C.-T. Le Roux. Cependant, il ne semble pas aujourd'hui que les gravures se poursuivent sous le niveau du dallage actuel...

- *L11 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Stèle n° 19 dans la nomenclature de M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927)
  Stèle n° 18 dans la nomenclature de G. de Closmadeuc (1884)

Ce même sondage a permis d'explorer en même temps le pied de L11. L'élévation totale de la stèle a pu être observée, mais malheureusement, aucune photo ne renseigne cet état. Seul un cliché est jugé exploitable pour visualiser le pied de la stèle (Cf. figure 109), et nous pouvons constater que les gravures continuent sous le dallage.

Lors du déblaiement du couloir en 1834, G. de Closmadeuc – après avoir interrogé M. Cauzique – rapporte que « l'une des larges dalles qui forment le plancher à l'entrée de la chambre avait été soulevée. [...] C'est en soulevant la dalle qu'ils avaient fait culbuter un des montants verticaux de la paroi correspondante. M. Cauzique constata ce désordre, redressa le menhir, qu'il cala à l'aide d'un coin en chêne qu'on y voit encore, et replaça la dalle » (de Closmadeuc 1876, p. 5).

En 1979, l'équipe de C.-T. Le Roux préparait la future restauration en construisant la voûte de décharge au-dessus de la dalle de couverture P10. Afin d'asseoir la structure, il a fallu s'assurer de la solidité de ses fondations et deux faiblesses ont été identifiées : l'une se situe derrière le chevet, l'autre derrière L11 et la dalle C1. Cette dernière zone correspond au premier accès au couloir, juste après sa découverte. La structure tumulaire a été perturbée sur toute la hauteur de la stèle à cet endroit puisque les bouleversements se sont arrêtés à environ quatre-vingt centimètres en-dessous du dallage – or, G. de Closmadeuc a annoncé en 1884 que le plancher granitique de l'île se situe à environ un mètre sous la face supérieure des dalles de sol (de Closmadeuc 1884). C'est à l'occasion de ce sondage que de nouvelles gravures ont été identifiées sur la tranche gauche de L11 (Le Roux 1982).

Toujours la même année en 1982, alors que les équipes fouillaient le parvis à gauche du couloir, trois blocs gravés ont été découverts. L'un d'entre eux correspond à l'arrête cassée située sur l'élévation gauche de la face constituant le couloir. L'origine du détachement de ce morceau est inconnu : est-il contemporain du redressement de la stèle par M. Cauzique ou antérieur ? Ce fragment n'a pas encore été retrouvé, et la représentation renouvelée de L11 n'est actuellement pas complète.

Les autres orthostates ne semblent pas avoir connu d'événement remarquable depuis la construction du couloir.

3.3.1.3. Les orthostates de la chambre

La chambre de Gavrinis est composée de six orthostates regroupés par deux pour former les parois latérales droite, gauche, et le chevet. Cet espace se distingue du couloir par une largeur plus importante.

- *C1 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Stèle n° 18 dans la nomenclature de M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927)
  Stèle n° 17 dans la nomenclature de G. de Closmadeuc (1884)

L'interstice entre L11 et C1 constituait la seule entrée du dolmen avec le dégagement du couloir. Si nous ne savons pas jusqu'à quel niveau se situaient les matériaux de comblement, nous pouvons facilement imaginer que les aspérités et le moindre relief pouvait servir d'appui pour s'extraire de la cavité, ce qui a pu provoquer des érosions. L'anfractuosité à la surface de C1 et les anneaux en légère protubérance sont particulièrement bien positionnés pour aider à sortir du dolmen.

Il faut également souligner que cet aménagement à la surface de cette stèle aura énormément attiré l'attention.

- *C3 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Stèle n° 16 dans la nomenclature de M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927)
  Stèle n° 15 dans la nomenclature de G. de Closmadeuc (1884)

La stèle C3 (Cf. figure 112) compose la partie gauche du chevet. Dans la partie droite, une écaille s'est décollée et avec elle une fraction des gravures. Il s'agit là d'une fracture postérieure à la découverte du couloir mais la date n'est pas connue. La dalle est effectivement représentée dans son entièreté par M. Lucas. Ce fait est rapporté par C.-T. Le Roux en 1983 (Le Roux rapport 1982, p. 15) sans détailler

l'auteur, la date et la cause de cet accident. Ce morceau a depuis été perdu selon C.-T. Le Roux. Nous ne pouvons qu'admirer la manière dont les deux dalles de chevet se joignent sur toute la hauteur.

- *C4 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Stèle n° 15 dans la nomenclature de M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927)
  Stèle n° 14 dans la nomenclature de G. de Closmadeuc (1884)

La stèle C4 (Cf. figures 113), la seconde dalle formant le chevet a, à l'instar de L11, bénéficié d'un sondage pour les mêmes raisons : la zone située à l'aplomb de cette stèle présentait trop de faiblesses pour pouvoir asseoir correctement la voûte de décharge censée protéger la face supérieure de la dalle de couverture P10. Un sondage a permis d'explorer les structures en place sur une surface de 2 x 2 mètres. Un parement en « secteur de sphère » a été mis à jour. En réalité, il semble qu'il faille davantage comprendre un parement ayant un profil en quart de disque venant mourir juste en-dessous de la dalle de couverture. L'intervention a été provoquée par le tassement du bourrage. Du haut vers le bas, la structure était successivement composée d'un « remplissage de beaux moellons, de forme assez plate et soigneusement appareillés » ; eux-mêmes reposaient à partir du niveau du dallage de la chambre sur un lit épais de « beau sable blanc à grain moyen » ; et enfin sous ce sable, « un vieux sol très brun parfaitement conservé » et « épais d'une dizaine de centimètre ». Tout cela reposait sur un substratum rocheux entaillé par un fossé de fondation de quarante centimètres de profondeur et présentant une largeur de cinquante centimètres depuis la dalle de chevet. Les stèles reposent au fond de cette saignée et sont légèrement calées par de petites pierres coincées à force. Ce sondage a permis de découvrir de nouvelles gravures au dos de C4. Un accès a été conservé et c'est ainsi que nous avons pu acquérir l'épaisseur de la stèle.

- *C5 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Stèle n° 14 dans la nomenclature de M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927)
  Stèle n° 13 dans la nomenclature de G. de Closmadeuc (1884)

Enfin, l'orthostate C5 (Cf. figures 114) a le sommet qui a été volontairement arasé pour qu'il puisse s'adapter à la configuration spatiale de la chambre. La stèle est donc soit plus grande que toutes les autres, soit elle repose sur un sol inégal et plus haut à cet endroit. Il est difficile de trancher sur ce point.

Les stèles C2 et C6 ne semblent pas avoir connu d'épisode marquant.

3.3.2. Les dalles de couverture

Les dalles de couverture sont au nombre de dix, et deux d'entre elles sont ornées.

- *P2 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*

C'est Z. Le Rouzic qui a identifié les motifs en 1935 (le Rouzic 1935) et il en réalisera un estampage (Cf. figure 128). Les gravures sont situées dans l'interstice entre les dalles P1 et P2, de manière à ce que si P1 est absente, les motifs deviennent parfaitement visibles.

Les dalles P1, puis numérotées de P3 à P8 n'ont pas connu d'événement remarquable, excepté les grands efforts de mise en forme comme nous pouvons le constater sur les représentations (Cf. figures 128 à 130).

- *P9 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*

Bénéficiant de l'aménagement de la voûte de décharge installée au-dessus de la dalle de couverture, une partie de la face supérieure de P9 est accessible. De cette manière, le profil de cette dalle est globalement connu (Cf. figure 131).

- *P10 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*

L'énorme dalle de couverture P10 est gravée également (Le Roux 1985) (Cf. figure 132). Les motifs n'ont été découverts qu'en 1984 à la fin du chantier de construction. Pendant toute la durée des travaux et alors que la voûte de décharge est construite en 1979, la face supérieure ne sera pas nettoyée afin de protéger sa surface. Les gravures incomplètes et identifiées permettent de conclure qu'il s'agit du morceau d'une stèle beaucoup plus imposante dont la pièce située juste en-dessous constitue la dalle de couverture de la chambre de la Table des Marchands à Locmariaquer. Bien que ce n'était pas le rôle initial de la voûte de décharge construite en 1979, il est aujourd'hui possible d'accéder à ces gravures.

3.3.3. Les dalles de sol

Le sol du couloir de Gavrinis est aujourd'hui connu pour être composé de treize dalles de taille différente. Il n'en a pas toujours été ainsi et cette partie du monument, pourtant fouillée à plusieurs reprises, a connu différents systèmes de numérotation (Cf. figure 11).

Dès l'excavation du couloir en 1836, M. Cauzique fait part à P. Mérimée les emmarchements formés par les dalles de sol montrent une progression montante de l'entrée vers la chambre funéraire. Ce ne sont pas moins de quatre marches inégalement espacées qui sont ainsi évoquées (de Closmadeuc 1876, p.7 ; Mérimée 1836, p. 262). En 1852, l'information est décrite dans une coupe établie par le capitaine du Génie en chef Lucas (Cf. figure 92). Il s'agit – avec les plans et coupes de H. Dryden et W. C. Lukis réactualisés par G. de Closmadeuc – de la seule description graphique que nous ayons pour retrouver la disposition des dalles avant les campagnes de fouilles des années 1884 et 1886.

Après comparaison des différentes sources, il est possible de retrouver la répartition des dalles selon les paliers, et nous en profiterons pour retracer l'histoire de chacune de ces dalles

3.3.3.1. Palier numéro 1

Le premier palier est composé des dalles S1 à S4.

- S1 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)

Cette dalle très peu large est la dernière à avoir été reconnue. G. de Closmadeuc et Z. Le Rouzic ne l'identifient pas dans les plans qu'ils dressent et publient respectivement en 1886 et 1935, mais

C.-T. Le Roux ne dit pas l'avoir découverte dans les années 1980. Elle a donc probablement refait surface entre les années 1930 et 1980, lorsque le Conseil Général du Morbihan devenu propriétaire du monument (en 1961) réalise des aménagements pour accueillir un flot de plus en plus important de visiteurs. Néanmoins, aucune intervention à cette date ne semble avoir été portée autour de l'entrée du couloir car le dispositif de fermeture mis en place par Z. Le Rouzic n'a été remanié qu'en 1980 par C. T. Le Roux. Elle aura toutefois bénéficié d'une fouille de part et d'autre en 1984 permettant de comprendre la volumétrie de cette dalle. Elle est posée sur le chant et forme par conséquent un seuil entre l'intérieur et l'extérieur du couloir (Le Roux rapport 1984, p. 3).

- *S2 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Dalle 1 dans la nomenclature M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927) et de G. de Closmadeuc (1884)

Longtemps considérée comme la première dalle du monument, elle a selon G. de Closmadeuc déjà été déplacée une vingtaine d'années avant son intervention de 1884. Constatant que la surface plane était la face cachée, il en déduit qu'elle a été retournée et remise à l'envers. Nous pouvons en déduire qu'il reproduisit l'opération inverse afin qu'elle retrouve selon lui sa vraie position (de Closmadeuc 1884, p. 185).

Elle sera de nouveau déplacée exactement un siècle plus tard par C.-T. Le Roux afin de pouvoir comprendre la relation stratigraphique entre l'intérieur du couloir et l'extérieur du cairn (Le Roux rapport 1984, p. 4).

- *S3 et S4 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Dalle 2 et 3 dans la nomenclature M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927) et de G. de Closmadeuc (1884)

Ces deux dalles ont également été déplacées par G. de Closmadeuc en 1884, mais le même constat a été fait quant à la constitution du remplissage sous le dallage (de Closmadeuc 1884, p. 185). Cette zone apparaît particulièrement fragmentée aujourd'hui, mais la raison n'a pas pu être expliquée par le nettoyage réalisé en 2013. Nous savons néanmoins que S3 a été de nouveau déplacée comme S2 par C.-T. Le Roux (Le Roux rapport 1984, p. 4).

3.3.3.2. Palier numéro 2

Une seule dalle compose cette plate-forme : S5

- *S5 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Dalle 4 dans la nomenclature M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927) et de G. de Closmadeuc (1884)

Ce bloc aura été le premier à avoir été déplacé par G. de Closmadeuc. Sa longueur (environ deux mètres) a rendu la tâche périlleuse et délicate (de Closmadeuc 1884, p. 182). C'est la seule intervention attestée sur cette pierre.

3.3.3.3. Palier numéro 3 et 4

Les auteurs du XIXe siècle ont distingué ici deux paliers, mais la lecture du monument aujourd'hui permet de les réunir. Cela concerne les dalles numérotées de S6 à S11. S9 a été vue comme formant un

seuil, mais elle n'était pas dans sa position d'origine. Le couloir a été alors décrit comme si le troisième palier était composé de S6 et S7 (S8 n'étant alors pas connue) ; et le quatrième de S9, S10 et S11.

- *S6 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Dalle 5 dans la nomenclature M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927) et de G. de Closmadeuc (1884)

S6 n'a jamais été déplacée, mais explorée des deux côtés. Elle est étroite, descend jusqu'au plancher rocheux et forme ainsi une « cloison ». Les deux côtés ont été vus par G. de Closmadeuc qui s'interroge sur la raison de la position de cette dalle (de Closmadeuc 1884, p. 185). A l'instar de S1, elle est posée sur le chant et marque ainsi un seuil dans la structure du couloir.

- *S7 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Dalle 6 dans la nomenclature M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927) et de G. de Closmadeuc (1884)

S7 était partiellement recouverte par S9 jusqu'en 1884. Après le dégagement de celle-ci, G. de Closmadeuc l'extraira de son emplacement. À son désespoir, elle ne recouvrait aucun aménagement spécial que pouvait laisser sous-entendre la cloison S6 (de Closmadeuc 1884, p. 185).

- *S8 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*

Entièrement recouverte par S9 jusqu'à la fouille de 1884, c'est G. de Closmadeuc qui la mettra au jour, bien qu'il ne la mentionne pas dans son rapport. L'étroitesse de sa forme en surface nous permet de la comparer avec les blocs S1 et S6 qui sont posés sur chant et forment un seuil. S8 appartiendrait-elle à la même catégorie ? La question reste ouverte car C.-T. Le Roux constate en 1984 que les fouilles de G. de Closmadeuc n'ont pas été très « minutieuses » au sujet du sondage réalisé au niveau de S1 et S2 (Le Roux rapport 1984, p. 4) et il est alors possible qu'il n'ait pas exploré à la verticale la jonction entre S7 et S8, passant de cette manière à côté d'une paroi verticale.

G. de Closmadeuc explique également que les dalles, « une fois soulevées à l'aide de leviers », étaient « glissées sur des rouleaux de bois [pour] les faire cheminer lentement, à petits coups, dans l'axe de la galerie ». L'objectif étant de « ne pas butter contre les supports », nous pouvons douter du fait que les dalles aient été sorties du couloir en raison de son étroitesse et des variations de sa largeur. Les soupçons se confirment dans le cas de S12, G. de Closmadeuc indique que la dalle a simplement « été poussée dans l'allée » (de Closmadeuc 1884, p. 183). Par conséquent, S7 a-t-elle été déplacée vers S6 ou S8 ?

L'archéologue savait déjà que S6 descendait jusqu'au sol granitique de l'île. Déplacer S7 vers S6, au risque de ne pas pouvoir dépasser complètement cette dalle de seuil aurait pu apporter des complications dans la manœuvre. Déplacer S7 vers S8 permettait en revanche d'assurer l'exploration de la tranche de S6 plus confortablement. C'est sûrement ce qu'il a fait et c'est ce qui a sûrement contribué à l'anonymat de S8 jusqu'à ce que Z. Le Rouzic ne refasse le relevé du couloir en 1927.

Bien qu'aucune observation directe ne puisse étayer cette hypothèse, il est probable que S8 soit une dalle de seuil au même titre que S1 et S6. Ce postulat peut s'appuyer sur le fait que S8 est située entre L6 et R8, et que c'est à cet endroit précis que le couloir présente un changement de direction (Cf. figure 97.2), faisant ainsi état d'une première phase de construction du cairn.

- *S9 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Dalle 7 dans la nomenclature M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927) et de G. de Closmadeuc (1884)

S9 est l'une des deux dalles de sol gravée, et aussi l'une des deux qui a été déplacée avant la découverte du couloir. C'est G. de Closmadeuc qui constate l'espace de soixante-deux centimètres entre elle et la suivante, S10. Ce déplacement ne permettait pas de dégager tout l'espace qu'elle occupait car elle a buté sur un passage plus étroit du couloir. De la même manière, l'archéologue ne tentera pas de la déplacer davantage, seule la zone de soixante-deux centimètres sera vidée de son contenu (de Closmadeuc 1884, p. 185). De cette manière, nous pouvons conclure que la tranche de S8 orientée vers la chambre n'a jamais été dérangée et que le remplissage date du Néolithique.

- *S10 et S11 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Dalle 9, 10, 11 et 12 dans la nomenclature M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927)
  Dalle 8, 9 et 10 dans la nomenclature de G. de Closmadeuc (1884)

À la vue de la numérotation des dalles de cette zone, c'est la partie du couloir qui est restée incertaine le plus longtemps. G. de Closmadeuc place ici trois éléments, alors que Z. Le Rouzic en dénombre quatre. Ce flou vient du fait que les dalles n'avaient pas été complètement nettoyées lors du dégagement du couloir et étaient donc restées longtemps recouvertes par une certaine épaisseur de remblais. C'est ce qui aura permis la conservation d'une lentille de sédiments au creux de L11 dans laquelle un charbon a pu fournir une date au C14 permettant d'attester une fréquentation Néolithique du couloir entre -3 964 et -3 773 en dates calibrées.

L'espace triangulaire entre S11, S12 et L10 n'est pas un trou dans le dallage. S11 se prolonge très certainement sous le remblai. Le nettoyage de 2013 n'avait pas pour objectif de fouiller cette zone, mais bien de nettoyer en surface le dallage pour permettre un enregistrement photogrammétrique du dallage.

3.3.3.4. Palier numéro 5

La dernière marche est composée des deux dalles S12 et S13.

- *S12 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Dalle 13 dans la nomenclature M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927)
  Dalle 11 dans la nomenclature de G. de Closmadeuc (1884)

S12 est incontestablement la dalle de sol qui aura été la plus manipulée au cours de son histoire, très certainement en raison de son ornementation rappelant celle des orthostates. Quand le couloir a été vidé de son remblai, elle n'était manifestement plus en place selon M. Cauzique (de Closmadeuc 1876, p. 5). Elle aura été légèrement surélevée par ce dernier de manière à former un seuil suffisamment perceptible pour être décrit graphiquement par Lucas en 1852 (Cf. figure 92) et le duo Sir H. Dryden et W. C. Lukis en 1868. C'est aussi à ce niveau du couloir que P. Mérimée a pu « enfoncer un bâton à une assez grande profondeur » (Mérimée 1836, p. 270) et supposer de cette manière l'existence d'une cavité inférieure. S12 sera de nouveau délogée très précautionneusement (utilisation de leviers en bois) par G. de Closmadeuc en 1884 et les gravures sur les tranches auront ainsi pu être décrites pour

la première fois (de Closmadeuc 1884, pp. 182-184). La dalle sera de nouveau déplacée deux ans plus tard par le même auteur afin d'accéder à l'espace sous la dalle S13 (de Closmadeuc 1886, p. 65). Enfin, le dernier déplacement attesté de S12 a eu lieu en 1981 par la dépose de S12 et son remplacement par un moulage. Cela permet de conserver les gravures qui s'effaçaient de plus en plus sous le pas des visiteurs. L'orignal est maintenant conservé au dépôt archéologique de Vannes.

- *S13 dans la nomenclature de S. Cassen et al. (2011)*
  Dalle 14 dans la nomenclature M. et S.-J. Péquart – Z. Le Rouzic (1927)
  Dalle 12 dans la nomenclature de G. de Closmadeuc (1884)

La dernière dalle de sol occupe toute la surface de la chambre. Il est étonnant de constater que l'espace séparant cette dalle des orthostates est minime (en moyenne inférieure au centimètre). Par conséquent, il a été impossible de déplacer cette dalle, mais l'espace en-dessous a tout de même été exploré en 1886 en déplaçant la voisine S12. Lors de cette opération, S13 a été étayée puissamment par de forts poteaux en sapin. L'épaisseur de la dalle est au moins de trente-quatre centimètres. Après avoir vidé ce volume et exploré ces quelques quatre mètres cubes de matériaux, les maçons ont construit « quatre murets de soutènement en pierres sèches épais de soixante-dix centimètres, parallèles et accolés aux parois, et montant du sol à la dalle qu'ils devaient supporter » (de Closmadeuc 1886, p. 68).

3.3.3.5. Conclusion

À l'issu de cet examen historiographique des différentes dalles composant le sol, il apparaît que G. de Closmadeuc n'a pas déplacé tous les blocs, contrairement à ce qui est couramment admis. Il existe toujours quelques réserves archéologiques, de telle sorte qu'il est envisageable de recueillir de nouvelles informations s'il était décidé de soulever des zones d'ombres que nous ne sommes pas parvenus à éclaircir. Les secteurs vierges de toute intervention sont localisés sur la figure 12.

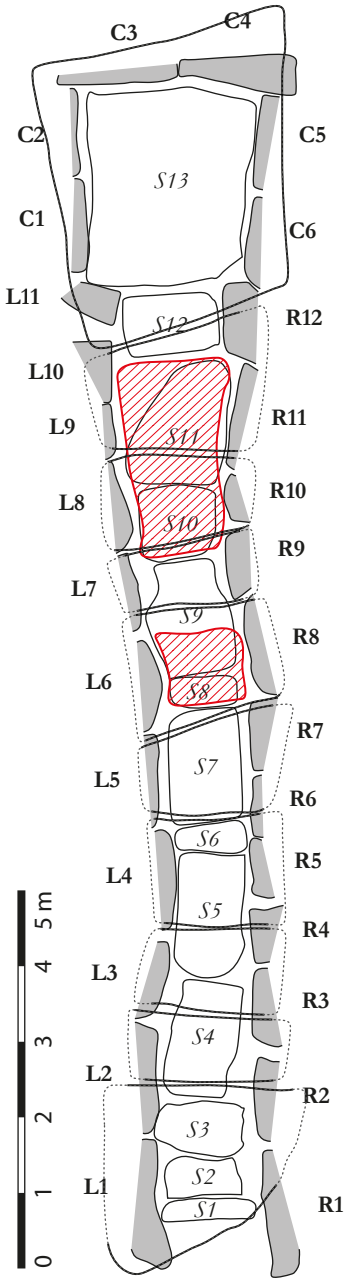
3.3.4. Les matériaux trouvés sous les dalles de sol

G. de Closmadeuc étant le seul à avoir fouillé sous la plupart des dalles de sol de Gavrinis, il a fourni par la même occasion une description de ce qu'il a trouvé sous le dallage (de Closmadeuc 1884). Il est relativement prolixe pour la description de la première dalle qu'il a soulevé, la numéro quatre dans sa nomenclature et que nous reconnaissons sous le nom de S5 :

> *« La dalle ne posait pas sur le sol, mais sur une sorte de lit de pierrailles, de terre et de sable, tassés, que nous avons extrait, en ayant soin d'examiner attentivement et de tamiser à la main tous ces déblais, que nous accumulions dans la galerie » (p. 182).*

Et un peu plus loin, il continue :

> *« nous avons ainsi déblayé, au-dessous du niveau du dallage, en rasant la surface des menhirs-supports, jusqu'au fond, c'est-à-dire jusqu'au sol naturel. Le remplissage était partout composé de pierrailles, de terre et de sable, d'où nous n'avons extrait que quelques fragments de poteries celtiques, deux ou trois éclats de silex et des débris de coquillages. A un mètre de profondeur, nous avions le sol granitique de l'île ».*



12. Identification des réserves archéologiques dans le couloir de Gavrinis

Quant à la relation entre les stèles et le sol naturel de l'île, il indique que « les menhirs-supports de la galerie [...] venaient s'appliquer directement sur le roc, calés seulement par quelques pierres de moyenne grosseur ».

Quand il porte les efforts sur la onzième dalle (S12), la même composition du sol est remarquée :

> *« il y avait là également un espace rempli jusqu'au sol, de pierrailles et de terre, parsemées de rares fragments de poteries et de coquillages. Parmi ces derniers se trouvaient des valves d'huîtres et des buccins » (de Closmadeuc 1886, p. 184).*

Ces coquillages ont été trouvés au nombre de cinq ou six débris. Or nous savons que S12 n'était plus en place quand le couloir a été déblayé. En l'absence d'une stratigraphie précise, leur origine néolithique peut néanmoins être supposée car d'autres coquillages seront découverts sous S13.

Les mêmes observations se répètent pour les trois premières dalles (S2, S3 et S4 – p. 186) la dalle numéro six (S7 – p. 185), numéro sept (S9 – p. 185) – mais à la différence que le sol ne se situe qu'à 65 cm et non plus à un mètre pour cette dernière. La même relation entre les stèles et le sol naturel est également observé.

En 1886, G. de Closmadeuc interviendra de nouveau dans le couloir au niveau de S12 et S13 (de Closmadeuc 1886). Il commence par récapituler les observations précédentes et apporte quelques précisions :

> *« Nous avions vidé complètement le contenu de l'espace intermédiaire, entre le sol et les dalles, sans y trouver autre chose que de rares fragments de poteries sans importance, quelques morceaux de quartzite rosé, des parcelles de charbon, et cinq ou six débris de coquilles d'huîtres et de buccins » (pp. 63-64).*

Une fois l'espace sous-dallaire de la chambre complètement vidé, les fouilleurs constatent qu'il :

> *« n'était rempli que de terre noirâtre, de pierres tassées, parsemées de quelques débris de poterie, de parcelles de charbons, de petits cailloux roulés, de fragments de quartzite rosé et de cinq ou six coquilles d'huîtres de buccins » (p. 66).*

3.4. Le mobilier

3.4.1. Mobiliers découverts avant 1979

Lorsque le couloir a été déblayé de son remplissage, aucun objet significatif ne semble avoir été découvert. Mais à cette affirmation, il faut associer le fait que M. Cauzique n'avait pas pour intention de répertorier minutieusement les observations faites par ses ouvriers.

Aux alentours du tumulus, des lames de haches polies ont été retrouvées dès la première moitié du XIXe siècle (de Closmadeuc 1876, p. 5). Elles avaient été découvertes par les fermiers qui les montraient aux visiteurs curieux.

Lorsque G. de Closmadeuc entreprend de fouiller sous les dalles de sol du couloir, il y découvre notamment « quelques fragments de poteries celtiques » (l'association de cette architecture avec les Gaulois est encore très forte à la fin du XIXe siècle), quelques « éclats de silex et des débris de coquillages » (de Closmadeuc 1884, p. 182). Ces coquilles sont décrites comme celles d'huîtres et de buccins, et les mêmes éléments seront retrouvés sur tous les sondages réalisés en cette fin du XIXe siècle. Ces éléments ne seront pas étudiés davantage.

Les principales pièces seront découvertes lors de la campagne de fouilles menées par C.-T. Le Roux entre 1979 et 1984. Les objets seront listés ici par ordre chronologique de découverte et sectorisés afin de mettre en évidence des liens chronologiques entre les structures découvertes et ces objets.

3.4.2. Les campagnes de fouilles 1979-1984

3.4.2.1. Année 1979

En 1979, un sondage est pratiqué au dos de L11. Les ouvriers recueillirent quelques tessons dont un fragment de bord de marmite en céramique « onctueuse » médiévale au fond du sondage (Le Roux rapport 1979, p. 3). Un accès à la chambre est donc attesté dès le Moyen-Âge, entre le XIe et le XIVe siècle puisque ce type de céramique est caractéristique de cette période (Giot et Querré 1987).

La même année, un bloc isolé a également été découvert, de forme « sub-prismatique », aux surfaces piquetées et avec une face gravée dans le style « Gavrinis ». Il a été retrouvé au sommet du cairn, dans le cratère (Le Roux rapport 1979, p. 5).

3.4.2.2. Année 1980

En 1980, une tranchée exploratoire est réalisée et les principales structures du cairn sont découvertes (Cf. figure 87.2). Parmi le matériel moderne retrouvé (Le Roux rapport 1980, p. 10), de nombreux débris d'amphores datables des environs du début de l'ère chrétienne, des fragments d'écuelle noire lustrée proche de la tradition gauloise, ou encore des fragments d'une marmite médiévale en terre onctueuse sont notamment mis à jour. Le site semble donc avoir été fréquenté à toutes les époques. En revanche, les éléments ne sont pas situés dans la description.

Dans les couches les plus basses, quelques tessons, mais un seul est réellement identifiable. Il se situait au pied du parement de façade (en N9). C'est un petit morceau de col éversé à bord roulé portant un fragment de décor au pointillé de style chasséen. Les autres tessons ont été reconnus comme appartenant au Néolithique grâce à leur pâte relativement caractéristique. Enfin un « mini-ciseau » poli en fibrolite blanche long de quatre centimètres. Il a été trouvé dans le carré numéroté P9, dans les pierrailles remaniées qui comblaient le cratère ancien.

C.-T. Le Roux conclue la liste du mobilier en analysant leur répartition. Les objets retrouvés jusqu'à la date de la rédaction du rapport de 1980 dans le cratère sont médiévaux pour les plus anciens. En revanche, sur le parvis, les artefacts remontent à l'antiquité romaine, voire à la fin de la tradition gauloise. Il remarque que certains fragments de céramique gallo-romaine se situent dans la masse du cairn, au-delà du parement de façade identifié.

3.4.2.3. Année 1981

Les fouilles reprennent en 1981 et se donnent pour objectif d'explorer la partie droite du parvis. Le vieux sol ne sera pas atteint, freiné dans leur progression par la découverte de pieux en bois, leur dégagement nécessitant beaucoup de précautions. Concernant les artefacts de la période historique, C.-T. Le Roux insiste sur le « saupoudrage général du site par les débris d'amphores, de *tegulae* et de céramiques modernes ». Ces éléments ne sont pas détaillés dans ce rapport car en cours d'étude. Les résultats de l'étude de la céramique néolithique sont en revanche déjà connus, et l'inventaire fait état de nombreux vases (Le Roux rapport 1981, pp. 12-14). Leur concentration est bien plus forte sur le parvis que dans l'angle Nord-Est. Le même constat est fait sur la répartition des haches : une hache dans l'angle, et trois sur le parvis. À cela s'ajoute une hache découverte dans le dolmen au pied de L11 lors du sondage réalisé en même temps que le dépôt de la dalle S12.

De très nombreux dreikanters ont été trouvés sous la forme d'éclats de débitage et de blocs plus ou moins décortiqués et plus ou moins fortement utilisés comme percuteurs au niveau du parvis (p. 16). Cette concentration est jugée exceptionnelle pour le sud de la Bretagne car plusieurs dizaines de kilogrammes ont été retrouvés ici alors que ces objets sont plutôt rares d'après l'auteur.

Quelques silex ont également été rencontrés sous la forme d'éclats de débitage, de tête de flèche tranchante, ou de lame.

Enfin, il faut signaler la découverte du dormant d'une meule romaine (la *meta*) à l'angle Nord-Est du cairn, confirmant l'implantation romaine sur le site (p. 17).

3.4.2.4. Année 1982

En 1982, l'action porte sur le dégagement total du vieux sol pour la partie droite du parvis, et la poursuite du dégagement de la partie gauche laissée en attente à la fin de l'année 1980. L'angle Sud de la façade sera également mis au jour.

La fin du dégagement de l'angle Est n'apportera que peu de matériaux néolithiques complémentaires. En revanche une zone remaniée a fourni une petite série de céramique gallo-romaine ainsi que la partie courante de la meule découverte l'année précédente (le *catillus* – p. 17).

Le décapage complet du parvis à gauche de l'entrée permet de mettre en évidence des fosses. Celles-ci sont particulièrement riches de percuteurs et de dreikanters (p. 16). L'hypothèse déjà formulée les années précédentes est reposée avec plus d'insistance par l'auteur : s'agit-il des percuteurs utilisés pour réaliser les gravures dans le cairn ?

Reprenant la partie Sud du parvis après l'avoir laissée en attente, énormément d'artefacts romains et médiévaux sont découverts, et plus particulièrement en périphérie des éboulis (carré L9 – p. 13). La plupart de la céramique néolithique est concentrée au pied des parements, ce qui correspond à une stratigraphie cohérente. Mais avant d'y parvenir, une lame de hallebarde datée de l'âge du bronze ancien (270 x 75 x 18 mm) a été découverte dans le carré N7. Il s'agit du seul artefact correspondant à cette période. Enfin, trois blocs sculptés ont été trouvés (p. 14). Parmi ceux-ci, l'un d'entre eux s'avère recoller parfaitement à l'arrête en chanfrein de L11 (sur le côté gauche de l'élévation du couloir). Leur altimétrie dans les éboulis n'est malheureusement pas détaillée, ce qui ne permettra pas de déterminer quand il a été extrait du couloir.

L'angle Sud du cairn fournira également son lot de tessons gallo-romains, médiévaux et modernes, mais seul un éclat de silex remonte au Néolithique (p. 13).

3.4.2.5. Année 1983

L'objectif de la campagne de 1983 consiste à finir le décapage du parvis situé à gauche de l'entrée et de dégager complètement l'angle Sud du cairn. De nombreux fragments d'amphores gallo-romaines et médiévales sont identifiés un peu partout en surface, en périphérie et en milieu remanié (Le Roux rapport 1983, p. 9).

Concernant le matériel néolithique, une grande quantité de percuteurs continue à être identifiée (p. 9). Mais cette fois-ci, il n'y a pas d'effet de concentration aussi nette que pour le côté droit. Le reste du matériel lithique est composé de flèches tranchantes et de lames. La céramique ne sera guère plus prolixe (p. 11) avec seulement un bol hémisphérique, quelques fragments d'un grand vase, et un petit fragment de bord éversé à lèvre arrondie.

3.4.2.6. Année 1984

En 1984, les travaux se sont concentrés sur l'établissement de relations stratigraphiques dans un premier temps au niveau de l'entrée du couloir (une relation entre la stratigraphie observée sur le

parvis et le dallage du couloir), et dans un second temps entre une fosse en partie comblée par un parement de façade. L'objectif de ce deuxième chantier est de réduire l'incertitude chronologique concernant les différentes fosses observées sur le parvis (Le Roux rapport 1984). A l'absence claire de réponse posée s'ajoute une extrême dispersion des fragments de céramique au niveau de l'entrée, et les reconstructions ne sont pas suffisamment précises pour reconnaître les objets. Un très grand vase de trente centimètres de diamètre est néanmoins identifié (p. 4), sans pour autant pouvoir le dater car la technique de fabrication ne coïncide pas avec celles habituellement employées par les groupes néolithiques anciens et le décor contraste trop avec les exemples disponibles. Enfin, il a été retrouvé dans un contexte fortement bouleversé – et ce dès le néolithique pour la construction du monument. Des éclats de dreikanters sont aussi identifiés, mais leur position stratigraphique est également incertaine. Toujours au niveau de l'entrée, mais sous le dallage du couloir cette fois, une lame de hache en fibrolite a été retrouvée ; la quatrième de ce type.

La fosse, quant à elle, était remplie de terre humique stérile, et n'a par conséquent pas pu fournir les réponses attendues pour aider à leur datation.

3.5. Conclusion

La synthèse des archives sur le cairn de Gavrinis nous apprend que depuis son identification comme architecture en 1825, le monument a subi de nombreuses interventions. L'ensemble de ces opérations n'a jamais fait l'objet d'une synthèse, excepté de manière très succincte en préambule du premier rapport de fouille de C.-T. Le Roux (Le Roux rapport 1979).

Les zones les plus remaniées dans l'histoire récente de ce monument sont les dalles de sol à la fin du XIXe siècle, quasiment toutes déplacées par G. de Closmadeuc (1884 et 1886), et la façade du cairn suite aux travaux de restauration réalisés par l'architecte en chef des monuments historiques, M. Lisch, en compagnie de C.-T. Le Roux (1979-1984). Les travaux archéologiques n'auront pas été réalisés dans des conditions optimales en raison de la simultanéité de la fouille et de la restauration. La rapidité de la remise en état des excavations a empêché toute prise de recul pour confronter les observations réalisées d'une année sur l'autre.

La confrontation des observations réalisées à différentes époques par différents auteurs avec les derniers relevés effectués en 2011 permettront d'améliorer la connaissance de la structure tumulaire et de proposer une nouvelle perception de ces architectures funéraires.

Une historiographie fine de chacune des stèles a permis de comprendre l'évolution de la numérotation utilisée par chacun des auteurs. Ainsi il a notamment été possible d'établir des relations entre les événements qui seraient difficiles autrement et d'obtenir une meilleure connaissance du monument. Par exemple, une lecture rapide des travaux de G. de Closmadeuc sur les dalles de sol du couloir laisse penser qu'il les a toutes déplacées, il s'avère qu'il existe encore des réserves archéologiques. Les différents angles de lecture mis en place ici permettent d'éclairer d'une manière assez nouvelle l'histoire de Gavrinis.

Enfin, une analyse du mobilier retrouvé et sa contextualisation d'après les descriptions qui nous sont parvenues permettront d'apporter une lecture chronologique aux faits.

Nous avons regroupé ici les différents faits décrits autour du monument de Gavrinis en les répertoriant par secteurs. Le prochain chapitre se donnera pour objectif de croiser ces différentes observations pour tenter de reconstituer une histoire cohérente du site depuis son abandon.

Chapitre 4. Une reconstitution des différentes phases d'occupation du site depuis le Néolithique

Dans un premier temps, nous ne détaillerons pas les faits relatifs au Néolithique. Nous reviendrons sur ce point après avoir remis en perspective tout ce que les archives peuvent nous apprendre, et un retour sur site pour confronter les conclusions de ces premières analyses avec la réalité du terrain.

4.1. Synthèse des événements survenus entre la condamnation du couloir et sa redécouverte

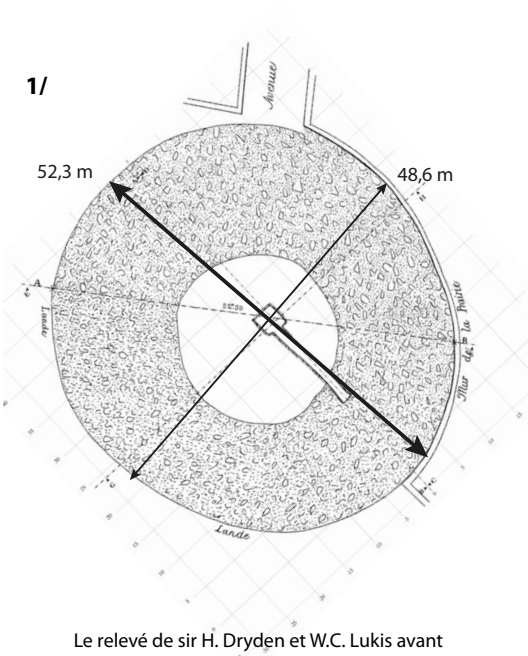
4.1.1. Fréquentation du site au Néolithique

Les périodes de fréquentation du site au Néolithique ont pu être établies grâce à plusieurs datations (Cassen et al. 2014).

La date la plus ancienne a été déterminée grâce à l'examen de la dalle de seuil S12. Cette stèle est celle qui a été la plus manipulée (Cf. chapitre [3.3.3.4.]). Un examen des surfaces à l'occasion de la numérisation de ce bloc a permis de détecter plusieurs mouchetures de charbons de bois incrustées dans la partie écrasée du granite. Ces traces correspondent donc aux travaux de mise en forme du bloc pour qu'il puisse s'adapter parfaitement à la largeur prévue du couloir. Un charbon de chêne a pu être prélevé sous loupe binoculaire. La date obtenue (Lyon-10785 : 5305 ±35 BP) permet de dater la construction du monument entre 4 241 et 4 005 avant J.-C. en date calibrée.

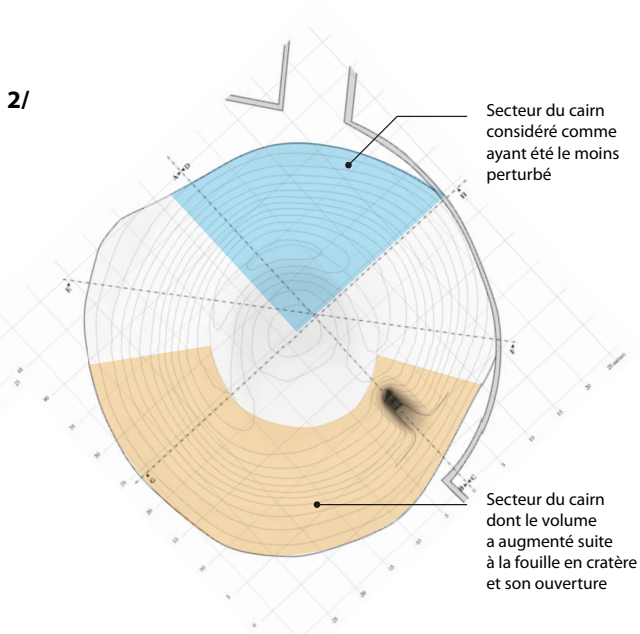
Une autre date issue du couloir permet de renseigner l'utilisation du monument comme une tombe. L'enregistrement du couloir a nécessité un nettoyage préalable car le flot des touristes engendre une sédimentation moderne. La dalle S11 n'a jamais été déplacée (Cf. chapitre [3.3.3.3.]), et le récurage du sol a permis de mettre en évidence une lentille concave de sédiment jaunâtre. Ce limon a été tamisé et quatre charbons ont été recueillis et analysés. Ces charbons sont issus de deux essences végétales, l'une étant un Pomoïdée de type poirier ou pommier, l'autre étant du chêne. La datation au carbone 14 a été menée sur les Pomoïdées. La date obtenue (Lyon-10787 : 5065 ±40 BP) permet de conclure que le couloir était toujours fréquenté entre 3 964 et 3 773 avant J.-C, c'est-à-dire entre deux et trois siècles après la première date.

1/



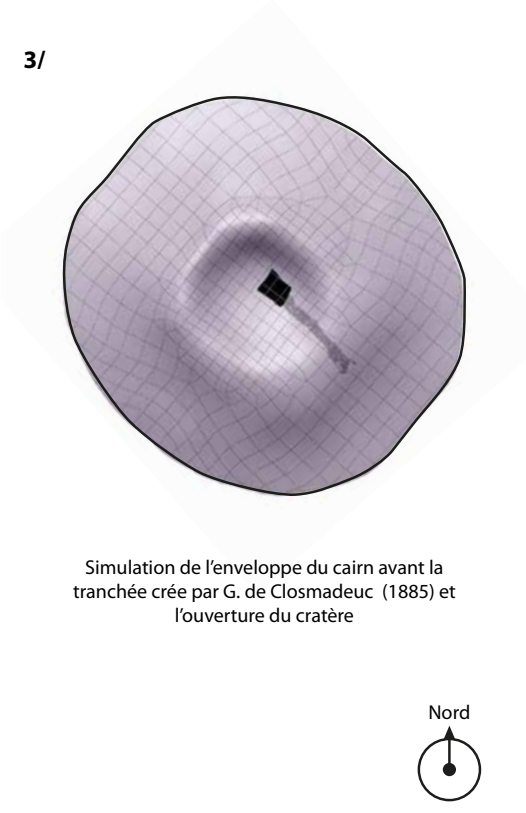
Le relevé de sir H. Dryden et W.C. Lukis avant l'ouverture du cratère par G. de Closmadeuc (1885)

2/



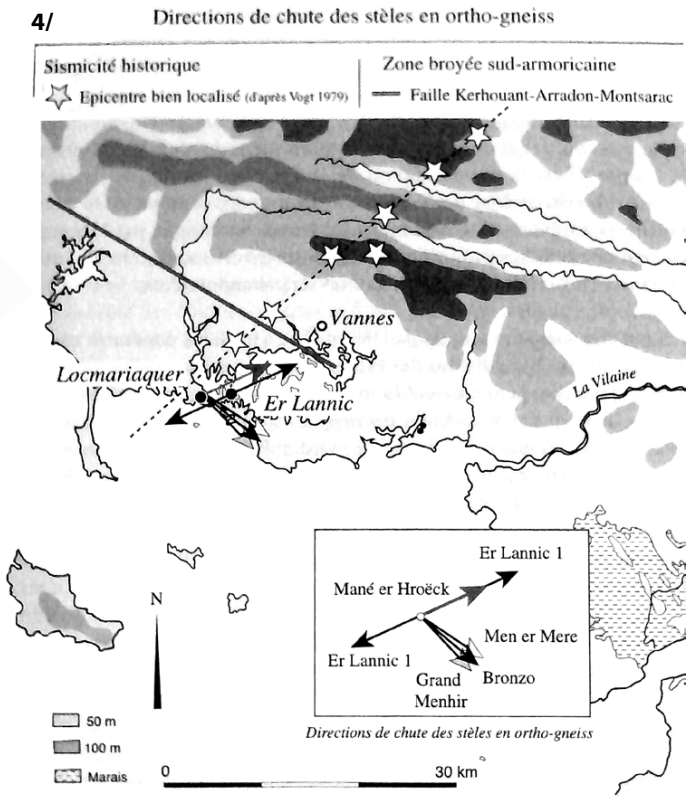
Modélisation du cairn à partir du relevé topographique de C.-T. Le Roux (1979)

3/



Simulation de l'enveloppe du cairn avant la tranchée crée par G. de Closmadeuc (1885) et l'ouverture du cratère

4/



Directions de chute des stèles en ortho-gneiss

13. Mise en relation entre les éboulis et les événements sismiques

Lors des campagnes de fouilles entre 1979 et 1984, des pieux en bois ont été retrouvés sur le parvis du monument (Le Roux 1983, p. 332). Ils ont permis de qualifier la « condamnation du couloir » (GIF 5766 : 4 470 ±80 BP) entre 3 480 et 2 950 avant notre ère. Selon C.-T. Le Roux, c'est-à-dire environ neuf siècles après la première date. Il faut prendre cette date avec précaution car l'arrivée des éboulis quatre mètres en avant de la façade ne signifie pas que l'entrée de la tombe était encore libre. Comme il a été remarqué, la destruction a certainement été soudaine pour que la morphologie des pieux puisse être conservée aussi durablement.

L'origine de cette destruction rapide peut être interrogée à travers plusieurs faits. Sir H. Dryden et W. C. Lukis effectueront le relevé du cairn dans le courant des années 1860 (Cf. figure 82), et c'est peut-être à partir de celui-ci que G. de Closmadeuc énoncera le diamètre du cairn : entre 50 et 55 mètres (de Closmadeuc 1876, p. 3). Les plans nous apprennent que le monument possède un caractère oblong et ses éboulis sont étirés dans l'axe Est-Sud-Est / Ouest-Nord-Ouest. Cette direction est à peu de choses près celle du couloir. Ce même plan nous montre également que l'étalement du cairn semble avoir été retenu par le mur de clôture, comme le relevé topographique de 1979 le confirme. Les façades du monument connaissent des états de conservation différents, et c'est le secteur Nord qui semble avoir été le moins perturbé depuis le Néolithique. Le quartier Sud est largement déformé par l'accumulation de matériaux issus du cratère au Moyen Âge et à son ouverture en 1885. L'impact de la fouille en cratère déborde également sur les quartiers Est et Ouest. Une modélisation par symétrie à partir du secteur le mieux conservé (au Nord) permet de retrouver à quoi pouvait ressembler les pentes extérieures de l'édifice. Pour cela, la restitution 3D du monument à partir du relevé topographique est « décalquée » (opération de retopologie). Le centre de symétrie a d'abord été positionné au niveau de la chambre funéraire, mais le cratère n'est pas exactement centré sur cette structure. Par conséquent, le centre a été déplacé de manière à pouvoir correspondre aux pentes jugées intactes depuis le Néolithique. De cette manière, nous obtenons une représentation du cairn hybride puisque les matériaux issus de la fouille en cratère sont soustraits à la géométrie, mais le cratère reste présent. Ce résultat montre une emprise du cairn qui confirme l'étirement des éboulis dans une direction Est-Sud-Est / Ouest-Nord-Ouest. Une série d'observations permettent d'émettre une hypothèse au sujet de l'origine de ces éboulis :

- Les fouilles ont montré que le cairn est de plan carré (Cf. chapitre [9.4.2.1.]), et la direction de cet étirement est orthogonale aux faces du cairn.
- L'exploration en cratère a rejeté les matériaux principalement à l'angle Sud, mais cela n'a pas influencé considérablement l'emprise des éboulis.
- L'étalement du cairn carré aurait pu être régulier selon ces quatre faces. Or, il est bel et bien étiré dans une direction : Est-Sud-Est / Ouest-Nord-Ouest. Les axes des éboulis sont parallèles aux faces du carré formant le cairn en plan.

Si nous comparons cette direction avec la « carte de la sismicité historique et de la direction des chutes de stèles », l'étirement des éboulis est parallèle à la faille Kerhouant-Arradon-Montsarac (Boujot et Cassen 2000c, p. 202) (Cf. figure 13). Après avoir replacé les épicentres historiques sur une carte (Vogt 1979) et la direction des stèles tombées, nous pouvons déduire une corrélation assez forte entre ces deux facteurs. Le séisme produit depuis son foyer des ondes concentriques qui se propagent

vers la surface du sol. En fonction des matériaux traversés, ces ondes se diffractent et produisent de nouveaux trains d'ondes, dits de surfaces : les ondes longitudinales (parallèles au rayon de propagation) et les ondes transversales (perpendiculaires au rayon de propagation). En fonction de la nature de la première onde frappant le menhir, celui-ci se couchera en suivant ces deux orientations antagonistes. Dans la région de Vannes, ces deux directions sont Est-Sud-Est / Ouest-Nord-Ouest (ce qui correspond à la direction de la faille nommée au début de ce paragraphe), et Ouest-Sud-Ouest / Est-Nord-Est (axe parallèle à l'alignement des épicentres). Bien que la corrélation soit assez forte, il faudrait aussi prendre en compte la microtopographie car la pente naturelle du terrain pourrait influencer la direction de la chute. Abstraction faite de cette remarque, nous constatons que les éboulis de Gavrinis et la faille Kerhouant-Arradon-Montsarac partagent la même direction. L'hypothèse d'une fragilisation d'origine sismique des parements externes du cairn est donc défendable. Pour la valider, il faudrait mener des études plus poussées en termes de comportement de ces types de structures lors d'un tremblement de terre.

4.1.2. L'âge du Bronze

Après l'occupation néolithique, la plus ancienne trace attestée à ce jour est une hallebarde (Cf. figure 88.10) retrouvée au pied d'un parement à l'angle Sud. La seule description indiquant la position stratigraphique de cette lame est celle-ci : « la lame de hallebarde en bronze gisait isolée parmi les éboulis en N7 » (Le Roux rapport 1982, p. 14). Le carré N7 où la lame a été retrouvée est en grande partie occupé par le cairn. Bien que l'altitude de la lame ne soit pas connue et son contexte stratigraphique imprécis, cette observation corrobore les observations et la date obtenue en 1983 pour les pieux. Il est cependant notable que les éboulis soient beaucoup plus étendus dans l'axe du couloir qu'au niveau de l'angle Sud.

La présence d'une hallebarde interroge la nature de la fréquentation du site à l'âge du Bronze. En 1983, C.-T. Le Roux suppose qu'il ne s'agit pas « d'une réutilisation cultuelle du monument [à l'âge du Fer et au début de la période gallo-romaine], mais plutôt d'un habitat (peut-être un petit poste de garde face à l'entrée du golfe du Morbihan?) » (Le Roux 1983, p. 333). Pour tirer ces conclusions, il compare les observations faites au même moment sur les fouilles du cairn de Petit Mont à Arzon (Le Roux 1983, p. 325), où l'aménagement d'un portique à une période tardive a été mis au jour (du mobilier de la fin de l'âge du Fer et de la période gallo-romaine a été découvert dans les fondations de cet aménagement).

Cependant, une hallebarde à l'âge du Bronze est un objet rare et précieux, et il est difficile d'imaginer que l'objet ait été simplement « égaré ». La lame a été trouvée dans le carré N7, à moins de deux mètres d'un parement probablement déjà éboulé. Le profil du monument en cet endroit devait donc être relativement abrupt et difficile d'accès. Par conséquent, la lame peut être considérée comme un dépôt de cet âge du Bronze. La comparaison établie par C.-T. Le Roux n'est pas tout à fait juste puisque le dépôt de l'objet socialement valorisé qu'est la lame de hallebarde (âge du Bronze) ne peut pas être comparé avec une pratique cultuelle à Petit Mont (âge du Fer et période gallo-romaine). En tout cas, le

cairn de Gavrinis est moins fréquenté que le promontoire de la presqu'île de Rhuys du fait du nouveau caractère insulaire de Gavrinis. Le niveau de la mer a en effet monté entre ces deux périodes (Menier et al. 2010).

4.1.3. L'époque gallo-romaine

Les vestiges les plus démonstratifs de cette période sont les deux fragments de meule découverts en 1981 et 1982, tous deux localisés au niveau de l'angle Nord-Est. Cependant, la localisation n'est pas réellement précisée pour la partie dormante (la *meta*) ; nous savons en revanche que la partie courante (le *catillus*) a été découverte dans un des carrés N2, N3 ou O3 (Le Roux rapport 1982, p. 17), donc à moins de cinq mètres des parements. Même si l'altitude de ces éléments n'est pas renseignée, cela signifie que les éboulements présentent toujours un étalement assez faible au début de notre ère et que la plupart des structures sont encore en élévation.

La présence de cette meule peut interroger sur la nature de la fréquentation du site. Objet de la vie quotidienne lié à la transformation des céréales pour produire de la farine, sa présence peut en effet suggérer que l'île était habitée et cultivée. Aucune structure d'habitat de cette période n'y a été identifiée à ce jour, mais l'hypothèse n'est pas à exclure car le site a également été occupé au Moyen Âge et les structures ont pu se superposer.

A cette meule doit s'ajouter l'ensemble des tessons de poteries gallo-romaines qui « saupoudrent le site » (Le Roux rapport 1980, p. 10 ; Le Roux rapport 1981, pp. 14-17 ; Le Roux rapport 1982, p. 13 ; Le Roux rapport 1983, p. 9). Ce sont principalement des débris d'amphores et des *tegulae*. Cependant, leur localisation n'est pas assez précise pour déterminer la position la plus basse de leur découverte et déduire ainsi un profil approximatif des éboulis à cette période.

En 1980, nous savons que la céramique romaine est découverte jusqu'au fond de ce que C.-T. Le Roux appelle les « carrières recomblées » mais que nous considérerons plutôt comme des explorations en puits – les termes de C.-T. Le Roux lui-même décrivant une progression par le haut plutôt que latérale.

4.1.4. La période médiévale

L'occupation de l'île au Moyen Âge par des moines est attestée par diverses traces. Parmi les vestiges les plus manifestes, une chapelle était encore en élévation jusqu'au début des années 1830 (de Closmadeuc, 1876 pp. 2-3). La légende attribue cette chapelle à l'ordre des Templiers. À proximité, un cimetière découvert lors de travaux de fondation a livré de nombreux squelettes « d'hommes vigoureux et adultes ». Une occupation permanente est également attestée par des ruines de maisonnettes, un puits et une citerne, des fragments de poteries, briques et ardoises, meules à bras, fers à chevaux, etc. Enfin, l'île a été cultivée à cette période car des traces d'un découpage parcellaire étaient encore visibles au XIXe siècle.

Un muret a été découvert au niveau de l'angle Sud, complètement emprisonné dans les éboulis du cairn, mais cette structure est elle-même construite sur des éboulis antérieurs. La structure

est qualifiée de « lambeau de muret de clôture d'âge historique » (Le Roux rapport 1982, p. 8). Son altitude nous est connue à travers un cliché (Cf. figure 88.7-D), ce qui permet de constater que les éboulis n'étaient pas encore très étalés au début du Moyen Âge. Une observation de l'appareillage des moellons permet de l'associer aux techniques de construction médiévale, et un fragment de poterie retrouvé sous l'emprise du muret est également de facture médiévale (Le Roux rapport 1983, p. 9). C.-T. Le Roux remarque enfin que « assez curieusement, il court sensiblement parallèlement aux courbes de niveau mais avec une légère concavité tournée vers l'aval » (p. 7).

Le muret est enseveli sous une épaisse couche de pierres qui est indiscutablement associée à l'exploration en cratère de la structure tumulaire puisque du mobilier médiéval est retrouvé aussi bien dessous qu'au-dessus de cette couche. Une autre preuve est la texture des façades du cairn avant les aménagements touristiques des années 1960. L'aquarelle de sir H. Dryden et W.C. Lukis du milieu du XIXe siècle et les clichés de Z. Le Rouzic du début du XXe siècle (Cf. figures 82.3 et 84.5 à 84.9) montrent effectivement deux états. Les façades Ouest, Nord et à droite de l'entrée sont végétalisées. Elles correspondent aux profils les plus abrupts et donc ceux qui sont censés être les moins remaniés. Les dizaines de siècles qui se sont écoulés ont permis la formation d'un substrat et le développement de végétaux. En revanche, les parties au Sud de l'entrée sont des éboulis beaucoup plus récents dont les interstices n'ont pas encore eu le temps de se combler de sable ou de terre car les vides sont plus grands (Le Roux rapport 1980, p. 5). La végétation n'a donc pas pu se développer de la même manière que sur les autres versants, à l'exception de quelques bouquets d'ajoncs.

Cette exploration en cratère permettra de découvrir la table de couverture P10. Le bord Sud sera dégagé et un puits creusé pour descendre le long du dos de la stèle L11, jusqu'à quatre-vingt centimètres sous le niveau du sol de la chambre (Le Roux rapport 1979, p. 3). L'emprise de ce puits correspond à celui du sondage de 1979 et possède une section de 1 x 1,5 mètre. De la céramique médiévale sera retrouvée au fond du remplissage très perturbé.

Ce sondage a permis de mettre au jour l'espace triangulaire constitué par les dalles C1, L11 et P10. C'est par ce réduit que les explorateurs ont pu se glisser à l'intérieur de la chambre. A priori, seuls les éboulis naturels devaient combler l'entrée de la porte.

L'exploration médiévale ne s'est pas arrêtée à la découverte de la tombe, puisque les deux dalles de sol gravées S9 et S12 ont été déchaussées. Il n'y a pas de preuve directe à cette hypothèse dans la mesure où aucun mobilier de cette période n'a été identifié dans le remplissage de ces sondages. Cependant, l'exploration en cratère du cairn et l'exploration sous le dallage peuvent être considérées comme relevant du même fait. Les ornements de S9 et de S12 ont attiré l'attention et laissaient suggérer qu'elles cachaient d'autres choses. Après cela, elles seront laissées telles quelles. La stèle L11, dont la face arrière était déjà découverte par le puits exploratoire, ne s'appuyait plus désormais contre S12. Il faut aussi noter qu'elle ne supporte pas la dalle de couverture P10. Libérée de toutes contraintes, la stèle a alors basculé vers l'intérieur (de Closmadeuc 1876, p. 5). C'est ce que remarqua M. Cauzique lorsqu'il entreprit les premiers travaux dans le couloir, et remis L11 et S12 en place. Il utilisera pour caler l'orthostate un coin en chêne encore visible en 1876. S9 restera délogée jusqu'à ce que G. de Closmadeuc s'aperçoive du déplacement et la remette à sa place (de Closmadeuc 1884, p. 185).

4.1.5. Entre le Moyen Âge et l'invention du cairn

La chambre et le couloir ont été découverts en 1832 comblés de moellons comparables en tout point à ceux composant la structure tumulaire.

> *« M. Cauzique eut donc l'idée de descendre dans le caveau [...]. Il fit procéder au déblaiement, et quand la chambre fut débarrassée de tous les matériaux qui l'obstruaient, il crut reconnaître qu'elle manquait de parois du côté Est, et se continuait dans cette direction par une galerie. » (de Closmadeuc 1876, p. 5).*

L'origine de ce comblement est donc postérieure à l'exploration du Moyen Âge. La première hypothèse émise consiste à imaginer une percolation des pierres dans les interstices laissés entre les dalles de couverture (Mérimée 1836, p. 263). G. de Closmadeuc réfute cette idée car il remarque que les dalles de couverture sont trop bien agencées pour ce phénomène ; la lecture du plan du couloir confirme aussi ces propos (Cf. figure 97.5). Après avoir interrogé M. Cauzique, G. de Closmadeuc rapporte que le couloir « était obstrué de pierres accumulées avec une intention manifeste de remblai. La galerie en était bourrée jusqu'au plafond » (de Closmadeuc 1876, p. 5). Les matériaux de comblement proviennent du cairn lui-même et ont tous transité par le même espace triangulaire qui se situe au niveau de la chambre. Cependant, la motivation de cette obstruction reste énigmatique puisque nous ne disposons pas de preuve directe ordonnant ces travaux.

Nous ne pourrons pas déterminer dans quel état le couloir se trouvait avant cette exploration médiévale. Les explorateurs ont pu parcourir au moins la moitié du couloir, sinon la totalité. Deux hypothèses peuvent alors être formulées.

La première hypothèse suppose que la chambre et le couloir étaient totalement vides au moment de la découverte. En ce cas, le dégagement de l'entrée naturelle ne s'est probablement pas posée et seules les parties accessibles du couloir ont été explorées.

La seconde hypothèse présume que la chambre et / ou le couloir étaient déjà en partie ou totalement condamnés par des pierres. Des structures de condamnation existent au Néolithique comme le montre la fouille de la sépulture collective de la Chaussée-Tirancourt (Somme) (Leclerc et Masset 2006). La fin d'une phase d'occupation peut être matérialisée par une destruction ou une accumulation de sédiments, recréant ainsi un nouveau sol sur lequel de nouveaux rites peuvent se développer. Si c'était le cas, les explorateurs ont dû nettoyer le sol pour découvrir les deux dalles gravées S9 et S12 et les déplacer, ce qui représente un effort supplémentaire.

Nous pouvons conclure, mais avec précaution, en disant que la chambre et le couloir étaient probablement vides et qu'aucune structure condamnait l'intérieur de la tombe. Cela n'exclue pas en revanche une structure de condamnation spécifique au niveau de l'entrée, mais les vestiges découverts par C.-T. Le Roux (Cf. figure 89.22) ont été trop bouleversés et sont trop lacunaires pour imaginer une restitution.

4.1.6. La construction de récits légendaires

Les traditions orales autour du monument de Gavrinis avant la découverte du couloir relèvent de deux imaginaires.

Le premier récit concerne d'avantage l'île que le cairn lui-même, et trouve son fondement à partir des vestiges d'une chapelle sur la partie Est de l'île. Des moines rouges (les Templiers) avaient établi leur lieu de vie sur cette île. Leur souvenir a perduré au-delà des siècles en raison de la terreur qu'ils inspiraient et faisaient régner sur toute la contrée, leurs vices devant être identiques à ceux que le théologien et fondateur de la scolastique Pierre Abélard (1079 – 1142) attribuait à sa communauté de Saint-Gildas-de-Rhuys :

> *« Tenter de les ramener à la vie régulière à laquelle ils s'étaient engagés, c'était jouer mon existence, je n'avais pas d'illusion ; d'autre part, ne pas faire, en vue d'une réforme, tout ce que je pouvais, c'était appeler sur ma tête la damnation éternelle. Ajoutez que le seigneur du pays, qui avait un pouvoir sans limites, profitant du désordre qui régnait dans le monastère, avait depuis longtemps réduit l'abbaye sous son joug. Il s'était approprié toutes les terres domaniales et faisait peser sur les moines des exactions plus lourdes que celles mêmes dont les juifs étaient accablés. Les moines m'obsédaient pour leurs besoins journaliers, car la communauté ne possédait rien que je pusse distribuer, et chacun prenait sur son propre patrimoine pour se soutenir lui et sa concubine, et ses fils et ses filles. Non contents de me tourmenter, ils volaient et emportaient tout ce qu'ils pouvaient prendre, pour me créer des embarras, et me forcer, soit à relâcher les règles de la discipline, soit à me retirer. Toute la horde de la contrée étant également sans lois ni frein, il n'était personne dont je puisse réclamer l'aide. Aucun rapport de vie entre eux et moi. Au dehors, le seigneur et ses gardes ne cessaient de m'écraser ; au dedans, les frères me tendaient perpétuellement des pièges. Il semblait que la parole de l'Apôtre eût été écrite pour moi : « Au dehors les combats, au dedans les craintes » (Abelard et Héloïse 1875).*

Cette légende est d'autant plus ferme que les vestiges d'une chapelle et diverses traces d'occupation d'une vie quotidienne étayent ce récit (de Closmadeuc 1876, pp. 4-5 ; de Closmadeuc 1885, p. 144).

Le second récit suppose qu'un caveau au fond du cratère était connu depuis longtemps car avant la découverte de 1832, « on savait vaguement qu' [...] il existait un orifice étroit au milieu des ronces, qui permettait à peine le passage d'une personne, et donnait accès à une sorte de *caverne noire* ». La raison de l'existence d'une telle cavité était alors reprise ainsi dans la tradition populaire. Il s'agissait de « l'entrée d'une galerie très profonde [... conduisant] par de longs détours à une chambre de pierre remplie de trésors incalculables, accumulés par la main des korrigans ; puis le souterrain se prolongeait au-delà, passait sous la mer et allait rejoindre la butte de Tumiac » (de Closmadeuc 1876, p. 5).

La corrélation entre le tumulus carnacéen de Tumiac – grand pourvoyeur de haches en jadéite – et le cairn de Gavrinis est intéressante car cela laisse entendre que la tombe de Gavrinis a pu contenir également énormément de haches. Cette supposition est étayée par le fait que « les quelques *celtae* en jadéite et dolomite que les fermiers montraient aux curieux avaient été trouvés dans l'île, aux environs du tumulus » (de Closmadeuc 1876, p. 5).

4.1.7. La fouille et la restauration du monument

Nous ne reviendrons pas sur les différentes interventions sur le site de Gavrinis depuis sa découverte puisque cela a déjà été présenté. En résumé, nous trouvons :

- le dégagement du couloir par M. Cauzique entre 1832 et 1834 ;
- les explorations du sol du couloir en 1884 et 1886, et la tranchée exploratoire en 1885 de G. de Closmadeuc :
- l'aménagement de l'entrée par Z. Le Rouzic dans les années 1930 ;
- de nouveaux aménagements au début des années 1960 quand Gavrinis devient propriété du Conseil général du Morbihan
- les six campagnes de fouilles du monument entre 1979 et 1984 par C.-T. Le Roux ; travaux qui conduiront à la restauration du monument.

4.1.7.1. Les restitutions envisagées avant la campagne de fouilles de 1979-1984

Dès la première description du monument en 1825, l'abbé J. Mahé se pose la question de sa restitution – ou du moins la raison de cette cavité (Mahé 1825, p. 98). Après avoir imaginé que le volume se soit évidé par le dessous comme « dans une horloge de sable, la partie supérieure de cette matière se creuse et présente une cavité en forme de cône renversé », ou alors à l'image du « blé que contient la trémie d'un moulin » se déforme quand il s'écoule. Cependant, la comparaison avec d'autres sites le laisse perplexe car son explication ne semble pas pouvoir s'appliquer à ces sites. L'hypothèse d'une fouille intentionnelle est alors évoquée, mais lui semble inconcevable certainement parce que la tâche paraît énorme. Il conclue par cette réflexion : « je suis plus porté à croire que toutes ces cavités sont aussi anciennes que les monuments mêmes, sans pouvoir toutefois en assigner la raison ».

P. Mérimée (Mérimée 1836, p. 261) décrira le tumulus comme « un amas de terre et de pierres ». Toute son attention est portée sur le couloir : « un grand dolmen fort régulier ».

G. de Closmadeuc présente le monument sous la « forme d'un dôme à sommet tronqué, ayant à sa base, qui est circulaire, un diamètre de 50 à 55 mètres. Le sommet de la butte est remplacé par une sorte de cratère au fond duquel se trouve une ouverture de communication avec l'intérieur du souterrain. Lorsque le monument était complet et se terminait par un sommet conique, il devait avoir plus de dix mètres de hauteur » (de Closmadeuc 1876, p. 3). L'image du cairn conique au sommet tronqué est maintenant posée, et sera reprise par Z. Le Rouzic dans un dessin qu'il établit dans les années 1920 (Cf. figure 84.1). L'image sera néanmoins une abstraction parfaite dans le sens où l'emprise en plan du cairn est un cercle parfait, légèrement plus petit que ce qui est relevé sur site (48 mètres de diamètre), et les pentes sont extrêmement régulières et symétriques. Cette image perdurera jusqu'à ce que les fouilles des années 1980 soient entamées.

4.1.7.2. Le projet de restauration des années 1980

Les campagnes de fouilles permettront de porter un nouveau regard sur l'architecture du monument. La première grande évolution consiste à montrer que la restitution conique du monument couramment admise jusqu'à cette date n'est pas fondée et qu'il faille plutôt considérer un cairn de plan carré.

L'objectif de ces campagnes de fouilles est bien de restaurer ces monuments afin de proposer une meilleure expérience touristique aux visiteurs de plus en plus nombreux (Le Roux rapport 1979, p. 2).

Les éléments d'architectures découverts en 1980 et 1981 permettent de projeter une première esquisse dès 1981 (Cf. chapitre [3.2.3.2.] et [3.2.3.3.] ; Cf. figure 90.1). Bien que l'angle Sud ne soit pas encore fouillé, ces deux campagnes ont effectivement permis de comprendre que les parements internes s'organisent autour d'un noyau central et forment un mur continu perpendiculairement au couloir. Le parement de façade quant à lui vient s'appuyer contre ceux-ci. Cette esquisse est pour cela assez fidèle à ce qui est observé sur le terrain. Nous pouvons facilement lire les trois parements parallèles entre eux à gauche du couloir, et les deux structures internes non parallèles entre elles à droite du couloir. Le raccord entre le parement de façade et les structures internes à l'angle Nord-Est n'est pas encore totalement établi car ces deux éléments semblent fusionner pour les parties basses et se différencier à mi-hauteur, là où le parement de façade s'arrête et où les murets internes continuent à s'élever. Il faut dire que seulement quelques assises permettaient de comprendre l'emprise de la façade et la relation entre les parements.

À l'issue de la campagne de fouilles de 1982, la totalité de la façade est dégagée et le projet de restauration-consolidation est redéfini « en connaissance de cause » (Le Roux rapport 1982, p. 18). Cette nouvelle esquisse sera suivie jusqu'à la fin du chantier de restauration. L'angle Sud est dégagé, ce qui permet de mieux décrire l'articulation entre le parement de façade et le mur extérieur venant s'accoler contre les structures internes : les murs ne se fusionnent pas comme cela a été esquissé précédemment ; ils se raccordent en sifflet. Cela signifie que les structures internes sont bien les premières a avoir été construites, et le parement de façade vient ensuite s'appuyer dessus.

Cependant, une différence notable apparaît avec la précédente esquisse puisque le parement interne le plus externe à l'angle Nord-Est a disparu – en vertu du modèle de restauration comme nous l'expliquerons dans le point suivant (Cf. le point [4.2.1.]). L'image qui est véhiculée à travers la restauration est la création d'une frontière franche entre la partie non-fouillée et celle restaurée – une réserve archéologique étant conservée à l'arrière du monument. De cette manière, le cairn originel semble émerger d'une masse non organisée. La fouille des parements à gauche du couloir a peut-être déstructuré cette façade, ou peut-être pour renforcer cette image d'une scission entre la zone restaurée de celle qui ne l'est pas, des matériaux ont été ajoutés sur le flanc sud, ce qui permet d'amplifier le volume. Cet effet est notablement recherché pour cette zone puisque les visiteurs arrivent et découvrent le monument par ce côté. Quoiqu'il en soit, il est possible de distinguer nettement un effet de rampe sur nos relevés (Cf. figure 90.2). Cette rampe s'achève par un amoncellement de pierres formant un bourrelet sur la vaste plate-forme que contournent les visiteurs.

4.2. Critique de la restauration de Gavrinis, et plus largement des architectures funéraires collectives néolithiques

4.2.1. L'origine du modèle de restauration de la tombe de Gavrinis

4.2.1.1. La naissance d'un modèle de restauration

Le modèle de restauration du cairn de Gavrinis « s'inspire des principes de bases définis par P.-R. Giot lors de la restauration de Barnenez » (Le Roux rapport 1982, p. 18). Cependant, la paternité de l'exposition de ce modèle revient à J. L'Helgouach dans sa thèse (L'Helgouach 1966) soutenue pendant les travaux de fouille et de restauration du monument de Barnenez menés entre 1955 et 1968 (Giot 1988). Il profite du chantier de fouille dirigé par P.-R. Giot pour étayer son raisonnement et cette réflexion est certainement le fruit d'échanges entre les deux hommes :

> *« Le dégagement de ces enceintes quadrangulaires [à Barnenez et Guennoc] a permis de démontrer que les plans ovalaires et les profils arrondis des cairns allongés, tels que l'on peut les voir avant toute fouille, ne sont autres que les produits de la dégradation, accumulant les ruines des murailles au pied de celles-ci et les masquant secondairement jusqu'à ce que soit obtenu un profil d'équilibre, c'est-à-dire précisément lorsque les restes des murs sont masqués et « consolidés » par les éboulis. Il est donc bien certain que les enceintes, quadrangulaires ou circulaires, n'étaient pas internes dans la masse du cairn, mais visibles, étagées en paliers. Leur rôle était à la fois de maintien de la masse des pierres et d'esthétique architecturale » (L'Helgouach 1966, p. 24).*

Cette conclusion arrive après un exposé de la découverte de ces structures et des questionnements soulevés. Les premiers parements ont été identifiés de manière certaine pour le cairn de Plaisance à Saint-Avé (Morbihan) en 1884 par E. Rialan et l'abbé Luco – le cairn a aujourd'hui disparu. Cependant, il est possible que M. Verger en ait observé dès 1840 sur le cairn des Mousseaux à Pornic (Loire-Atlantique). Les différents auteurs semblent circonspects devant ces vestiges, à l'instar de Z. Le Rouzic qui attribue dans un premier temps ces structures à l'âge du Bronze. Il changera d'avis au fur et à mesure de ses travaux et rejoint l'avis d'autres auteurs (comme A. Martin) : il s'agit de soutènements de la masse tumulaire.

Quand les travaux commencent sur le cairn de Barnenez, il est convenu au sein de la communauté des archéologues que ces parements et la sépulture appartiennent au même projet architectural. La question de leur restauration ne s'était cependant jamais réellement posée. Par exemple, quand Z. Le Rouzic intervient sur la Table des Marchands et la restaure, il ne remonte pas les structures mais les recouvre d'une couche de terre jusqu'à la face inférieure de la dalle de couverture (Cf. figure 14).

P.-R. Giot est donc le premier en France à se confronter à la restauration d'un cairn avec pour objectif une reconstitution du monument dans un état proche du Néolithique. Il appliquera l'image formulée par J. L'Helgouach. La plus exhaustive concerne sa restitution du cairn à double enceinte d'Er-Mané de Quéric-la-Lande à Carnac (Cf. figure 15) ; schématique, la restitution représente bien un cairn à gradin. Les exemples contemporains de restauration de monument font encore défaut pour avoir un avis critique, et la stratigraphie du cairn de Barnenez n'était pas assez précise pour montrer les

incohérences de ces principes. P.-R. Giot s'attachera donc à appliquer ce précepte tout en l'adaptant à d'autres considérations (Giot 1988, p. 88). Le volume des matériaux présents sur le site est d'abord pris en compte. Ensuite, les parements présentant des élévations inégales sont égalisés en les remontant jusqu'au point le plus haut identifié. Des exceptions apparaîtront malgré tout quand la conservation du monument est mise en péril par la charge des matériaux.

Le parti pris est particulièrement explicité à partir de la section sur le couloir G qui correspond à la section la mieux conservée (Cf. figure 16). Les élévations de 4 mètres sont encore très verticales, or aucun autre exemple à l'échelle européenne ne permet de trouver des éléments de réponse à cette échelle, et il n'est pas concevable de prolonger les parements indéfiniment. La prise en compte des éboulis à ce niveau-là supposerait que la hauteur du monument pourrait encore être augmentée de trois mètres environ. Il est néanmoins considéré « comme plus vraisemblable que le sommet était sensiblement plan et horizontal » (Giot 1988, p. 88).



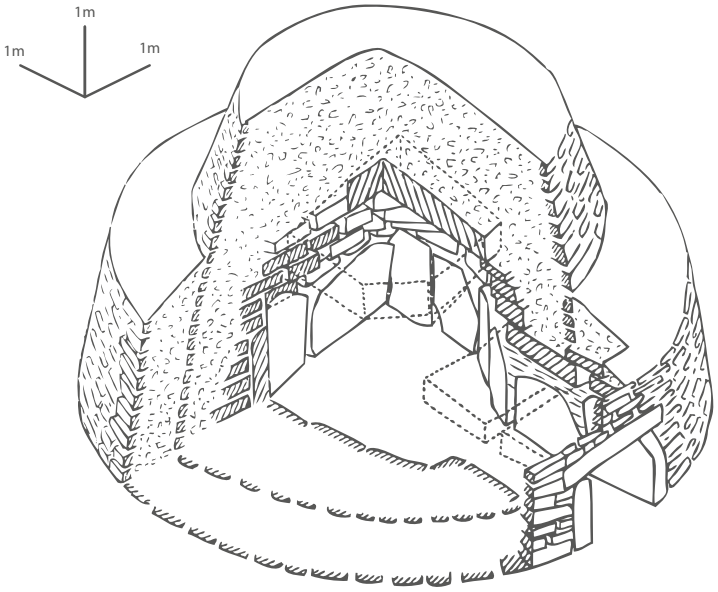
14. Restauration de la Table des Marchands par Z. Le Rouzic

4.2.1.2. La diffusion de ce modèle de restauration

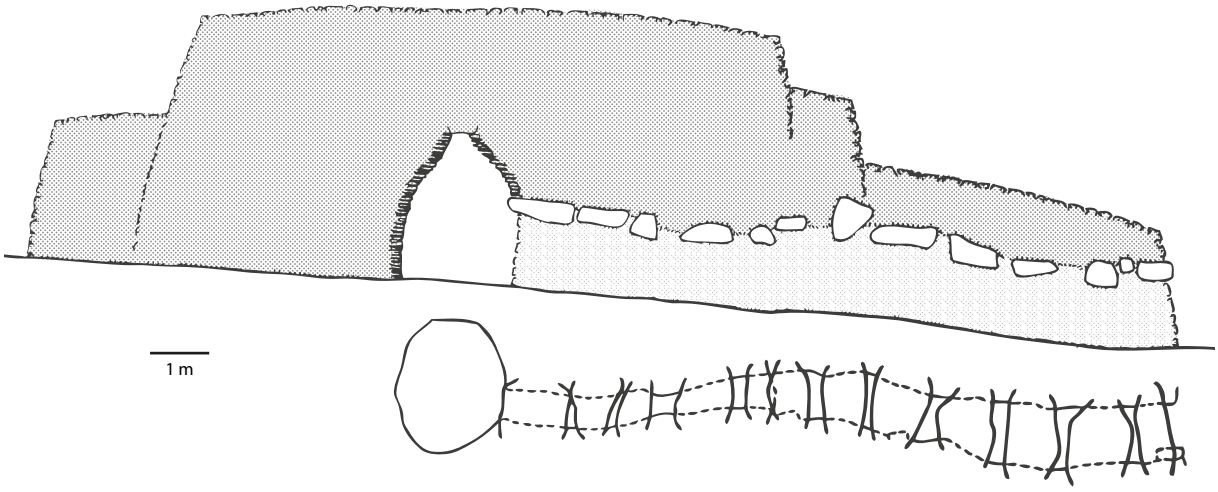
Ce modèle établi à partir de la fouille du cairn de Barnenez se trouvera appliqué sur de nombreux monuments, dans toute la région Nord-Ouest de la France. Une liste non exhaustive permet de recenser :

- les huit tumuli de Bougon (Deux-Sèvres) fouillés en 1979,
- le cairn des Mousseaux (Pornic) fouillé en 1984 (L'Helgouach & Poulain 1984),
- Le tumulus de Dissignac (Saint-Nazaire, Loire-Atlantique) fouillé entre 1970 et 1981
- Le cairn de Petit Mont (Arzon, Morbihan) fouillé entre 1979 et 1989
- le cairn de Gavrinis (Larmor-Baden, Morbihan) fouillé entre 1979 et 1984
- la Table des Marchands (Locmariaquer, Morbihan) fouillée entre 1986 et 1994,
- la nécropole du Souc'h (Plouhinec, Finistère) fouillée entre 2000 et 2010,
- le dolmen de la Petite Perotte (Fontenille, Poitou-Charente) fouillé entre 2013 et 2015

À chaque fois, le même principe est appliqué : les parements sont remontés de manière à retrouver le point le plus haut du développé, et l'espace entre les murets est comblé de manière à aménager une terrasse. Bien que l'intention concernant les parements semble logique au premier abord, la création de la terrasse fausse le langage mis en place et cela produit une image extrêmement parlante que les visiteurs saisissent rapidement. Les structures en gradin réfèrent en particulier directement aux sépultures monumentales méso-américaines et égyptiennes. Cela est d'autant plus préjudiciable que tous les visiteurs n'ont pas accès à la clé du discours proposé : la restauration « ne vise qu'à donner une idée du volume, et de l'altitude maximale (à 1 m près), sans préjuger du profil du sommet des parements » (Giot 1988, p. 89). Le caractère pédagogique d'un tel dispositif peut alors être remis en question puisque le discours devient confus. Il n'est pas évident de comprendre qu'il s'agit d'un état intermédiaire, et non d'une restauration « exhaustive ».



15. Premier dessin de J. L'Helgouac'h présentant un cairn à gradin (d'après L'Helgouac'h, 1967)



Coupe sur le couloir G du cairn de Barnenez avec identification des parements et projet de restauration.
(Source : Giot 1987, vol. II, image B5"G)

16. Coupe sur le couloir G du cairn de Barnenez (projet de restauration)

Ce modèle se retrouve même appliqué *in extenso* à des sépultures d'autres périodes, comme pour le tumulus en pierre sèche de Meulson (Côte d'Or) restauré en 2008, mais datant entre l'âge du Bronze final et le milieu de la Tène moyenne (Alain 2009). Cette contamination est certainement le reflet de la force de l'image proposée.

Ce modèle est particulièrement remis en question suite à la fouille de la Table des Marchands. L'étude du volume des éboulis ne permet pas de remonter aussi haut les structures tumulaires, et encore moins de recouvrir la dalle de couverture de la chambre (Cassen 2009c).

4.2.1.3. Application de ce modèle de restauration à Gavrinis

L'application *stricto sensu* de ces règles peut conduire à des aberrations comme nous pouvons le constater à Gavrinis.

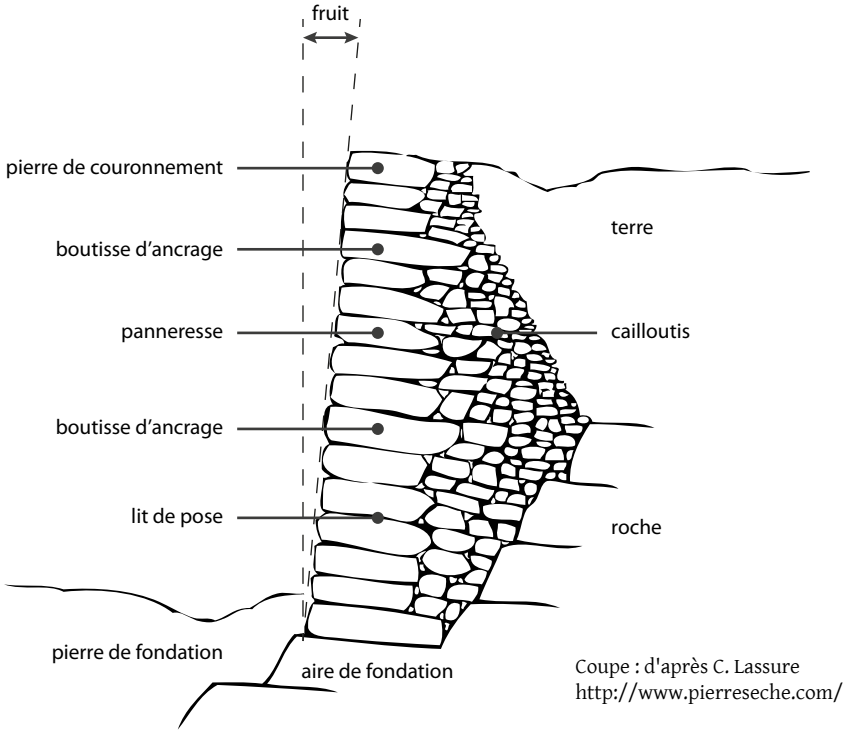
Le parement de façade a été mis au jour avec des structures encore en place pour les parties qui n'ont pas été détruites par les explorations anciennes. Le point le plus haut retrouvé se situe à gauche de l'entrée, mais le développé présente aussi parfois seulement quelques assises de pierres. Par conséquent, la part d'interprétation est assez importante dans certains cas, et si les observations concernant le profil de la façade indique « une élévation verticale jusqu'à la table de couverture, puis un fruit pouvant atteindre 30° » et « un raccord vif entre ces deux parties » (Le Roux rapport 1980, p. 6), cela n'a pu être observé qu'à seulement deux endroits : de part et d'autre de l'entrée avec certainement un effet de symétrie. C'est ce profil qui est dit être appliqué pour la restauration.

En ce qui concerne les parements internes, les photos d'archives (Cf. figures 88.5) montrent que les points les plus hauts sont bien plus bas que le sommet de la voûte de décharge construite en 1979. En effet, ces parements ont été détruits lors de la fouille en cratère. Les points les plus hauts ne devaient être plus hauts que de quelques décimètres. La restauration a cependant conduit à prolonger les structures près de deux mètres au-delà de ce qui a été reconnu pour le noyau central. De manière à rendre la composition des parements plus évidente, les murs de refends sont prolongés à des hauteurs différentes de manière à former une pyramide. L'intention initialement pédagogique est désormais complètement faussée dans le sens où ces gradins ne correspondent plus aux règles du modèle de restauration.

Le sort destiné au parement interne qui se retourne en façade à l'angle Est est particulièrement intéressant à suivre. La première esquisse montre bien que le parement de façade s'appuie sur toute sa longueur contre des parements internes ; les deux plus externes se retournant pour former les façades latérales. Cependant, le point le plus haut retrouvé sur le parement à l'angle Nord-Est est dans les faits plus bas que celui découvert pour le parement de façade. Par conséquent, ce parement qui était visible sur la première esquisse se trouve complètement ennoyée dans la maçonnerie. *In fine*, le parement de façade semble surgir de la réserve archéologique pour s'enrouler autour du parement de façade. Seul un raccord en sifflet entre le parement de façade et celui de la façade latérale permet de comprendre l'organisation des structures, mais cela n'est pas forcément explicite pour un œil qui n'est pas exercé à une telle lecture.

Les parties les plus fragilisées ont été démontées lors de la restauration pour être consolidées avec du ciment à l'arrière du parement.

Enfin, la reconstruction des parements a été renforcée en utilisant du ciment afin de les solidariser avec la masse interne. Cependant, nous ne savons pas si les techniques de construction de murs en pierres sèches ont été respectées lors de la restauration, les travaux des restaurateurs n'ayant pas été documentés. Pour la stabilité des structures (Cf. figure 17), il est indispensable d'utiliser des panneresses (pierres de façade peu épaisses) et des boutisses d'ancrages (pierres s'enfonçant profondément dans la masse). Ce type de pose permet de créer un chaînage entre le parement visible et la masse de pierres située juste derrière. Le même principe est utilisé par exemple pour la construction de murs en brique. Si ce principe constructif n'est pas suivi, l'utilisation d'un mortier comme le ciment ne pourra pas combler la faiblesse structurelle, et les structures pourront à terme se détruire sous la pression du remplissage.



17. Coupe sur le système constructif d'un mur de soutènement de terrasse en culture (construction en pierre sèche)

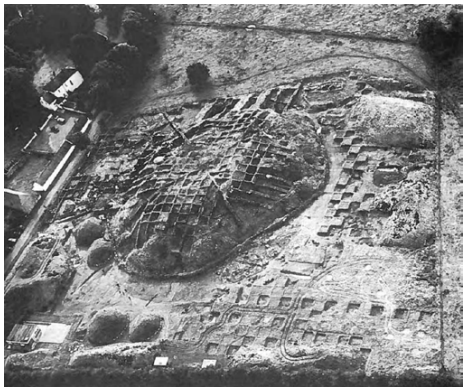
4.2.2. La pratique de la restauration des tombes à couloir du Néolithique à l'échelle européenne

La comparaison des pratiques de restauration avec les autres pays européens sur ces mêmes architectures montre que d'autres pratiques sont possibles. Nous nous attacherons pour cela aux restaurations effectuées dans le Nord des îles britanniques (Écosse et Irlande) et à la péninsule ibérique.

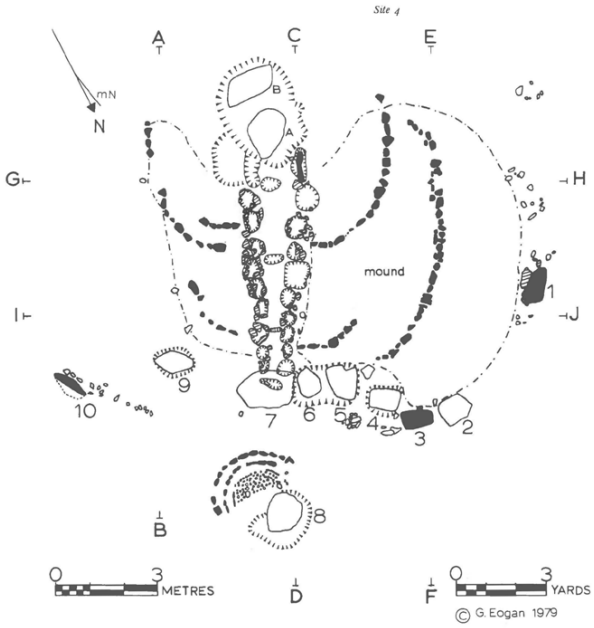
Le cairn de Quanterness (Kirkwall, Écosse) a été fouillé de 1972 à 1974 par C. Renfrew (Renfrew et al. 1979), c'est-à-dire une dizaine d'années après les travaux sur Barnenez. Des murets concentriques ont également été retrouvés dans la masse tumulaire. La proposition de restauration s'appuie sur



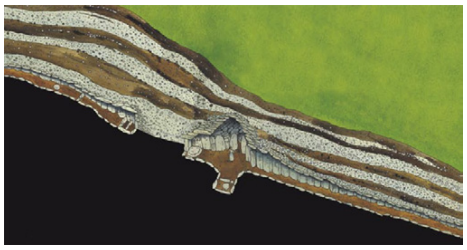
Knowth, site 1 (vue aérienne depuis
l'Est avant le chantier de fouille ;
cliché de J.K. St Joseph ; Eogan 1984 page 2)



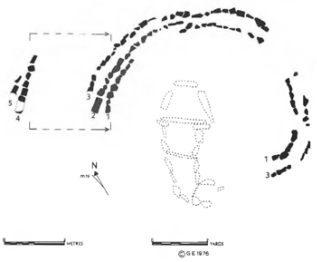
Knowth, site 1 (vue aérienne depuis
l'Ouest pendant le chantier de fouille ;
cliché de D.L. Swan ; Eogan 1984 page 6)



Knowth, site 4
(Eogan 1984, page 33)



Extrait de coupe sur Knowth 1
(support de médiation du site)



Knowth, site 16
(Eogan 1984, page 121)



Photo de R.I. Lynam

18. Le modèle de restauration des tombes de Knowth (Irlande)

la stratigraphie observée sur site, et ne met pas en évidence de structures en paliers. Il s'agit plutôt d'une forme arrondie (Cassen et al. 2013a). Ces observations et cette morphologie seront mobilisées pour de nombreuses autres tombes d'Écosse et d'Irlande. C'est ainsi que les tombes de la vallée de la Boyne en Irlande sont restituées aux visiteurs.

Le site de Knowth, fouillé par G. Eogan à partir de 1962 a permis de découvrir les deux sépultures du tertre principal et les tombes satellites (Eogan 1984). Il faut remarquer que le tertre principal ne possède pas de parements internes, mais qu'il est constitué de différentes couches se superposant les unes sur les autres (Cf. figure 18) ; la volumétrie générale est donnée par une moindre épaisseur des différentes couches stratigraphiques et un pendage plus important en périphérie. Les tombes périphériques avaient été largement arasées par le temps et leur exploitation en carrière. Néanmoins, deux des tombes satellites (site 4 et 16) montrent des structures internes qui pourraient être des murets. Toutes les tombes ont été restaurées suivant le principe d'une couverture arrondie au sommet relativement plat – même celles dont il ne restait que peu de structures en élévation.



19. Mise en valeur du dolmen d'Alberite, Villamartín (Andalousie, Espagne)

En Espagne, une autre stratégie est mise en place. Les structures tumulaires ne sont pas remontées dans l'objectif de restituer une forme architecturale supposée correspondre à l'architecture du monument lors de sa construction. En revanche, les vestiges à l'issu de la fouille sont nettoyés et consolidés, et une structure est construite au-dessus afin de protéger le site des intempéries. Tous les sites ne bénéficient pas de ces mesures, mais le cas s'est présenté plusieurs fois.

Le premier exemple est celui du dolmen de Dombate (Cabana de Bergantiños, Galice) (Cebrian del Moral et al. 2010, p. 109). Après le chantier de fouilles (1987-1989), un schéma directeur pour la valorisation du site verra le jour en 1999. Il s'agit de définir les orientations à suivre, en plusieurs étapes, afin d'allier des objectifs très divers (conservation des vestiges archéologiques, activité économico-touristiques, discours pédagogiques, etc.). Le programme comprend de nouvelles interventions sur le dolmen (études complémentaires et nettoyage) et sur l'environnement proche. Une fois que les études archéologiques ont été terminées, un concours d'architecture a été organisé pour la conception d'une protection du dolmen et un centre d'interprétation qui vient en support à la visite. Ici, le principe sous-jacent n'est plus de chercher l'image initiale de l'architecture tumulaire, mais de laisser place à une création architecturale en intervenant le moins possible sur les vestiges archéologiques. Conçu à la manière d'un jardin archéologique avec différents sondages laissés ouverts et montrant les différentes phases d'occupation, le visiteur est comme placé au cœur du chantier, face à l'épaisseur historique du site.

Dans le sud de l'Espagne cette fois, le dolmen d'Alberite (Villamartin, Andalousie) a été découvert en 1993 (Ramos Muñoz et al. 1993) et a bénéficié de travaux de valorisations. Située dans un champ cultivé, la sépulture avait été endommagée et les dalles de couverture n'étaient plus dans leur position initiale. La structure tumulaire recouvrant le monument était par ailleurs complètement étalée. La fouille a permis de dégager en totalité le couloir, et de déterminer à peu près l'emprise du tumulus. Le principe retenu pour la restauration du monument (Cf. figure 19) consiste à laisser le couloir tel qu'il était, c'est-à-dire sans les dalles de couverture. Les orthostates avaient été replacés verticalement pour ceux qui avaient basculé. Le sol a été aplani à l'arrière des stèles de manière à former une plate-forme à partir de laquelle il est possible de dominer le couloir. Afin de protéger cet ensemble des intempéries, un dôme a été construit. Cette couverture s'appuie sur quatre points éloignés au maximum du couloir, et se situe dans le prolongement de la topographie tout en suggérant la volumétrie initiale de la tombe. Ici, la stratigraphie est manquante pour extrapoler la morphologie initiale à partir de ce seul site. Avec ce monument, un petit centre d'interprétation avait également été construit, mais il n'est plus utilisé aujourd'hui.

Dernier exemple, les dolmens de Vera et de Menga (Antequerra, Andalousie) sont deux monuments qui ont également bénéficié de fouilles suivies d'un projet de valorisation (Ruiz Gonzalez 2009). À l'instar des sites ibériques présentés précédemment, un centre d'interprétation introduit la visite des monuments. Les fouilles réalisées en 2004 ont principalement concernés les couloirs des deux tombes. Les tumulus n'ont pas été explorés, et les deux enveloppes correspondent toujours aux éboulis naturels ; les structures périphériques n'ont pas été recherchées.

À travers les pratiques de restauration de trois régions européennes (le Nord des îles britanniques, l'Ouest de la France et la péninsule ibérique) sur des architectures répondant aux mêmes faits sociaux, nous pouvons constater que les approches sont très diversifiées.

4.2.3. Évolution de la réflexion au sujet de la restauration des monuments

4.2.3.1. L'établissement de deux écoles de pensée au XIXe siècle

Les postures présentées précédemment sont le reflet de deux positions que nous pouvons qualifier d'extrêmes et qui paraissent inconciliables au sujet de la restauration du patrimoine. Ces deux cadres de réflexion sont posés par E.-É. Viollet-le-Duc (architecte français) et J. Ruskin (écrivain, peintre et critique d'art britannique). Entre ces deux écoles, des positions intermédiaires existent comme celle du Baron H. de Geymüller (1839 – 1909, architecte et historien de l'art) ou d'A. Riegl (1858 – 1905, historien de l'art et conservateur de l'*Österreischisches Museum für Kunst und Industrie* de Vienne). Bien que très intéressantes, nous ne les aborderons pas au risque de nous perdre dans une myriade de positions intermédiaires qui ne clarifieront pas notre propos sur les architectures funéraires collectives du Néolithique. Notre objectif ici est de comprendre à quels référents les interventions sur ces architectures se rattachent.

<u>La posture d'E.-É. Viollet-le-Duc :</u>

La première posture est celle développée par E.-É. Viollet-le-Duc. Il expose sa définition dans son *Dictionnaire raisonnée de l'architecture française du XIe au XVe siècle* dans l'entrée du même nom : « restaurer un édifice, ce n'est pas l'entretenir, le réparer ou le refaire, c'est le rétablir dans un état complet qui peut n'avoir jamais existé à un moment donné » (Viollet-le-Duc 1859). Pour cela, plusieurs préceptes sont énoncés pour guider l'architecte dans les travaux de restauration.

Il faut dans un premier temps que l'architecte ait une bonne connaissance du bâtiment, et ce pour plusieurs raisons. D'abord, il doit être capable d'identifier le style artistique et constructif de l'édifice, autrement dit les savoir-faire mis en œuvre par les artisans, et le respecter. Ensuite, il doit être vigilant sur les matériaux utilisés pour la restauration. Il ne faut « substituer à toute partie enlevée que des matériaux meilleurs et des moyens plus énergiques ou plus parfaits. Il faut que l'édifice restauré ait passé pour l'avenir, par suite de l'opération à laquelle on l'a soumis, un bail plus long que celui déjà écoulé ». Les travaux engagés pour la restauration du monument doivent être menés avec soin tant dans le choix des matériaux que dans leur mise en œuvre, puisque la stabilité du monument doit être assurée du début à la fin. E.-É. Viollet-le-Duc insiste sur ce point car les constructions médiévales, et plus particulièrement les églises et les cathédrales, sont édifiées selon des principes d'équilibre. Il ne faut pas les perturber au risque d'ébranler la structure de l'édifice : la voûte s'appuie sur le pilier mais est retenue par l'arc-boutant, lui-même stabilisé par sa propre masse…

Ensuite, la question de l'aménagement se pose aussi dans le sens où si l'usage, le programme devait être changé, il faut rester dans l'esprit de la conception du monument. C'est certainement un des passages parmi les plus importants concernant la restauration des édifices selon E.-E. Viollet-le-Duc :

> *« Le mieux est de se mettre à la place de l'architecte primitif et de supposer ce qu'il ferait, si, revenant au monde, on lui posait les programmes qui nous sont posés à nous-mêmes. Mais on comprend qu'alors il faut posséder toutes les ressources que possédaient ces maîtres anciens, qu'il faut procéder comme ils procédaient eux-mêmes. Heureusement, cet art du Moyen Âge […] est si souple, si subtil, si étendu et libéral dans ses moyens d'exécution, qu'il n'est pas de programme qu'il ne puisse remplir. Il s'appuie sur des*

> *principes, et non sur un formulaire ; il peut être de tous les temps et satisfaire à tous les besoins, comme une langue bien faite peut exprimer toutes les idées sans faillir à sa grammaire. C'est donc cette grammaire qu'il faut posséder et bien posséder ».*

Dernier point préconisé : il faut documenter chaque étape du chantier, de la prise de connaissance du site à la réalisation du projet, avec les outils les plus modernes à disposition. En l'occurrence, il s'agissait de l'usage de la photographie qui s'impose à l'époque d'E.-É. Viollet-le-Duc.

La recherche de l'unité stylistique du monument est un des objectifs principaux d'E.-É. Viollet-le-Duc. Pour y parvenir, il n'hésite pas à supprimer les interventions postérieures à l'état initial du monument – dans le cas où il est possible de définir cet instant de la vie de l'édifice. La restauration telle que définie ici se propose bien de chercher un état supposé et théorique, même si cet état n'a jamais existé. Les matériaux importent dans le processus de restauration, mais uniquement d'un point de vue fonctionnel. En somme, l'impression et la qualité des espaces importent plus que l'épaisseur historique. Cette démarche a été vivement critiquée, et ce dès le XIXe siècle par l'un de ses plus fervents opposants : J. Ruskin.

La posture de J. Ruskin :

J. Ruskin, historien de l'art anglais, possède une vision toute autre du patrimoine et de la manière de le protéger et de le transmettre aux générations futures. Il développe sa perception de l'architecture dans son essai *The Seven Lamps of Architecture* (Ruskin 1849). Ces sept lampes sont exposées séparément et dans cet ordre : 1/ the Lamp of Sacrifice ; 2/ the Lamp of Truth ; 3/ the Lamp of Power ; 4/ the Lamp of Beauty ; 5/ the Lamp of Life ; 6/ the Lamp of Memory ; 7/ the Lamp of Obedience. La pensée de J. Ruskin se développe principalement selon deux axes.

Le premier axe est une vision organique de l'architecture. Il s'oppose en cela fortement à la démarche d'E.-É. Viollet-le-Duc puisque l'unité stylistique du monument lui importe peu. Il conçoit l'édifice comme un être vivant qui se transforme avec le temps. Depuis sa construction, certaines parties ont été ajoutées, supprimées, étendues... et toutes ces modifications font partie intégrante de l'histoire même du monument. Il n'est pas question pour J. Ruskin de privilégier un événement à un autre : c'est la totalité qui doit être conservée pour les générations futures. Pour jouer sur la métaphore, c'est en considérant tous les membres de cet édifice sur un pied d'égalité qu'il pourra rester en bonne santé, à l'instar du corps humain. Qu'un seul organe tombe malade et la survie du corps est en danger. Cette notion est particulièrement fondamentale et s'oppose totalement à la recherche de l'unité stylistique développée par E.-É. Viollet-le-Duc.

Le second axe s'appuie sur une définition précise de ce qu'est l'authenticité. Cette notion est principalement abordée à travers les signes de vétusté et d'érosion du monument car c'est ce qui donne la valeur d'ancienneté. Ce thème inclus également celui de la conservation du geste et de l'outil qui ont imprimé la surface et qui caractérisent le processus de fabrication – et plus largement encore

le mode de conception – de la pièce. C'est ainsi que J. Ruskin déplore notamment les restaurations du baptistère de Pise, à la Ca' d'Oro à Venise, à la cathédrale de Lisieux (Ruskin 1849; Germann 2009, p. 378) :

> *« la première démarche d'une restauration est de mettre en morceaux le vétuste ouvrage, la deuxième, de le remplacer par l'imitation la moins chère et la plus basse susceptible de passer inaperçue. Mais dans tous les cas, une imitation, quelque soigneuse et élaborée qu'elle puisse être, n'est qu'un modèle froid ».*

Les pièces originales sont ainsi irremplaçables pour J. Ruskin puisqu'il est strictement impossible de reproduire toutes les subtilités des états de surfaces. Autrement dit, la recréation de la pièce n'est qu'une interprétation des savoir-faire déployés pour la réalisation et constitue un appauvrissement de l'original. Enfin, le point final est porté par la disparition des émotions causée par la restauration. Les pratiques dénoncées s'apparentent effectivement davantage à une rénovation (remise à neuf).

C'est ce qui poussera J. Ruskin à militer dès 1854 pour la création d'une nouvelle institution en faveur d'une conservation des monuments selon ses paradigmes (Germann 2009, p. 385). Ses vœux se réaliseront sous l'égide de W. Morris en 1877 à travers The Society for the Protection of Ancient Buildings qu'il appela affectueusement The Anti-Scrape Society – « la société contre le grattage ». Le discours porté accentue tellement la nécessité de conserver intact les édifices qu'une lecture caricaturale pourrait laisser croire que J. Ruskin préfère voire les édifices s'écrouler et disparaître que d'intervenir et de les restaurer. Ceci n'est pas tout à fait juste puisque le principe fondamental exposé par l'auteur est la conservation du patrimoine comme le prouve cet extrait, toujours issu de *The Seven Lamps of Architecture* :

> *« Prenez le soin nécessaire de vos monuments, et vous n'aurez pas besoin de les restaurer. Quelques feuilles de plomb mises à temps sur le toit, quelques feuilles mortes retirées des gouttières sauveront le toit et la muraille. Surveillez un vieux bâtiment avec une surveillance scrupuleuse, préservez-le, autant que possible et à tout prix, de chaque symptôme d'écroulement [...]. Reliez-le par des armatures de fer s'il se démembre, étayez-le par des poutres s'il s'incline, ne vous souciez pas de l'aspect déplaisant de ces remèdes, car l'usage d'une béquille vaut mieux que la perte d'un membre. Enfin, tout cela, faites-le tendrement, respectueusement et continuellement, et mainte génération naîtra et décédera encore à son ombre ». (traduction : G. Germann). (Germann 2009, p. 381).*

La conservation prônée par J. Ruskin est donc une observation de tous les instants, et la mise en place de dispositif permettant de protéger l'édifice. Ces agencements doivent cependant être installés en cohérence avec le monument lui-même. Protéger de tous les agents naturels destructeurs, le monument pourra perdurer de nombreux siècles. En revanche, la réflexion présentée ici ne permet pas de répondre aux questions suscitées par les destructions de guerre par exemple – comme ce fut le cas lors de la première guerre mondiale.

Bien sûr les postures d'E.-É. Viollet-le-Duc et de J. Ruskin présentées ici ne sont pas les seules développées au XIXe siècle, et bien d'autres ont suivi au XXe siècle. Néanmoins, elles sont jugées suffisamment opposées et extrêmes pour montrer l'éventail des attitudes adoptées à leur suite. En

outre, notre objectif n'est pas de décrire l'ensemble des approches concernant la restauration de manière exhaustive, mais de présenter dans quel contexte seront menées les interventions sur les architectures funéraires néolithiques.

Dans un contexte où le patrimoine architectural était de plus en plus menacé par la pollution, l'érosion touristique, la pression démographique et l'apparition de projets urbains de l'entre-deux guerres, la réflexion sur les moyens de protection du patrimoine sort des cadres nationaux et s'internationalise avec les chartes.

4.2.3.2. La charte d'Athènes (1931)

Le deuxième quart du XXe siècle a été marqué par la nécessité de promouvoir une architecture et un urbanisme fonctionnels. C'est dans ce contexte que vingt-huit architectes emmenés par Le Corbusier, H. de Mandrot et S. Giedion ont fondé le premier congrès international d'architecture moderne (CIAM) en 1928. Dix congrès seront organisés jusqu'en 1956.

Dans le « prolongement de ce mouvement », les architectes et les techniciens des monuments historiques se réunissent en 1931 à Athènes et adoptent la charte d'Athènes (ICOMOS 2004a). Les conclusions produites seront en grande partie intégrées au quatrième CIAM de 1933, qui a également eu lieu à Athènes. Le Corbusier se servira de ces conclusions pour rédiger et publier la Charte d'Athènes en 1941 (première édition en 1942).

Ce document des architectes et des techniciens du patrimoine concerne :

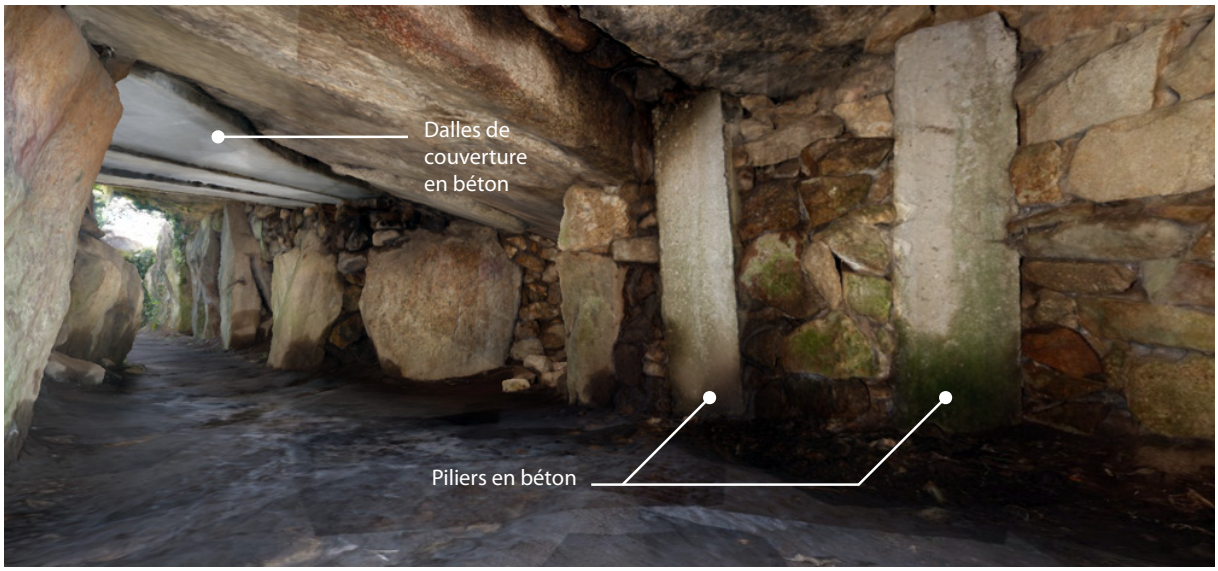
- la création d'instances internationales pour la protection du patrimoine ;
- la préservation du caractère et des valeurs historiques des monuments grâce à une consultation auprès d'experts avant toute intervention :
- la mise en place de législation nationale pour la conservation du patrimoine ;
- l'enfouissement des sites dont la pérennité n'est pas assurée ;
- l'emploi des techniques modernes dans la restauration sans toutefois en dénaturer l'aspect ;
- un contrôle de l'accès au site afin d'éviter tout acte de vandalisme ;
- la protection du site dans lequel s'inscrit le monument.

Les restaurations des dolmens ont souvent bénéficié de l'emploi de béton armé. Le dolmen de Grah'Niol (Arzon, Morbihan) peut être cité en exemple car dès les années 1930, les dalles de couverture du couloir manquantes sont substituées par des dalles de ciment (Cf. figure 20). Leur insertion est relativement discrète puisqu'elles sont recouvertes de terre à l'extérieur, et que l'obscurité et l'étroitesse du couloir ne portent pas le regard vers le plafond.

La même stratégie est appliquée aux Pierres Plates (Locmariaquer, Morbihan). Des dalles en béton sont utilisées pour remplacer les originales manquantes (Cf. figure 21). Mais ici, elles sont également visibles depuis l'extérieur. Elles se différencient cependant assez bien dans le contexte grâce à leur forme parallélépipédique et aux stries régulières imprimées à leur surface.

Nous retrouvons encore l'emploi de dalles entières pour la restauration du dolmen de Mané Rutual (Locmariaquer, Morbihan) pour consolider la dalle de couverture de la chambre funéraire (Cf. figure 22). Celle-ci est en porte-à-faux et s'est brisée avec le temps à cause d'efforts trop importants. La restauration menée dans les années 1930 également a eu pour objectif de replacer le morceau cassé en connexion avec la partie qui n'a pas bougé. Pour cela, des dalles en béton ont été utilisées comme pilier. Si le projet initial est louable, il est dommage en revanche que leur implantation crée un espace à l'arrière de la chambre qui ne corresponde pas à une structure archéologique. De l'extérieur, un talus de terre vient s'appuyer contre cet ajout ; seul le sommet des supports reste visible. Sur cette tombe, il est préjudiciable que la restauration impacte la lecture des vestiges archéologiques.

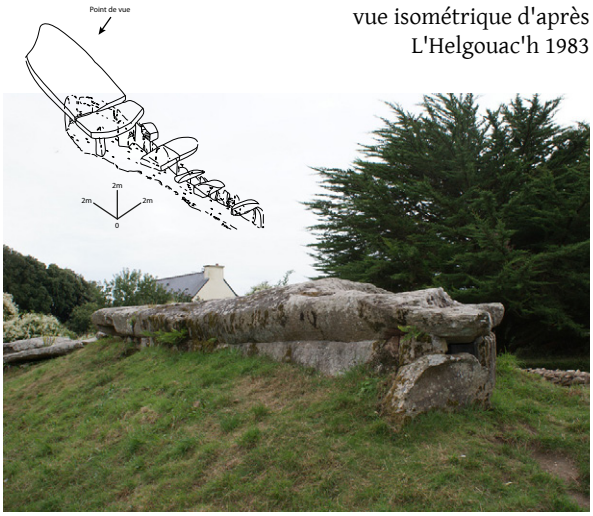
Ces trois exemples montrent comment les restaurations sont menées sur les tombes à couloir du littoral morbihannais dans les années 1930. Elles sont toutes en accord avec les principes édictés par la charte, même si le dernier exemple s'en éloigne un peu puisqu'une autre lecture des structures archéologiques est proposée.



20. Identification des éléments en béton dans la tombe de Grah Niol (Arzon, Morbihan)



21. Vue des dalles de couverture de la tombe à couloir des Pierres Plates, Locmariaquer (Morbihan)



vue isométrique d'après L'Helgouac'h 1983

22. Vue arrière de la tombe à couloir de Mané Rutual, Locmariaquer (Morbihan)

En revanche, d'autres points spécifiés dans cette charte d'Athènes de 1931 ne sont pas appliqués de manière systématique. Par exemple, les interventions ne sont que très peu documentées, et le caractère pluridisciplinaire de la restauration est absent. Il faut noter que ces architectures préhistoriques ne semblent pas avoir intéressé les architectes. Nous trouvons ici une limite de la charte.

4.2.3.3. La charte de Venise (1964)

Le deuxième congrès des architectes et des techniciens des monuments historiques se déroule en 1964 à Venise. À l'issu de ce rendez-vous sera rédigé la Charte de Venise (Gazzola et al. 1964). La raison de cette nouvelle charte, trente-trois ans après celle d'Athènes tient au fait que « la sensibilité et l'esprit critique se sont portés sur des problèmes toujours plus complexes et plus nuancés ». Elle s'appuie ainsi sur les conclusions de la charte d'Athènes et les complète.

Cette charte s'organise autour de six thèmes :

- définitions ;
- conservation ;
- restauration ;
- sites monumentaux ;
- fouilles ;
- documentation et publication.

La définition des objets concernés n'est pas traitée dans la charte d'Athènes. Le périmètre d'intervention inclus les architectures monumentales comme les œuvres modestes, à condition qu'elle reflète « une civilisation particulière, une évolution significative ou un événement historique » (article 1). Le caractère transdisciplinaire est affirmé (article 2) et l'objectif est bien de « sauvegarder tout autant l'œuvre d'art que le témoin de l'histoire » (article 3).

La conservation du monument doit dans la mesure du possible favoriser l'affectation du monument à une fonction utile à la société (article 5). Si la conversion du patrimoine architectural pour accueillir des activités de service est relativement aisée pour les édifices récents, cela est beaucoup moins vrai dès que les configurations spatiales sont trop éloignées des espaces propres aux activités contemporaines. En l'occurrence, les tombes collectives néolithiques ne permettent pas d'installer de nouvelles activités dans ces espaces. La seule « fonction utile » applicable à ces architectures selon la charte de Venise est une activité économique liée au tourisme.

Le thème suivant – toujours associée à la conservation – insiste sur la protection de l'unité du monument. L'édifice doit rester dans son contexte urbain ou paysager dans le sens où cet environnement doit être préservé (article 6) et le monument ne doit pas être démembré et déplacé (article7). Les mêmes considérations s'appliquent pour les ornements (article 8). Des exceptions sont envisageables si c'est la seule manière d'assurer la pérennité du patrimoine.

Ce point est particulièrement sensible pour la conservation des stèles. À Gavrinis, la dalle de seuil S12 a été retirée et substituée par un moulage car les gravures visibles étaient foulées par les visiteurs et

leur visibilité s'atténuait d'années en années. En conformité avec la charte de Venise, une mesure de conservation a été appliquée. D'une manière plus générale, la question du statut des stèles découvertes pose problème : constituent-elles des objets mobiliers ou immobiliers ? Et comment les protéger face à des opérations immobilières ?

Le thème suivant concerne la restauration. Il est spécifié que cette opération doit conserver un caractère exceptionnel. En outre, « elle s'arrête là ou commence l'hypothèse ». Il est de plus spécifié que « tout travail de complément reconnu indispensable pour raisons esthétiques ou techniques relève de la composition architecturale et portera la marque de notre temps » (article 9). En cela les principes émis par J. L'Helgouach et appliqués par P.-R. Giot pour la restauration des cairns suivent la charte de Venise tout en prenant quelques libertés puisque le parti-pris consiste à reconstruire les parements jusqu'au point le plus haut reconnu. Bien que l'interprétation architecturale des parties manquantes semble limitée, elle provoque de fait une impression de finition qui va à l'encontre du discours initialement proposé.

La consolidation d'un monument peut s'appuyer sur « toutes les techniques modernes de conservation et de construction dont l'efficacité aura été démontrée par des données scientifiques et garantie par l'expérience » (article 10). Contrairement à la charte d'Athènes, aucun matériau n'est cité, et il faut que celui-ci ait montré l'efficacité de la réponse apportée. Les effets nocifs du ciment pour la conservation du patrimoine avaient déjà montré leurs limites. Avec le temps, ce matériau dégorge en effet des sels minéraux qui, entraînés par l'eau, peuvent s'accumuler sur les surfaces originelles, voire les attaquer.

Le projet de restauration ne doit pas poursuivre l'objectif d'une unité de style telle que pratiquée par E.É. Viollet-le-Duc. En outre, « le dégagement d'un état sous-jacent ne se justifie qu'exceptionnellement et à condition que les éléments enlevés ne présentent que peu d'intérêt, que la composition mise au jour constitue un témoignage de haute valeur historique, archéologique ou esthétique, et que son état de conservation soit jugé suffisant » (article 11). De plus, « tout travail de reconstruction devra être exclu à priori ; seule l'anastylose peut être envisagée » (article 15). La fouille et la restauration du cairn de Gavrinis peuvent en ce sens poser question puisqu'elles ont complètement effacées la fouille médiévale : le cratère a été comblé et les deux aspects de l'enveloppe témoignant de deux phases distinctes (éboulis naturels et rejets du cratère) sont effacés de l'histoire du monument. Les interventions réalisées sur le cairn de Gavrinis entre 1979 et 1984 semblent aujourd'hui assez éloignées des préconisations de la charte de Venise. Il faut remarquer que les interventions sur le site de Petit Mont (Arzon, Morbihan) et de la Table des Marchands (Locmariaquer, Morbihan) sont bien plus lourdes qu'à Gavrinis et s'éloignent davantage des recommandations de cette charte. Dans ces deux cas, contrairement à Gavrinis, aucune réserve archéologique n'a été constituée. De plus, les interprétations architecturales sont assez grandes pour la Table des Marchands.

Il faut remarquer aussi que l'usage du ciment est toujours en vigueur lors des campagnes de restaurations débutées à la fin des années 1970 – la charte de Venise ne condamnant pas ce matériau. Mais contrairement à ce qui a été présenté précédemment, l'usage ne consiste plus à utiliser des modules pour remplacer certaines parties manquantes, mais à fixer les moellons comme s'il s'agissait d'une maçonnerie moderne. C'est ainsi que les moellons constituant les parements de façade sont fixés. L'usage de mortier moderne est omniprésent également pour la construction de la voûte de



23. Etat sanitaire des éléments de la restauration de Gavrinis (1979 - 2013) ; (Cassen et al. rapport 2013)

décharge au-dessus de la dalle de couverture de P10 à Gavrinis. Enfin, le dernier cas d'utilisation de ce matériau consiste à aménager des espaces sanitaires à l'arrière de certaines stèles – à l'arrière de la dalle L11 à Gavrinis, mais la même stratégie a été appliquée au dos de la dalle de chevet de la Table des Marchands. Bien que ce ne soit pas visible des visiteurs, cette matière est bien présente.

Les effets néfastes de l'utilisation du béton sont clairement visibles pour la voûte de décharge à Gavrinis (Cf. figure 23). Le problème notamment est de constater que l'eau chargée de sels minéraux traverse les différentes parties du monument et finit par ruisseler sur les surfaces gravées du couloir – et certainement sur de probables gravures non découvertes au dos d'autres orthostates. Cet exemple concret permet de démontrer que le non-respect des méthodes de construction du monument (construction en pierre sèche) peut mettre en danger la pérennité des spécificités du site.

Enfin, le dernier point évoqué par la charte est la constitution d'une documentation adéquate renseignant les interventions et l'historiographie du site. L'objectif est de pouvoir réaliser les choix de restauration et de valorisation en connaissance de cause.

4.2.3.4. La charte de Cracovie (2000)

La dernière charte en vigueur concernant la conservation et la restauration du patrimoine architecturale est celle de Cracovie, éditée en l'an 2000 (The Charter of Krakow 2000). Ce document n'est pas une charte internationale contrairement aux deux précédentes ; elle a été éditée à l'échelle européenne. Elle s'inscrit dans la continuité des deux précédentes, mais elle précise un cadre conceptuel important avec la définition du « projet de restauration » (article 6). Celui-ci « doit être basé sur un éventail d'options techniques adéquates et être préparé par un processus cognitif de recueil d'informations et de compréhension de l'immeuble ou du site » (article 3 et définition G de l'annexe), ce qui induit par conséquent l'interdisciplinarité. Enfin, le projet de restauration doit être basé sur des principes que la Charte définit par celui de l'intervention minimum pour garantir l'authenticité, l'intégrité et l'identité de l'objet patrimonial.

Nous parlons ici d'objet car le patrimoine ne se définit plus seulement à l'échelle de l'architecture, de son environnement proche et des ornements. Si les chartes précédentes recommandaient de considérer ces deux échelles supplémentaires, la charte de Cracovie demande expressément de les intégrer dans les projets de restauration. Le lien entre le patrimoine architectural, le paysage urbain ou rural et le territoire est particulièrement mis en évidence car « dans de nombreuses sociétés, les paysages ont un rapport historique avec le territoire et les influences de la ville » (articles 5, 8 et 9). Le patrimoine architectural est une réponse spécifique à des besoins particuliers dans un contexte culturel spécifique, et tout cela produit un sens quand toutes les échelles sont mises en relation.

L'utilisation des matériaux et techniques modernes pour la restauration du patrimoine architectural est plus nuancée que dans les chartes précédentes. Désormais, il faut que « tous nouveaux matériaux, toutes nouvelles technologies doivent être rigoureusement testés, comparés et maîtrisés avant application » ; la restauration doit ensuite faire l'objet d'un suivi permanent (article 10). C'est un point important car il faut que les opérations soient réversibles. Les travaux engagés dans cette direction

ont pour objectif de mieux connaître les techniques de construction vernaculaires. Ce savoir peut ensuite idéalement être transféré sur les chantiers de construction. Cela permet notamment d'assurer une homogénéité urbaine et une continuité des savoir-faire.

Enfin, la présentation au public est encouragée avec notamment « le recours aux technologies modernes, aux banques de données, aux systèmes d'information et aux techniques de présentation virtuelle » (article 13). C'est la première fois que les outils informatiques sont évoqués pour la valorisation du patrimoine architectural. Les recommandations sont très vagues, et ce domaine fera l'objet de deux nouvelles chartes : la charte de Londres (Hugh Denard 2009) et la charte de Séville (Principles of Seville 2011). La première définit l'utilisation de tous les documents numérisés – principalement les textes et images ; la seconde s'attache à traiter l'imagerie 3D.

Les questions de gestion des sites patrimoniaux (articles 11 et 12) et de leurs protections légales (article 14) ne seront pas développées ici car elles sont trop déconnectées de nos préoccupations.

Depuis la publication de la charte de Cracovie, relativement peu de tombes néolithiques ont été restaurées. Nous pouvons nous appuyer sur le site de Souc'h (Plouhinec, Finistère). Après les fouilles de la fin du XIXe siècle menées par A. Grenot, le site sera de nouveau exploré entre 2001 et 2009 (Le Goffic 2010). En terme de gestion du chantier de restauration, la mise en œuvre des travaux correspond aux recommandations de la charte de Cracovie (possibilité de retrouver l'état initial et l'emploi de matériaux de construction en accord avec le monument). En revanche, la restauration s'appuie toujours sur le modèle de Barnenez édicté par J. L'Helgouac'h et P.-R. Giot. L'image instaurée dans les années 1960 perdure malgré l'évolution des approches concernant la gestion du patrimoine architectural.

4.2.3.5. Autres chartes

D'autres chartes ont été éditées entre celle de Venise (1964) et celle de Cracovie (2000) concernant la gestion du patrimoine (Tanguay 2012, p. 109). Mais à la différence de celles présentées, elles sont toutes spécialisées sur des thématiques, s'attaquant tour à tour aux jardins historiques (ICOMOS 1981), à la sauvegarde des villes historiques (ICOMOS 1987), au tourisme culturel (ICOMOS 1999b), au patrimoine bâti vernaculaire (ICOMOS 1999a), etc.

4.3. Conclusion

Après avoir mis en relation l'ensemble de la documentation récoltée au sujet de Gavrinis, nous avons pu reconstituer l'histoire du monument depuis son édification. Les dernières interventions portées sur le monument concernent la restauration qui avait pour objectif d'améliorer les conditions de visite et proposer du contenu. Cependant, la mise en perspective de cette restauration avec celles d'autres sites révèlent les limites de ces travaux. Un nouveau focus sur le site de Gavrinis devient donc indispensable pour ancrer dans le réel ce que nous avons découvert dans les archives. L'objectif est de produire de nouvelles clefs d'analyse.

III/

Mise en place d'un nouvel appareillage instrumental afin de réinterroger le site de Gavrinis

Chapitre 5. Vers un renouvellement des représentations de ces architectures

« Ce que je n'ai pas dessiné, je ne l'ai point vu »
Johann Wolfgang von Goethe

Nous avons vu que l'image présentée au public actuellement à travers la restauration issue de la dernière campagne de fouilles 1979 – 1984 est maintenant dépassée. Un retour sur site devient nécessaire afin de renouveler la représentation de cette architecture, ce qui permettra de travailler à partir de documents plus précis.

Devant l'abondance des outils et des moyens disponibles aujourd'hui pour représenter des espaces, nous jugeons qu'il est utile de revenir sur ce que doit être un relevé architectural et les résultats à atteindre.

5.1. Que signifie « établir le relevé d'une architecture » ?

5.1.1. Origine et objectifs du relevé architectural

5.1.1.1. La Lettre à Léon X comme manifeste de la documentation des architectures

L'établissement de la pratique du relevé architectural est communément attribué à l'artiste de la Renaissance Raphaël (1483 – 1520). Les principes auraient été écrits à destination du pape Léon X (1475 – 1521 ; son pontificat commence en 1513). La *Lettre à Léon X* est le fruit d'un échange épistolaire entre le pape et l'artiste Raphaël, et d'une évolution complexe liée à l'exploitation des ruines de la Rome antique comme carrière de marbre. Sans avoir la prétention de retracer une histoire fine de cette période, il semble important de montrer dans quel contexte le relevé architectural est apparu.

Il existe trois versions connues de cette lettre : la version manuscrite de Mantoue, la version manuscrite de Munich et l'édition de Padoue en 1733. La paternité de la lettre est attribuée à Raphaël et sa rédaction datée vers 1519 (El-Wakim 2005). Cependant, d'autres auteurs soutiennent que Raphaël ne l'a pas rédigé seul, mais de concert avec l'écrivain Castiglione (Paoli 2010). Bien qu'il s'agisse d'une lettre puisqu'elle entre dans une correspondance entre le pape et l'artiste (la lettre précédent celle-ci est datée du 27 août 1515), la vocation de ce texte « inachevé et rédigé en langue vulgaire » (El-Wakim 2005, p. 10) se situe au-delà d'un échange entre deux hommes. Ce sont les bases d'une réflexion plus large qui sont ici établies, et qui seront reprises par d'autres personnes après le décès prématuré de Raphaël.

Dans une période de renforcement du pouvoir papal, les projets architecturaux fleurissent à Rome et les besoins en matériaux de construction deviennent très importants. C'est naturellement que les ruines antiques se transforment en carrière ; les matériaux y sont de bonne qualité et en abondance. Cette période est également marquée par la redécouverte de l'architecture et des arts antiques puisque sous les pontificats de Jules II et de Léon X, plusieurs pièces maîtresses de l'art romain sont découvertes : le groupe du *Laocoon* est exhumé le 14 janvier 1506, année de l'identification de la *domus aurea* de Néron ; les statues du *Nil* et du *Tibre*, le *Torse du Belvédère*, l'*Ariane endormie*, l'*Apollon du Belvédère* et de nombreux bronzes antiques sont découverts dans les années qui suivent (El-Wakim 2005, p. 4).

Léon X semble être plus attentif que ces prédécesseurs concernant la préservation des antiquités. Par exemple, Eugène IV (1383 – 1447, pape à partir de 1431), Pie II (1405 – 1464, pape à partir de 1458) et Sixte IV (1414 – 1484, pape à partir de 1471) n'hésitaient pas effectivement à autoriser la transformation des ruines en carrières (El-Wakim 2005, p. 6). Léon X n'est pas reconnu pour avoir été un pape destructeur malgré les constructions qu'il réalise alors qu'elles nécessitent de grande quantité de matériaux. Ceci doit d'autant être plus remarqué qu'il hérite des chantiers inachevés et des pratiques en cours sur la procuration de ces matériaux de construction. Toutes les conditions étaient réunies pour qu'il continue à transformer les ruines antiques en carrières.

Le pape n'a pas cette réputation car il a mis en place le début d'une politique de conservation à travers sa *Lettre à Raphaël* datée du 27 août 1515. Léon X y nomme l'artiste « préfet de tous les marbres et de toutes les pierres gravées ». La mission de conservation du « patrimoine » (cette notion n'existant pas encore sous la forme moderne que nous lui connaissons) dont Raphaël est en charge est délicate car il doit en même temps poursuivre la construction de la basilique Saint Pierre, chantier qui reste l'objectif prioritaire du pontificat.

C'est donc avec cette double fonction que Raphaël doit composer. Dans sa lettre-réponse au pape Léon X, il expose la stratégie concernant la conservation des ruines antiques. La lettre est construite selon cette structure :

> *« En somme, si l'on se demande quel est le plan du texte dans son ensemble, on peut obtenir le résultat suivant : en examinant les ruines, j'ai pu comprendre l'architecture antique et je veux transmettre cette connaissance fondée sur l'examen des monuments (§§I-V) ; je dois donc sauver les informations que nous apportent ces édifices, en en donnant une image reconstituée (§VI) ; comment sélectionner les monuments antiques (§§VII-XII) ; comment faire le relevé du plan et le reporter (§§XIII-XVII) ; comment représenter le monument de manière à pouvoir en tirer des mesures (§§XVIII-XXI). » (Paoli 2010, p. 69).*

Plus précisément, la méthode de travail établie par Raphaël se décompose en trois phases (El-Wakim 2005, p. 12). La première consiste à reconnaître sur le terrain les objets à relever, à distinguer les vestiges antiques des constructions médiévales. Ensuite, les objets dignes d'intérêt sont systématiquement et minutieusement dessinés en mesurant directement sur site les proportions de l'édifice en établissant une description géométrale. Enfin, une lecture des sources écrites permet de confronter les vestiges physiques avec les descriptions anciennes.

Une description géométrale consiste à représenter l'objet ou l'espace sous la forme de plans, coupes et élévations et de les mettre en relation afin d'en obtenir une lecture optimale. C'est une opération qui réclame une véritable rigueur dans la démarche mais qui est indispensable pour bien comprendre la volumétrie de l'espace ou de l'objet. En effet, un volume projeté sur une feuille perd nécessairement sa troisième dimension : la profondeur. Un cercle dessiné en plan peut très bien être la projection d'un cylindre, d'un cône ou d'une sphère par exemple pour ne rester que dans les formes géométriques simples. C'est en associant une élévation au plan qu'il est possible de comprendre la volumétrie.

Le but que cherche à atteindre la *Lettre* est ici clairement exposé. Il s'agit de représenter les ruines dignes d'intérêt afin d'en conserver une trace, de produire un jalon dans l'histoire du monument auquel il sera possible de se référer ultérieurement. La représentation doit donc suivre des règles précises afin que des informations puissent être extraites pour une utilisation ultérieure, qu'elle soit une reconstruction ou une vocation pédagogique.

5.1.1.2. La pratique du relevé depuis la Renaissance jusqu'à l'apparition des outils numériques

Cette lettre n'établit pas les premières représentations sous la forme de plan, coupe ou élévation. Il suffit pour s'en convaincre de consulter le *Carnet* de V. de Honnecourt (Erlande-Brandenburg et al. 1986), un maître d'œuvre du XIIIe siècle qui réalisa de nombreux dessins d'architecture et de structures, sans perspective, afin de conserver une trace de ce qu'il avait vu.

Depuis cette *Lettre*, de nombreux travaux viennent conforter et affiner les méthodes de représentation comme le montrent les actes du colloques *le relevé en architecture ou l'éternelle quête du vrai* (de Mazières & Grubet 2007) à travers les travaux réalisés par J. Androuet du Cerceau (Frommel 2007), J.-B. Lassus (Leniaud 2007) et E.-É. Viollet-le-Duc (Poisson 2007).

Le premier texte (Frommel 2007) montre que J. Androuet du Cerceau n'exécutait ses relevés que sur les bâtiments encore en usage afin d'alimenter son ouvrage intitulé *Les plus excellents Bastiments de France*. Mais plutôt que de représenter les édifices dans leur état à l'instant *t* de leur existence, contemporain au relevé, l'auteur cherche plutôt à atteindre l'idéal de l'architecture.

Le deuxième exemple mobilisé (Leniaud 2007) concerne le relevé de la cathédrale de Chartres (1837-1885). Au milieu du XIXe siècle, le relevé d'une architecture se doit d'être exact et c'est la quantité de détails qui permet d'atteindre cela. Néanmoins, la quantité phénoménale de détails présents sur la cathédrale de Chartres représente un défi pour la documentation, et le chantier durera une cinquantaine d'années… Les travaux seront arrêtés parce que les résultats, bien que précis, sont trop coûteux à obtenir au moment où la photographie commence à se généraliser. Il y a à ce moment précis de l'histoire une inadéquation entre les moyens techniques mis en œuvre et les moyens économiques. La dernière expérience relatée (Poisson 2007), celle d'E.-É. Viollet-le-Duc, rencontre les mêmes difficultés. Il lui faudra en effet pas moins de sept années de travail pour documenter la ceinture de fortification de la cité de Carcassonne. Le temps nécessaire pour relever les architectures est trop long pour pouvoir être généralisé à l'ensemble du patrimoine, et peu de sites bénéficieront de telles documentations.

L'apparition de la photographie justement modifiera la manière de documenter les structures et les espaces car elle permet de prouver certains faits autrement que par la main. Deux exemples assez représentatifs peuvent être cités.

Les relevés très précis de W. Goodyear (Giron Sierra 2007) au début du XXe siècle mettent en évidence des « déformations » de structures sur les temples romains, les églises du Moyen Âge, et de la première Renaissance en Italie, d'églises byzantines et de cathédrales gothiques françaises. Ces déformations qu'il qualifie de « raffinements » mettent en avant des dispositifs optiques qui ont pour objectif de modifier la perception de l'espace. Ces agencements sont mis en évidence à l'aide d'un fil à plomb installé près de la colonne et ainsi photographié. Il est alors possible de mesurer au sol la déviation entre le chapiteau et la base. La procédure répétée sur l'ensemble de la structure montre que ce n'est pas un effet dû au hasard, mais effectivement un choix formalisé dès la conception.

La seconde expérience est celle menée par H. Carter lors de la découverte de la tombe de Toutankhamon en Égypte en 1922 (Reeves 2003). La tombe intacte a progressivement été vidée de tous ces objets. Mais devant l'ampleur de la tâche et le souci de documenter le maximum de choses, un numéro sera attribué à chaque objet. Ensuite chaque chambre sera photographiée dans leur entièreté, puis chaque objet dans son contexte avant déplacement.

5.1.1.3. L'influence des relevés tridimensionnels dans la production des relevés

Les outils numériques d'acquisition tridimensionnelle seront détaillés au chapitre [6.3.], mais nous allons expliciter dès maintenant leur influence.

Les méthodes d'acquisition optique ces dernières années ont connu un développement très important grâce à l'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs. La précision et la quantité de détails pouvant être enregistrées en peu de temps ne peuvent désormais plus être comparées avec ce qui est obtenu manuellement. Le résultat du relevé était auparavant issu de minutes de terrain, puis mis au propre. Le choix de ce qui devait être conservé graphiquement était fait sur le site. L'observation était alors cruciale et cela prenait beaucoup de temps. Le processus s'est inversé avec les acquisitions optiques numériques puisque beaucoup d'informations sont captées sur le terrain, et le choix de ce qui est conservé ou non est réalisé *a posteriori*. De fait, l'observation des objets est davantage effectuée à travers les modèles numériques que sur l'objet vrai. Il s'agit d'ailleurs d'une des principales critiques émises contre cette méthode de travail. Dans les faits, ces outils permettent d'établir une base de travail qui peut et doit être alimentée par des observations directes sur site. Naturellement, plusieurs niveaux de relevé se mettent aussi en place et nous distinguons désormais les reconstitutions, les modèles « tel que construits » et les modèles « tels que saisis » (Fuchs 2006, p. 95).

La reconstitution est définie par A. Fuchs comme la représentation complète des vestiges, les parties manquantes étant extrapolées grâce à l'expertise des spécialistes du domaine.

Le modèle « tel que construit » se différencie de la reconstitution par le fait qu'il n'y a ici aucune extrapolation. Seuls les effets du temps sont gommés en lissant les différents processus d'érosion ou de dégradation. Nous compléterons la définition en disant que la « modélisation tel que construit »

s'approche d'une modélisation « pierre à pierre », où le plus petit élément indivisible devient l'unité élémentaire de modélisation.

Le modèle « tel que saisi » est celui qui comporte le moins d'interprétation car il s'agit de la représentation de l'état actuel du site. C'est un modèle utile car c'est en quelque sorte la référence à laquelle il est possible de se référer pour valider ou infirmer les hypothèses de reconstitution.

L'enregistrement tridimensionnel des architectures grâce à la lasergrammétrie ou la photogrammétrie permet d'acquérir beaucoup d'informations à plusieurs échelles et plusieurs résolutions. Comme elles partagent toutes les mêmes coordonnées spatiales, il est ainsi possible d'obtenir une véritable relation entre un relevé décimétrique par exemple à l'échelle du territoire, une définition centimétrique ou millimétrique de l'architecture, et une résolution inframillimétrique des détails. Cette description multiscalaire et spatialement cohérente peut aussi remplir plusieurs objectifs.

La première mission accordée aux relevés numériques concerne la conservation car il est possible d'en obtenir une image précise à un instant précis. Si son état est amené à évoluer pour causes d'érosion, de destruction ou de tout autre facteur altérant la pérennité de l'objet en question, il est possible de retrouver cet état et éventuellement de le reproduire grâce à l'impression 3D par exemple.

Le deuxième objectif concerne l'étude du site. À travers les modèles 3D, les hypothèses de reconstitution et d'usage peuvent être vérifiées sans impacter les vestiges archéologiques. Cette procédure est d'autant plus facilitée que des objets impossibles à manipuler en réalité en raison de leur dimension et de leur poids, de leur accessibilité ou encore de leur fragilité le sont désormais.

La troisième réponse que les relevés tridimensionnels peuvent apporter concerne la médiation. Les mêmes modèles établis pour la conservation et l'étude peuvent être déclinés en média spécialement conçu pour une valorisation des recherches menées sur le site. C'est un point non négligeable car il permet d'assurer une continuité entre les connaissances établies et le public.

Cependant, il faut remarquer que les modes de représentation se sont considérablement diversifiés depuis l'apparition des outils informatiques de représentation de l'espace. Le médium 3D permet en effet d'explorer les objets ou les vestiges sous une multitude de points de vue, avec une visualisation en projection parallèle ou perspective. Il est difficile de juger si la description géométrale des architectures en archéologie a été plus ou moins abandonnée ou est simplement noyée dans la masse des images produites. Cette impression est renforcée par le fait que beaucoup de communication montrent des représentations perspectives tridimensionnelles des vestiges. L'impression laissée est que ces modes de communication sont devenus une fin en soi et rien ne laisse penser que d'autres documents sont produits pour l'étude de l'objet. Cet effet est accentué par la définition de la modélisation 3D de F. Remondino en 2006 (Remondino et El-Hakim 2006) : la modélisation 3D d'un objet ou d'un espace est décrite comme le processus complet s'étendant de l'acquisition de l'objet jusqu'à sa visualisation *interactive* sur un ordinateur. La description géométrale est ici entièrement exclue et ne fait plus partie du processus de documentation.

Cette définition doit cependant être discutée car une visualisation interactive ne correspond pas réellement aux normes de description des architectures. Ce sont des média forts intéressants

mais qui ne comportent pas les informations permettant de comparer deux architectures entre elles par exemple. Nous jugeons important que les techniques d'acquisition et de représentation tridimensionnelles n'effacent pas la longue tradition de représentation des espaces et des objets sous la forme d'une description géométrale établie depuis la Renaissance.

5.1.2. Une approche lexicale des mots concernant la représentation de l'espace

Cette mise en contexte de l'apparition et de l'établissement des règles de représentation de l'espace permet de définir quelles ambitions le relevé architectural cherchait à servir et l'évolution de sa pratique. Cette action est décrite à travers des mots, et chacun d'entre eux possèdent plusieurs sens qui peuvent éclairer sous un jour nouveau leurs significations. La polysémie de quatre termes liés à la documentation d'objets ou d'espaces sera donc détaillée ci-après. Le premier d'entre eux est *relever* car il s'agit de la première action concernant la documentation d'un site. Cette première étape engendre une *représentation* de l'espace qui donnera lieu à des *reconstitutions* et des *restitutions*. Ces deux derniers mots semblant être utilisés de manière aléatoire, nous tenterons de démêler ce que chacun des termes sous-entend.

5.1.2.1. Relever

Le terme *relever* est composé de la base radicale « lever » et du préfixe « re- » qui indique une répétition. Ainsi avons-nous avec un premier niveau de lecture l'indication de la répétition d'un mouvement dirigé vers le haut. Mais au-delà de ce premier niveau de lecture, le mot « relever » possède plusieurs autres notions qu'il est possible de retrouver à travers une analyse de la polysémie du terme.

> **RELEVER** *verbe transitif (latin : relevare).* **1.** *Remettre debout ; remettre dans sa position normale. Relever un enfant. Relever une chaise.* **2.** *Relever les copies, les cahiers, les ramasser.* **3.** *COUTURE. Relever une maille : reprendre, dans un tricot, une maille mise en attente ou déjà tricotée dans un rang.* **4.** *Amener à une meilleure position ce qui est en déclin, en chute. Relever l'économie.* **5.** *Mettre en valeur, en relief. Cette parure relève sa beauté.* **6.** *Repérer à l'examen ; faire remarquer. Relever des traces. Relever une faute.* **7.** *Noter par écrit ; conserver la trace de quelque chose par croquis, schéma, etc. Relever le compteur. Relever une cote. – TOPOGRAPHIE. Procéder à un relèvement.* **8.** *Faire comprendre ce que l'on entend, que l'on voit quelque chose. Ne pas relever une impertinence.* **9.** *Diriger vers le haut ; remettre plus haut. Relever la tête. Relever la vitre.* **10.** *Accroître le niveau, la valeur de quelque chose. Relever les prix.* **11.** *CUISINE. Donner un goût plus prononcé à un mets, à une sauce en renforçant son assaisonnement.* **12.** *Remplacer dans un travail, une fonction ; procéder à la relève de. Relever une troupe, une équipe.* **13.** *Libérer, délier d'une obligation, d'un engagement. Relever un religieux de ses vœux. – DROIT. Dispenser un condamné de certains des effets résultant de sa condamnation.* **14.** *Priver de sa charge, de son poste ; révoquer. Relever un officier de son commandement.* □ *verbe transitif indéfini (de).* **1.** *Se remettre tout juste ; se rétablir. Relever d'une maladie, de couches.* **2.** *Dépendre de l'autorité de ; être du ressort de. Ne relever de personne.* **3.** *Être le fait de. Cela relève du miracle.*
>
> *Définition du petit Larousse illustré 2004.*

Les nombreux sens que possède ce verbe peuvent être regroupés en cinq grands thèmes.

Le premier sens qui semble s'associer naturellement à ce qu'évoque le relevé architectural revêt un **aspect cognitif** puisqu'il s'agit de « noter par écrit ; conserver la trace de quelque chose par croquis ou schéma » et « faire comprendre que l'on entend, que l'on voit quelque chose » [7]. La représentation de l'objet à travers des notes et des dessins est le résultat d'un processus qui implique des choix. Il faut décider ce qui doit être conservé ou non. C'est un point important car cela implique qu'après avoir effectué cette opération, l'accès à l'état actuel ne sera peut-être plus disponible car soit l'objet pourra changer de forme, soit l'opérateur ne pourra plus y accéder physiquement. La représentation de l'objet devient la mémoire.

Nous trouvons aussi l'idée que *relever quelque chose* consiste à **mettre en avant, en exergue** : « mettre en valeur, en relief », « repérer à l'examen, faire remarquer », ou encore « donner plus de goût à un plat cuisiné » [5, 6, 11]. La description de l'objet comme nous avons commencé à l'esquisser implique des choix dans la représentation. Il ne s'agit pas de mettre toutes les informations sur le même niveau de lecture. Une hiérarchie est mise en place afin de guider le lecteur dans la compréhension de l'objet.

Ensuite, *relever quelque chose* implique l'idée de **remettre dans un état initial** : « remettre debout », « remettre dans sa position normale », « ramasser quelque chose », « amener à une meilleure position ce qui est en déclin, en chute » [1, 2, 4]. Ce thème peut être complété par l'idée du **mouvement dirigé vers le haut** : « relever une maille dans un tricot signifie qu'on la reprend après l'avoir mise en attente » ; « relever la tête, la vitre », « accroître le niveau ou la valeur de quelque chose, comme relever les prix » [3, 9, 10]. La nécessité de *relever quelque chose* est la conséquence d'un changement important de sa propre condition. C'est à la suite de ce changement que le relevé est initié, et cette opération se pose pour ambition de retrouver l'état initial. En définitive, ce ne serait donc pas tant l'état modifié qui importerait que l'état initial.

Cela nous conduit au dernier sens dissimulé derrière la notion de *relever quelque chose* qui consiste à **remplacer** : « remplacer dans un travail, une fonction, procéder à la relève de », « libérer, délier d'une obligation, d'un engagement » ou encore « priver de sa charge, de son poste, révoquer » [12, 13, 14]. Il faut reconnaître que ce dernier point diverge assez fortement avec l'idée du relevé architectural. Cependant, la notion peut introduire le fait que les parties lacunaires peuvent être remplacées par des hypothèses. Nous sommes alors arrivés à la frontière avec le thème de la restitution, quoique certaines pratiques consistent à redresser le monument avant son relevé, comme le pratiquaient les étudiants de l'école d'architecture de Chennai (ex-Madras) sur les temples en Inde (Grubert 2007). Pour eux, il n'est pas envisageable de dessiner les ruines ou les déformations de l'objet.

5.1.2.2. Représenter

Le terme *représenter* est composé de la base radicale *présenter* à laquelle le préfixe *re-* indique la répétition. La définition du mot dans un dictionnaire montre une utilisation du mot dans des contextes assez variés, mais le sens transversal n'est pas aussi riche que pour *relever*.

> **REPRÉSENTER** *verbe transitif. (latin representare, rendre présent).* **1.** *Rendre perceptible, sensible par une figure, un symbole, un signe.* **2.** *Figurer, reproduire par un moyen artistique ou un autre procédé. Le décor représente une place publique.* **3.** *Décrire, évoquer par le langage, l'écriture. On le représente sous les traits d'un cynique.* **4.** *Jouer ou faire jouer un spectacle devant un public.* **5.** *Littérature. Faire observer à quelqu'un, mettre en garde quelqu'un contre quelque chose. Représenter à un ami les conséquences de sa décision.* **6.** *Avoir reçu un mandat pour agir au nom de quelqu'un, d'un groupe ; défendre ses intérêts. Représenter son pays à une conférence internationale.* **7.** *Être le représentant d'une entreprise commerciale.* **8.** *Être le symbole, l'incarnation, le type de quelque chose. Ces personnes représentent la classe moyenne.* **9.** *Correspondre à quelque chose, apparaître comme son équivalent. Découverte qui représente une révolution.* **10.** *Présenter, remettre de nouveau quelque chose à quelqu'un. Représenter une traite.* □ *Verbe intransitif. Littérature. Avoir une certaine prestance. Il représente bien.*
>
> *Définition du petit Larousse illustré 2004.*

Il s'agit dans la plupart des cas de suggérer un tout à partir d'éléments fragmentaires ou absents. Cette suggestion est possible grâce à l'utilisation d'artifices que sont les figures, symboles et signes [1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 et l'unique définition de la forme intransitive du mot]. La représentation théâtrale [4] est un usage particulier. Cependant, l'espace scénique du théâtre est également la *représentation* d'un microcosme qui suggère un tout au travers de quelques éléments. De ce fait, la signification de l'expression « représentation d'une pièce de théâtre » peut être assimilée au sens transversal que nous venons de donner.

Le point 10 entre quant à lui directement en écho avec l'étymologie du mot.

La *représentation* est un terme qui est largement utilisé dans le milieu des arts car il s'agit du fondement de cette activité. Cependant, nous n'explorerons pas l'appropriation et l'évolution de la représentation par les artistes et les philosophes car la signification donnée par l'étude de la polysémie du terme convient pour notre usage.

5.1.2.3. Reconstituer

Le mot *reconstitution* est également souvent utilisé parmi les documents employés pour décrire les espaces et les objets dans leur état antérieur. Une analyse de la formation du mot permet de comprendre qu'il est composé de la base radicale « constitution » et du préfixe « re- » : *constituer de nouveau* donc.

Le verbe *constituer* est lui-même composé de la même racine indo-européenne *STĀ- qui formera notamment de manière directe le verbe latin « sto, stas, stare, stavi, statum » dans sa déclinaison complète signifie *être debout*, *rester*, *fixer*. À cette racine est adjoint le préfixe « con- » issu du latin *cum* qui signifie *avec*. *Reconstituer* signifie donc l'action de mettre debout à nouveau avec différents éléments.

Cherchons maintenant les différents sens que le verbe peut revêtir. Nous préférerons pour cela le verbe *constituer* à *reconstituer* car le préfixe n'apporte pas de signification supplémentaire à la base radicale.

> **CONSTITUER** *verbe transitif (latin : constituere).* **1.** *Choisir, regrouper des éléments afin de former un tout. Constituer une collection, un gouvernement.* **2.** *Former l'essence, la base de quelque chose. Présence qui constitue une menace.* **3.** *Former un tout avec d'autres éléments. Timbres qui constituent une collection rare.* **4.** *Constituer avocat ou avoué : charger un avocat d'une affaire (un avoué, pour la représentation en cours d'appel) dans le cadre d'un procès.*
>
> *Définition du petit Larousse illustré 2004.*

Le sens général est finalement assez proche de ce qui a été défini pour la représentation. Mais ici, la suggestion n'a pas sa place. Il s'agit de former une nouvelle fois un tout à partir d'éléments fragmentaires. Ainsi la reconstitution peut-elle être assimilée à une anastylose : c'est en rassemblant des morceaux épars qu'il est possible de retrouver l'image originelle ou s'approchant de l'état initial. Cette opération n'implique pas nécessairement une intervention sur les objets physiques. L'utilisation courante du terme s'applique à la fois à des objets restaurés et à des représentations graphiques.

5.1.2.4. Restituer

Le verbe *restituer* est étymologiquement issu du verbe latin *restituere*, verbe formé de la racine indo-européenne *STĀ- (*être debout*, *rester*, *fixer*) à laquelle le préfixe de répétition « re- » a été accolé. Appliquons maintenant la même méthode que précédemment :

> **RESTITUER** *verbe transitif. (latin : restituere)* **1.** *Rendre ce qui a été pris indûment. Restituer le bien d'autrui.* **2.** *Rétablir, remettre en son premier état. Restituer un texte, le plan d'un édifice.* **3.** *Reproduire un son enregistré.* **4.** *TOPOGRAPHIE. Opérer la reconstitution, en plan ou en élévation, d'un objet ou d'un terrain préalablement photographié en stéréoscopie.*
>
> *Définition du petit Larousse illustré 2004.*

Finalement, seul le point [2] éclaire ce que nous pouvons considérer comme être une restitution d'un espace ou d'un objet. Le terme est suffisamment flou pour ne pas préciser à partir de quoi la restitution est possible et jusqu'où est engagé le travail. Plus précisément : la restitution consiste-t-elle à représenter l'objet dans son état actuel ou dans son état initial ? La réponse est laissée à l'appréciation de l'opérateur.

La notion de restitution englobe donc celle de reconstitution car l'objet peut ici être présenté dans son état initial et être la formulation de différentes hypothèses formées à partir d'un seul fragment, alors que la reconstitution ne laisse pas autant de liberté.

5.1.3. Conclusion

Le relevé architectural peut être mené à partir de tous les outils permettant de mesurer et de décrire l'espace. Par conséquent, cela comprend les outils allant du simple mètre ruban pour mesurer points par points un volume, jusqu'aux capteurs lasers les plus sophistiqués pour représenter le plus fidèlement possible l'architecture. L'évolution récente des outils permet d'enregistrer tridimensionnellement de très nombreux détails avec les mêmes types de données. L'avantage certain est que toutes les

informations sont manipulables dans un espace cohérent, et que cela ouvre de très nombreuses voies de réflexion sur l'investigation et le questionnement archéologique. C'est une étape essentielle dans tous les cas pour documenter et connaître l'objet d'étude. Cependant, l'évolution récente des outils de documentation et la diversité des représentations possibles nous amènent à nous interroger sur ce qu'est le relevé.

Nous prenons le parti d'affirmer que les travaux menés pour décrire les architectures ne peuvent pas faire l'impasse sur la description géométrale qui est la seule à pouvoir établir une comparaison entre les sites et les objets. Les reconstructions tridimensionnelles peuvent être déclinées sous une multitude de formes, mais il est indispensable d'établir des représentations qui peuvent être supports de comparaison.

Les quatre termes que nous avons explorés (relever, représenter, reconstituer et restituer) montrent divers degrés ou diverses étapes dans la documentation d'objets ou d'espaces. Alors que la première étape est logiquement celle du relevé, le résultat produit nécessairement une représentation. La recherche de l'exactitude, bien que souhaitée, est impossible à obtenir puisque toute représentation est une abstraction de la réalité. Par conséquent, si la représentation est un appauvrissement des informations que nous pouvons obtenir, il convient de multiplier les modes de représentation afin d'être le plus objectif possible. Ces documents produits peuvent alors être qualifiés de restitution ou de reconstitution. Le choix du terme est une question d'appréciation du degré de liberté pris dans la formulation de l'état initial de l'espace ou de l'objet.

5.2. La pratique du relevé et ses résultats sur les architectures néolithiques

5.2.1. Caractéristiques des objets d'étude

Les architectures funéraires du Néolithique dans l'Ouest de la France et en Europe d'une manière générale sont caractérisées par des objets d'une grande diversité. En simplifiant la typologie des sépultures de cette période (Boujot 1993), nous trouvons des sépultures individuelles, pouvant être ou non associées à des ouvrages de stèles dressées, et des sépultures collectives. Ces différents types peuvent en outre se combiner pour présenter toutes sortes de configuration, et les dimensions peuvent très fortement varier d'un site à l'autre. L'enregistrement de ces architectures doit répondre à plusieurs contraintes.

Les échelles d'intervention peuvent être très variables. Du détail très altéré de la gravure réalisée sur un support présentant différents niveaux de préparation, les architectures peuvent s'étendre sur plusieurs centaines de mètres comme les alignements de Kermario, Manio et Ménec à Carnac puisque certaines stèles sont ornées. Or, plus que ces stèles, c'est la topographie qui permet d'expliquer cette architecture (Cassen 2009b). La multiplicité des échelles d'intervention indique que la documentation de ces sites ne peut pas être le fruit d'un seul outil d'acquisition, mais la combinaison de plusieurs techniques.

Les conditions d'éclairement peuvent aussi varier très fortement et présenter une gêne.

En extérieur, les conditions de travail sont soumises aux aléas météorologiques et à des variations de lumières très importantes selon les passages nuageux quand la pluie n'est pas de mise. Si la luminosité et ses variations n'impactent pas les relevés réalisés avec les capteurs optiques émettant un rayonnement (lasergrammétrie), la pluie empêche toute intervention car les gouttelettes d'eau formeront un écran entre l'objet et le dispositif. Les reconstructions en photogrammétrie sont en revanche beaucoup plus sensibles aux variations de lumière.

Quand la structure recouvrant le couloir d'une sépulture collective est encore en place, l'obscurité totale règne. La maîtrise des ambiances lumineuses devient un point crucial pour une acquisition en photogrammétrie, contrairement à la lasergrammétrie. Des sources complémentaires de lumière doivent être mobilisées. Les expériences menées dans la ciste du tumulus Mané er Hroëck à Locmariaquer et le dolmen B de Mané Kerioned à Carnac serviront à ce titre d'exemple.

Nous pouvons aussi trouver des sépultures collectives sans la structure tumulaire associée, à l'instar du dolmen C de Mané Kerioned à Carnac. Dans ce cas, l'alternance entre l'intérieur et l'extérieur nous amène à être dans des situations de contre-jour pour photographier le sujet.

Selon la technique d'acquisition mobilisée, les difficultés de mise en œuvre peuvent être plus ou moins importantes.

Les configurations spatiales peuvent grandement varier d'un site à l'autre et être prises en compte dans le processus d'enregistrement. Les espaces peuvent être extrêmement contraints comme dans la ciste principale du tumulus Saint Michel à Carnac avec ses quatre piliers installés lors de la fouille de Z. Le Rouzic au début du XXe siècle. Les objets à enregistrer peuvent être très hauts comme pour la pierre aux Fées de Saint-Micaud (une face est gravée sur toute la hauteur de la stèle – 6,30 mètres) ou la stèle de la Tremblais à Saint-Samson (stèle inclinée d'environ 40° et ornée sur ses quatre faces, dont la plus décorée est orientée vers le ciel). Enfin, les objets peuvent être très volumineux comme les tumulus (Saint Michel à Carnac ou même le cairn de Gavrinis). En outre, les trois typologies spatiales (espaces convexes, concaves ou plans) peuvent être rencontrées individuellement ou en même temps selon les sites. Comme cela sera décrit plus loin dans ce chapitre, tout est question de stratégie d'acquisition.

Le matériau de construction influera peu sur le choix de la technique et de sa mise en œuvre. En effet, les granites, grès, migmatites, orthogneiss et quartz sont les roches les plus rencontrées sur le littoral morbihannais (en tout cas présentent dans l'architecture du couloir de Gavrinis). Elles ne montrent pas réellement de difficulté à acquérir puisque ce ne sont pas des surfaces réfléchissantes ; le rayonnement du capteur actif ne subira pas un effet « miroir ». De plus, ce sont des matériaux avec des textures suffisamment riches pour que les algorithmes mobilisés en photogrammétrie puissent identifier des points communs dans le corpus de photographie.

Il faut enfin noter que contrairement à la plupart des architectures des périodes « historiques », il est très difficile d'extrapoler les informations lacunaires à cause de la nature même du matériau de construction. En effet, les stèles sont issues des affleurements rocheux et leurs surfaces sont irrégulières. Elles dépendent de la forme initiale du rocher, des différents processus d'érosion qui ont

pu avoir lieu au cours de son exposition à l'air libre, et certainement dans une moindre mesure des travaux d'aplanissement des surfaces et de mise en forme des volumes.

Les architectures funéraires néolithiques sont des objets spécifiques à enregistrer. La diversité des échelles d'intervention, des configurations spatiales peuvent être très contraignantes. Ceci se vérifie d'autant plus qu'il est indispensable de documenter le maximum de surfaces visibles car ce qui n'est pas visible peut difficilement être extrapolé avec justesse.

5.2.2. Les relevés de Gavrinis

Depuis la découverte du couloir de Gavrinis en 1832, plusieurs relevés ont été établis par différents auteurs. Trois niveaux de détails émergent dans les archives : le cairn, le couloir, et les stèles.

5.2.2.1. La structure tumulaire

Le cairn a été représenté par trois auteurs, mais quatre travaux ont été retrouvés.

Les premiers à documenter la structure tumulaire sont les anglais sir H. Dryden et W. C. Lukis en 1868 (Cf. figure 82). Un plan et une coupe orientée Est-Ouest permettent de comprendre l'emprise du cairn au sol et le profil caractéristique de son cratère. La texture de l'enveloppe tumulaire n'est pas détaillée, seuls des motifs indiquant une surface pierreuse et un aplat blanc font la distinction entre le cratère et les pentes extérieures. Aucune information concernant le relief entre ces deux lignes n'a été représentée. L'emprise du couloir est également figurée en superposition au relevé du cairn. Le cairn semble être un disque, mais il est en réalité légèrement oblong : il est plus long dans l'axe Sud-Est / Nord-Ouest (55 mètres) que dans l'axe Sud-Ouest / Nord-Est (47 mètres environ).

Z. Le Rouzic produira dans les années 1920 un plan et une élévation sur lesquels le couloir est superposé (Cf. figure 84). Ce sont des documents montrant une restitution « tel que construit » du monument. Par conséquent, ces deux représentations n'ont pas d'autres valeurs que celle de montrer la vision de l'auteur au sujet de l'apparence de ces architectures au Néolithique. Une dizaine d'années plus tard, il produira deux coupes représentant le couloir enveloppé du cairn déformé par le cratère. Cependant, les déformations sont telles qu'il est impossible de chercher des informations pour comprendre l'histoire du monument.

Enfin, avant d'entamer les travaux de fouilles du cairn, C.-T. Le Roux établira le premier relevé topographique. Seul un plan avec des courbes de niveau espacées d'un mètre nous permet de restituer la morphologie du monument avant sa restauration. Au cours de la fouille, un plan répertoriant les structures découvertes a été établi (Cf. figure 86), mais les travaux s'étageant sur trois niveaux (le sol, la corniche et le sommet du cairn) et devant l'obliquité des parements, il peut être très difficile de retrouver à quelle profondeur se situent les structures dans ce type de plan.

Les documents décrivant le cairn sont finalement assez peu nombreux.

5.2.2.2. Le couloir

Le couloir a été relevé de nombreuses fois depuis sa découverte. Nous retiendrons ici les travaux de M. Lucas en 1852, sir H. Dryden et W. C. Lukis en 1868, G. de Closmadeuc en 1884, Z. Le Rouzic en 1935, C.-T. Le Roux et E. Shee-Twohig en 1981 et pour finir nos résultats issus de la campagne de relevé lasergrammétrique de 2011. Cependant, à l'issue des cinq campagnes de fouilles menées par C.-T. Le Roux dans les années 1980, seul un plan schématique du couloir semble avoir été produit – ou plutôt repris de relevés antérieurs. L'attention a été entièrement portée sur l'architecture au détriment de l'articulation entre les structures tumulaires et le couloir. Nous ne nous référerons donc pas à ce plan dans l'analyse de la représentation du couloir.

La comparaison entre ces différents relevés montre l'évolution de la perception de cette partie du monument. Si le couloir est parfaitement rectiligne dans les documents de M. Lucas, puis ceux de sir H. Dryden et W. C. Lukis, les premières variations apparaissent en 1884 dans le relevé de G. de Closmadeuc.

L'attention est portée vers la relation entre chacun des orthostates, mais il est intéressant de constater une évolution également dans l'organisation des stèles de la chambre. La juxtaposition des dalles dans le couloir et l'articulation avec la chambre ne posent effectivement pas de problème. En revanche, l'interface entre les stèles C2 et C3, puis C4 et C5 a considérablement évolué.

En 1852, M. Lucas montre un dispositif indiquant que la construction de la chambre a commencé par le chevet, puis les stèles C2 et C5 viennent enserrer le chevet. Dès 1868, sir H. Dryden et W. C. Lukis montrent avec leur plan que les stèles se joignent à angle droit par leur arrête, sans préfigurer un ordre dans la construction. G. de Closmadeuc est plus précis dans ses observations car il montre clairement que le chevet vient s'appuyer contre les orthostates C2 et C5. Le même agencement sera représenté dans tous les relevés postérieurs. Il est cependant très surprenant que ce même auteur omette la stèle R1 dans sa représentation. C'est le seul document qui diffère par le nombre d'orthostate.

Comme nous l'avons déjà montré dans le chapitre [3.3.3.], les dalles de sol n'ont pas toutes été reconnues en même temps, le déblaiement du couloir n'ayant pas été poussé jusqu'à un nettoyage complet du sol.

Les coupes n'ont pas été systématiquement dessinées pour décrire le couloir. Ainsi M. Lucas n'en produit-il qu'une seule (élévation gauche) ; sir H. Dryden et W. C. Lukis n'associeront pas de coupes à leur plan ; G. de Closmadeuc et Z. Le Rouzic dessineront en revanche les deux élévations.

Si la morphologie des orthostates en élévation peut considérablement varier selon les auteurs, la relation entre les dalles de couverture et les supports ne diffère pas considérablement (excepté dans la coupe de M. Lucas).

Certaines incohérences apparaissent enfin à la lecture des plans. C'est surtout le cas dans les documents publiés par G. de Closmadeuc en 1884. Alors que le plan montre des stèles qui se jouxtent uniquement par leur tranche, leur représentation en élévation donne l'impression d'un agencement en écaille. Par exemple, l'orthostate 2 de l'élévation gauche (numérotée 28 sur le plan et correspondant à L2) donne

l'impression d'être au premier plan, et donc que les deux stèles voisines sont à l'arrière-plan. Quant à l'élévation droite, nous ne pouvons que constater une stèle à l'arrière-plan entre les numéros 7 et 8. Cette information n'a pas pu être vérifiée sur site et il est impossible à l'heure actuelle d'expliquer cette observation de G. de Closmadeuc.

La représentation du couloir a considérablement évolué et s'est progressivement affinée avec le temps. Des changements importants concernant la disposition des stèles ont même pu être démontrés.

5.2.2.3. Les stèles et leurs ornements

Parmi les différentes missions ayant conduit à représenter le monument – quelle que soit l'échelle d'intervention – une seule produira un corpus de représentations unifié de toutes les stèles reconnues gravées. Il s'agit de la campagne menée au début des années 1980 par E. Shee-Twohig. Parmi les auteurs précédents, M. Lucas, sir H. Dryden et W. C. Lukis, et Z. Le Rouzic ont seulement représenté les orthostates les plus remarquables.

C'est aussi l'objectif du programme de recherche dans lequel ce travail de thèse s'inscrit. C'est un volet important et les aspects concernant la composition des stèles ne seront pas explicités en détail.

Malheureusement, sans ôter le mérite de ces représentations, plusieurs limites nous contraignent à ne pas utiliser ces documents.

D'abord, les descriptions sont réalisées stèles par stèles, et il n'est pas possible de rétablir la relation spatiale entre deux orthostates si elle n'est pas fixée dès le relevé.

Ensuite, deux techniques principales ont été mobilisées pour représenter les gravures des stèles. La première consiste à dessiner à l'œil nu, certainement en prenant quelques mesures sur l'objet, les motifs présents. Le résultat est que seul le mouvement général est représenté. Il manque par conséquent beaucoup d'informations. C'est ainsi que M. Lucas, sir H. Dryden et W. C. Lukis, et Z. Le Rouzic ont procédé. La seconde méthode consiste à décalquer ce qui est visible sur une feuille transparente appliquée à la paroi. C'est ce que fera E Shee-Twohig en 1981 sur l'ensemble des orthostates. Les observations sont alors beaucoup plus fines, mais une fois la feuille retirée, la surface irrégulière de la paroi est aplanie et les motifs perdent leurs proportions.

Par conséquent, ces relevés ne nous intéresseront pas pour la compréhension de l'architecture.

5.2.3. Conclusion

La représentation d'une même tombe à couloir avec son enveloppe tumulaire peut varier de manière assez importante selon les auteurs. La tendance générale montre cependant que les relevés sont globalement de plus en plus précis dans le cas de la représentation de Gavrinis car ils sont de plus en plus vecteurs de questionnements archéologiques. Il faut malgré tout montrer une grande vigilance au sujet de la fidélité des pièces et une critique historiographique est indispensable pour savoir quelles connaissances peuvent être tirées de ce corpus de représentations.

5.3. De « nouveaux » outils pour représenter ces architectures

Malgré les nombreux documents graphiques décrivant le cairn de Gavrinis, il est jugé nécessaire de renouveler la représentation du monument afin de pouvoir appuyer les reconstitutions sur les bases les plus solides possibles.

Depuis les derniers relevés de Gavrinis, les outils permettant de décrire l'espace ont évolué et il est possible d'obtenir beaucoup plus d'informations qu'auparavant. Ce sont des relevés tridimensionnels menés avec des capteurs optiques : lasergrammétrie et photogrammétrie. Quel que soit la méthode d'acquisition choisie, elle fait partie d'un processus plus large (Remondino 2011, p. 1105) consistant à acquérir, puis traiter des données 3D issues de différentes sources, à des résolutions différentes, et avec plusieurs niveaux de contenu. Il faut ensuite envisager les problématiques de conservation des informations, communiquer les données à d'autres usagers (notamment les collègues) et enfin partager les résultats dans les milieux de la recherche, de l'éducation, du tourisme et/ou tous les autres usages liés à l'objet d'étude.

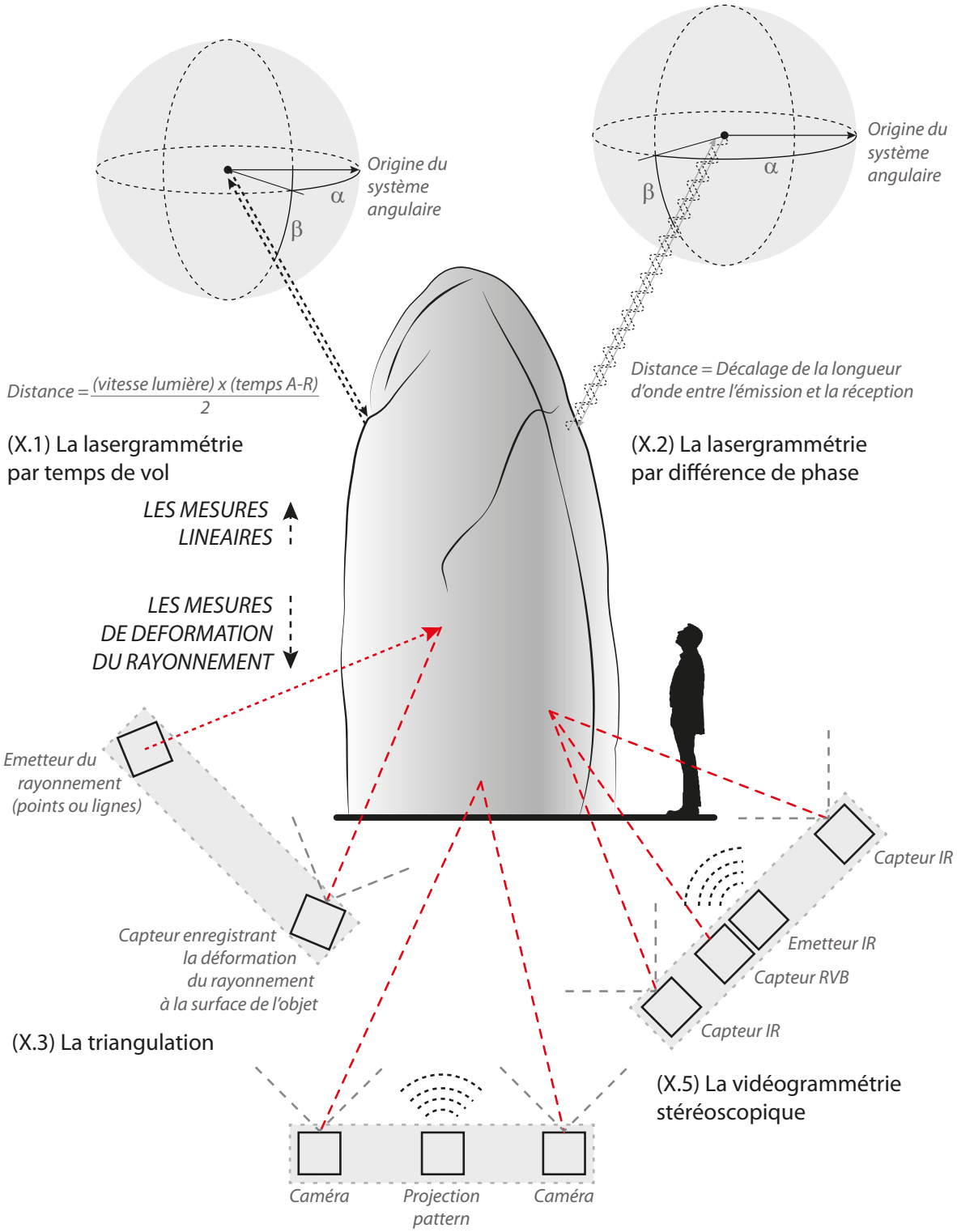
F. Remondino, ingénieur spécialisé dans le domaine des relevés optiques, a rédigé deux articles qui permettent de passer en revue ces technologies (Remondino et El-Hakim 2006 ; Remondino 2011). Nous nous appuierons principalement sur ces deux articles pour dresser le panorama des outils disponibles.

5.3.1. Les capteurs optiques actifs

Les capteurs actifs sont nommés ainsi car ils émettent un rayonnement. Celui-ci peut être lumineux (dans le domaine visible ou invisible) ou acoustique. Ils se déclinent en trois catégories selon le mode d'émission du rayonnement (Remondino 2011, p. 1106).

Les **capteurs par temps de vol** : un bref rayon lumineux est envoyé depuis le capteur selon une latitude et une longitude connues (Cf. figure 24.1). Le temps nécessaire au rayon pour qu'il intercepte une surface et à son écho pour qu'il revienne vers le capteur est utilisé pour connaître la distance entre le capteur et l'obstacle. Un point est enregistré et l'opération est renouvelée plusieurs milliers de fois par seconde. Le rayon peut être orienté dans l'espace grâce à la tête pivotante du scanner (longitude) et à un miroir rotatif (latitude). Cette technologie est particulièrement mieux adaptée pour les relevés sur de longues distances car sur de courtes distances, un bruit de mesure de plusieurs millimètres peut être généré à cause de la célérité de la lumière et de la précision de la mesure du retour de l'écho.

Les **capteurs par différence de phase** : à la différence du premier système, le rayonnement émis est continu, mais s'agissant d'un laser, tous les photons émis partagent la même fréquence de telle sorte qu'une seule onde continue est émise (Cf. figure 24.2). La longueur de l'onde étant connue, le capteur analyse le décalage entre l'émission et la réception de l'onde, et détermine ainsi la distance parcourue. Cette technologie permet d'acquérir plus rapidement, davantage de points qu'avec la précédente et avec une meilleure précision. En outre, la portée de ces capteurs est généralement un peu plus faible que pour les capteurs par temps de vol.



24. Principe de fonctionnement des capteurs optiques actifs

Les **capteurs par triangulation** : cette fois-ci, ce n'est plus la distance qui est mesurée, mais la déformation d'un rayonnement (un point, une ligne ou un motif) projeté sur une surface qui est enregistré sur un capteur CCD (*charged coupled device*) ou PSD (*position sensitive detector*) (Cf. figure 24.3). L'émetteur et le récepteur de rayonnement sont calibrés. Cela signifie que la relation spatiale entre ces deux éléments est parfaitement connue et stable. Si la configuration venait à être modifiée, l'acquisition devient impossible jusqu'à une nouvelle calibration. Leur champ d'action n'est pas aussi étendu que pour les deux premiers types de capteur. En effet, l'émetteur de rayonnement et la caméra convergeant vers un point, il faut que ce point de convergence se situe à peu près au niveau de la surface à enregistrer, ou pour le moins dans le champ de vision de la caméra. Cette manière d'enregistrer des surfaces se décline elle-même en plusieurs sous-catégories.

La méthode la plus connue conserve la plupart du temps le nom de *triangulation*, mais elle apparaît parfois sous la dénomination de *profilométrie optique*. Un point se déplaçant rapidement sur une ligne ou une ligne continue est projeté sur la surface, et c'est ce profil qui est enregistré par les caméras et transformé en 3D.

La *lumière structurée* est une autre méthode qui revient à projeter un motif sur une surface et se place ainsi dans la même catégorie des capteurs par triangulation. Ce canevas change progressivement d'échelle, et c'est cette transformation qui permettra au logiciel de reconstruire le relief. De cette manière, c'est toute la surface éclairée par le rayonnement qui est documentée en même temps. L'avantage de cette méthode est qu'à chaque fois qu'un cycle de motif est projeté, une image 3D est constituée et une nouvelle feuille est produite. Il est ainsi possiblement d'enregistrer une animation tridimensionnelle de cette manière.

Pour être exhaustif, la *vidéogrammétrie infra-rouge stéréoscopique* est un autre type de capteurs. C'est selon ce schéma par exemple que la première génération de Kinect de Microsoft ou la Xtion de Asus fonctionnent. Un rayonnement infra-rouge est émis depuis le capteur, et deux capteurs infra-rouge filment la scène. Selon les principes de la stéréoscopie, les logiciels peuvent reconstruire la troisième dimension. Enfin, un capteur CCD permet d'acquérir la couleur et de texturer la scène. Comme pour la lumière structurée, une « feuille » est enregistrée à chaque nouvelle image et les logiciels sont capables d'analyser le déplacement de la caméra dans l'espace à condition que l'objet soit fixe. Cependant, ces derniers capteurs présentent peu d'intérêt pour une acquisition des gravures par exemple à cause de leur faible résolution.

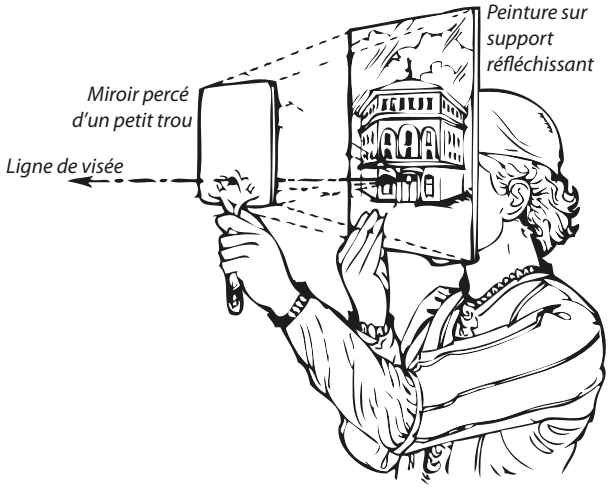
5.3.2. Les capteurs optiques passifs

5.3.2.1. Un rapide historique

Les techniques de reconstruction tridimensionnelle à partir d'image trouvent leurs racines à la Renaissance, avec les travaux de F. Brunelleschi et d'A. Dürer. Les travaux de F. Brunelleschi consistaient à vérifier la justesse du dessin en perspective en utilisant un jeu de miroir afin de superposer l'image dessinée au modèle existant, à partir du même point de vue (Cf. figure 25). Si les modèles se superposent, les règles de perspectives sont justes. C'est le premier à avoir théorisé ce que

nous appelons la perspective Florentine en 1525. A. Dürer quant à lui mettra en place dix ans plus tard le *portillon de Dürer* (Cf. figure 26). Un cadre en bois avec un quadrillage de fils est disposé entre la scène et le dessinateur. Ce même carroyage est reporté sur la feuille de dessin. Enfin, une tige pointue est posée juste devant l'opérateur ; elle matérialise le point de vue à partir duquel le dessin sera réalisé. En posant son regard à partir de ce point, le dessinateur analyse la position du détail par rapport au quadrillage et le reporte exactement aux mêmes coordonnées sur sa feuille. Ce système permet donc de reproduire une scène géométriquement exacte.

Avec la possibilité de capter une scène réelle sur une plaque photosensible (invention de la chambre claire en 1804 (Carbonnel 1968, p. 1), l'idée de retrouver les dimensions des objets apparaît immédiatement. A. Laussedat entreprit les premiers travaux de ce qu'il appelait *métrophotographie* dans la première moitié du XIXe siècle, mais ce n'est qu'après la guerre de 1870, sous l'impulsion d'A. Meydenbauer, et le fort développement des appareils photographiques que les procédés entreront



En 1415, Brunelleschi prouve la justesse de sa méthode de création de perspective en les confrontant à la réalité avec ce dispositif

Sources : maitaly.wordpress.com/2011/04/28/brunelleschi-and-the-re-discovery-of-linear-perspective/, le 03/04/2013

25. Les travaux de F. Brunelleschi sur la perspective

Cette gravure de Dürer montre un dispositif permettant de dessiner une perspective sans déformation (vers 1525) : le portillon de Dürer



Sources : commons.wikimedia.org/wiki/File:DURER2.png , le 03/04/2013

26. Les travaux d'A. Dürer sur la perspective

dans une phase pratique (Carbonnel 1968, p. 1). Il fallait alors disposer d'appareils photographiques stéréoscopiques et calibrés afin de connaître le parcours exact des rayons lumineux à travers l'ensemble des dispositifs optiques, et ainsi retrouver les coordonnées spatiales de l'intersection du même détail pris sous deux angles différents.

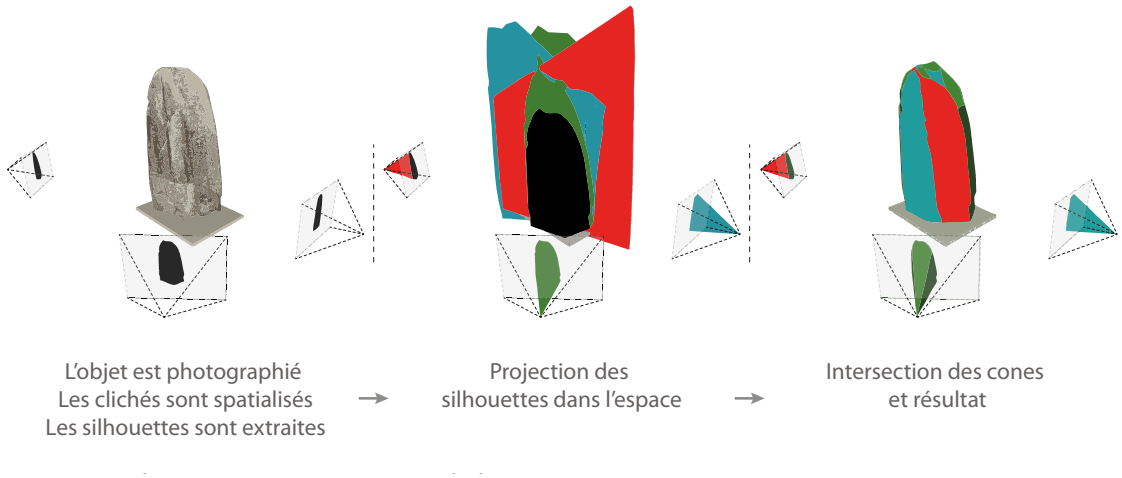
C'est avec la démocratisation des appareils photos numériques et l'augmentation de la puissance des calculs des ordinateurs personnels que la documentation tridimensionnelle des structures prendra un nouvel essor. En 2006, les outils disponibles pour produire de la 3D à partir d'images (Remondino et El-Hakim 2006) sont classifiés en trois catégories :

- les approches permettant d'obtenir une reconstruction automatique de la scène à partir d'images non-calibrées ;
- les approches qui reconstruisent semi-automatiquement les scènes à partir d'images orientées ;
- les approches qui reconstruisent automatiquement les scènes à partir d'images orientées.

Le terme « automatique » est cependant à nuancer car dans la très grande majorité des cas, une intervention manuelle était requise pour identifier les points communs au sein d'un jeu de photos, un détourage des objets devait être effectué, ou encore l'opérateur devait lui-même reconstruire la scène à partir de formes géométriques primitives (cube, sphère, cylindre, cône…) ou d'outils de modélisation (spline, NURBS… et la création de surfaces extrapolées à partir de ces lignes guides). La notion de procédure automatique dans la modélisation à partir d'images a évolué avec les outils disponibles depuis 2006. Cette évolution a notamment été accélérée avec la publication en 2006 de l'algorithme *bundler* (Snavely et al. 2006) qui a ouvert la voie à la corrélation dense d'images. Associé avec les détecteurs de Harris (Harris et Stephens 1988) et SIFT (Lowe 1999), *bundler* est capable de traiter une grande quantité d'images non calibrées. C'est à partir de ces travaux de recherche qui se matérialisent concrètement à travers le logiciel VSFM (*Visual Structure From Motion*) (Wu 2013 ; Wu et al. 2011) que le terme « automatique » va prendre complètement son sens puisque l'opérateur n'a plus besoin d'intervenir sur le jeu de photo pour obtenir une reconstruction 3D.

Par conséquent, la nomenclature des outils établie par F. Remondino en 2006 n'a plus réellement de sens puisque les outils actuels ne nécessitent plus l'intervention de l'opérateur. En revanche, la manière dont les données tridimensionnelles sont produites devient désormais déterminante pour qualifier les résultats. Aujourd'hui, il faut distinguer deux grandes familles d'outils permettant de reconstruire des scènes tridimensionnelles à partir d'images : d'une part la photomodélisation, d'autre part la corrélation dense d'images, et toutes deux sont regroupées sous le nom de photogrammétrie. En effet, la photogrammétrie désigne l'ensemble des procédés permettant d'extraire des dimensions à partir d'une ou de plusieurs images. La photomodélisation indique l'ensemble des procédures consistant à modéliser à partir d'une ou de plusieurs images, en s'appuyant sur des points clés. Cette action peut être assimilée à « décalquer en 3D » à partir de formes géométriques primitives la plupart du temps. C'est une technique qui peut prendre énormément de temps et qui produit des modèles avec peu de facettes. Enfin, la reconstruction des modèles ne peut pas être automatisée car l'opérateur

La stèle de Kermaillard, Sarzeau (56)



27. Principe de reconstruction à partir de la silhouette

L'allée couverte de Grah Niol, Arzon (56)

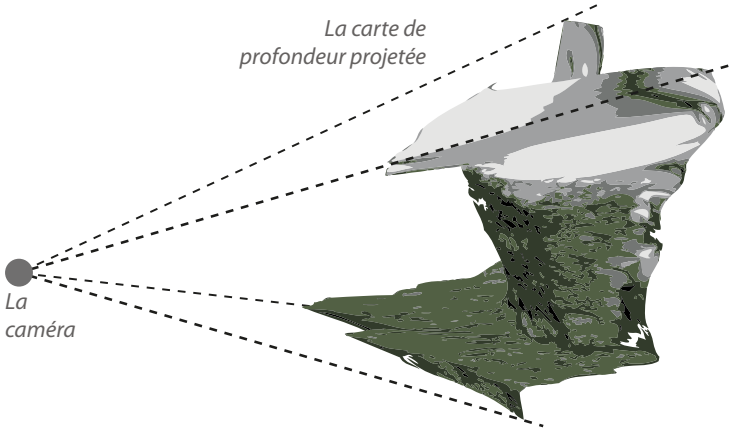


Nuage de points coloré issu d'un calcul de VSFM

28. Principe de reconstruction à partir de la texture

Menhir du Bronzo, Locmariaquer (56)





A droite, la photo et sa carte de profondeur en niveau de gris produite avec Photoscan. Ci-dessus, la principe de projection d'une carte de profondeur à partir d'une caméra. Une scène est reconstruite à partir de la fusion de plusieurs de ces cartes.

29. Principe de reconstruction à partir de la profondeur

doit reconnaître les lignes à suivre. La corrélation dense d'images, *a contrario*, regroupe différentes techniques de reconstruction qui permettent de reconstruire automatiquement avec une haute résolution l'objet photographié selon une multitude de points de vue se chevauchant fortement.

Alors que les outils de photomodélisation ont aujourd'hui pratiquement disparu du paysage, la corrélation dense d'images est largement utilisée. Mais celle-ci se décline de nouveau selon plusieurs procédés que nous allons maintenant décrire.

5.3.2.2. Les différentes techniques de reconstruction en corrélation dense d'images

Les procédures actuelles menant à une reconstruction tridimensionnelle des scènes peuvent aujourd'hui être rangées dans trois grandes catégories : la reconstruction à partir de silhouette, à partir de la texture, et à partir des cartes de profondeur.

La **reconstruction à partir de silhouettes** (Debevec 1996, p. 10) ne fonctionne parfaitement que si la surface à reconstruire est entièrement convexe. Si la géométrie (le parcours de la gerbe de rayons lumineux traversant les dispositifs optiques), la position et l'orientation de la caméra sont connues, il est possible de sculpter l'objet à partir de ses contours en intersectant les cônes de projection (Cf. figure 27). Par conséquent, si l'objet à modéliser présente une concavité, il sera quasiment impossible d'en déterminer sa profondeur selon cette technique.

La **reconstruction à partir de la texture** (Kutulakos et al. 2000) consiste à sculpter un volume de voxels (contraction de *volumetric pixel*) selon des critères de « photo-consistance ». Cela signifie que l'algorithme s'appuie sur la comparaison des couleurs des photographies pour déterminer une information spatialisée. Les résultats obtenus peuvent par conséquent être très variables selon les conditions dans lesquelles les clichés ont été pris puisqu'une variation trop importante des couleurs entraîne une disparition de l'information. Le processus est très long puisque chaque pixel doit être traité individuellement. Une autre approche similaire permet d'accélérer l'opération. Qualifiée de reconstruction *patched-based*, elle consiste à diviser les images en plusieurs zones qui seront ensuite traitées les unes après les autres (Furukawa et Ponce 2010). Les algorithmes en question sont PMVS (*Patched-based Multi-View Stereo*) et CMVS (*Clustering Views for Multi-View Stereo*). Les pixels sont projetés par paquets, et les points sont construits dès que les faisceaux provenant de plusieurs images se croisent. Le logiciel *Visual SFM* est une interface graphique qui permet d'utiliser ces deux algorithmes dans une chaîne cohérente et unifiée avec SIFT et *bundler*. Les variations de couleurs dans les images peuvent par conséquent influencer la qualité des reconstructions. À cela s'ajoute le fait que les paquets de pixels projetés dans l'espace ne correspondent pas nécessairement exactement aux mêmes régions, et des zones lacunaires peuvent apparaître sous la forme d'un effet de palier (Cf. figure 28). Il faut cependant nuancer cette observation par notre propre phase d'apprentissage pour produire un jeu de photos adéquat à une reconstruction photogrammétrique.

La **reconstruction à partir de cartes de profondeur** (Roy et Cox 1998) consiste à analyser l'image pixel par pixel de manière à déterminer – dans un système relatif – à quelle distance se situent chaque pixel de l'appareil photo. Le résultat de cette étape est transcrit sous la forme d'une carte de profondeur. Communément, cette image est un dégradé en niveau de gris où les valeurs les plus

sombres correspondent aux zones les plus éloignées, et *a contrario* les valeurs les plus claires sont les plus proches du point d'observation (Cf. figure 29). Cette distance est relative car elle ne peut pas être exactement connue à partir d'un seul cliché. Après avoir orienté et positionné les caméras, les différentes cartes de profondeur sont projetées dans l'espace et ajustées entre elles pour obtenir une représentation tridimensionnelle de l'objet. Concrètement, la résolution du maillage obtenu est théoriquement celle de la taille du pixel projeté dans l'espace. C'est selon cette méthode que le logiciel Photoscan d'Agisoft fonctionne.

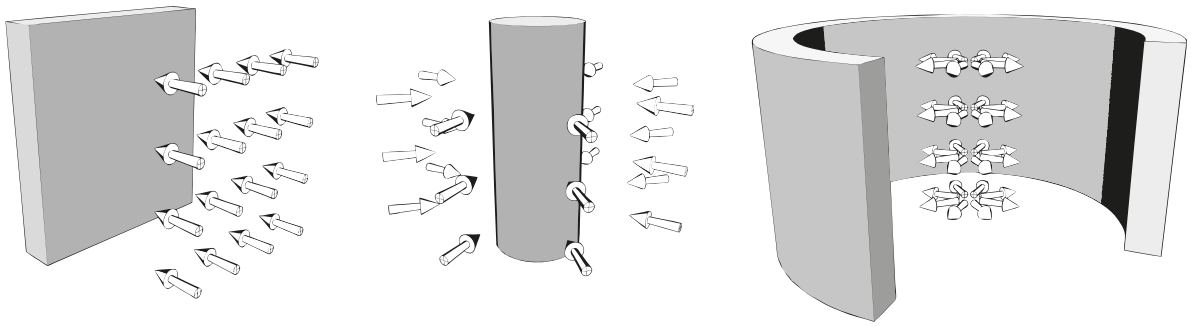
Aujourd'hui, la technique qui est largement utilisée semble être la reconstruction à partir des cartes de profondeurs car contrairement à la technique des silhouettes, les cartes de profondeurs se jouent de la concavité des volumes, et contrairement aux reconstructions à partir des textures, les résultats sont moins sensibles aux variations de lumière et l'effet de palier que nous avons décrit est moins présent.

5.3.2.3. Les configurations spatiales

Il faut distinguer la photogrammétrie aérienne de la photogrammétrie terrestre car les configurations et les paramètres à prendre en compte sont différents.

La photogrammétrie aérienne consiste à documenter la topographie d'un territoire à partir de clichés pris en avion. De cette manière, c'est une surface plus ou moins plane qui est considérée. En revanche, les masses d'air présentes entre le sol et l'appareil photo peuvent influencer assez fortement le trajet des rayons lumineux. La nébulosité, la température et la turbulence de l'air sont autant de facteurs à prendre en compte pour mener à bien ces reconstructions.

La photogrammétrie terrestre (ou architecturale) n'est pas soumise à ces contraintes puisque la distance entre l'opérateur et les surfaces à documenter n'est pas aussi importante. En revanche, les configurations spatiales peuvent être extrêmement variées. La topologie des espaces peut être réduite à trois cas : les volumes plans, concaves et convexes (Cf. figure 30). C'est la combinaison de ces trois paramètres qui produit la complexité de l'acquisition photogrammétrique terrestre. C'est pourquoi il est nécessaire de préparer le chantier, comme nous le détaillerons dans le chapitre suivant.



30. Les trois topologies d'espace à prendre en compte pour un chantier photogrammétrique

5.3.3. Conclusion

L'ambition n'était pas de dresser un état de l'art complet des différentes techniques de numérisation des espaces architecturaux, mais de dresser un panorama qui permette de comprendre dans quel environnement évoluent les outils que nous utilisons. Cette ambition a été jugulée par la complexité des sources disponibles. En effet, il existe un fossé dans le monde de la numérisation entre les informaticiens inventant et perfectionnant les algorithmes de reconstruction, et les praticiens qui peinent à comprendre la littérature difficile d'accès des premiers.

Il était néanmoins nécessaire de faire ce travail de défrichage car les outils mobilisés influent fortement les résultats comme nous pourrons le constater dans le chapitre suivant.

5.4. Application de ces outils de numérisation sur les architectures funéraires néolithiques

Les outils de numérisation que nous venons de présenter sont largement utilisés pour la documentation des vestiges archéologiques. Les exemples sont pléthoriques pour les architectures des périodes historiques et très nombreux pour les grottes paléolithiques. Pour le dire autrement, il n'est pas difficile de trouver des exemples d'application de ces méthodes. En revanche, les exemples sont beaucoup plus rares pour ce qui concerne les objets qui nous intéressent. Les expériences européennes de numérisation de ces architectures ont été synthétisées dans un article (Cassen et al. 2013a). L'état de l'art est arrêté à l'automne 2012, et il faut reconnaître que les applications depuis cette date ce sont multipliées. Plutôt qu'un état de l'art exhaustif, seules les expériences jugées les plus démonstratives des objectifs et des moyens mobilisés seront décrites.

Les premières expériences d'acquisition tridimensionnelle à partir de photos remontent à 1983 au Portugal sur la tombe à couloir de Anta Grande de Zambujeiro dans la région de l'Alentejo, près d'Evora (Soares et Tavares da Silva 2010). Publiés longtemps après leur réalisation, les résultats ne semblent pas avoir été exploités pour répondre à des questions archéologiques. C'est certainement le reflet d'une certaine difficulté à manipuler ce type de format de données au milieu des années 1980, sur des ordinateurs dont la puissance n'est en rien comparable au matériel d'aujourd'hui.

Une autre expérience, mais en Estonie cette fois, a conduit à relever par stéréoscopie en 1986 des pétroglyphes sur des affleurements rocheux du lac Onega en Russie (Poikalainene et Ernits 1998). Comme au Portugal, les résultats sont publiés longtemps après leur production.

La précocité de ces expériences ne sera pas suivie d'une large adoption de ces techniques de documentation pour deux raisons. Les travaux n'ont été publiés que tardivement, et ces cas d'école n'étaient pas largement connus de la communauté. Il faut noter que comme nous l'avons dit, les ordinateurs pour manipuler ces données manquaient de puissance pour produire des représentations satisfaisantes. Il y a donc un premier hiatus entre les objectifs et les moyens techniques disponibles. Une autre explication repose sur les compétences de l'équipe en charge de la documentation. L'exploitation des formats de fichier 3D nécessitent des compétences qui dépassent celles de

l'archéologue. Les équipes qui ont pu produire les travaux les plus remarquables sont celles où les archéologues se sont associées à des spécialistes de la représentation tridimensionnelle (géomaticiens, ingénieurs, architectes...). Ces différentes difficultés se manifestent clairement dans les différentes expériences menées depuis 2003 au sein du laboratoire dans lequel ce travail de thèse s'inscrit (LARA – Université de Nantes).

Les premiers travaux initiés sur la dalle de chevet de la Table des Marchands à Locmariaquer mobilisaient la photogrammétrie (couples de photographies numériques calibrées). La reconstruction réalisée à l'aide d'un logiciel de l'IGN nécessitait un temps de traitement très long et des manipulations complexes. À l'occasion d'un programme d'étude sur ce même monument, un retour sur site en 2006 a été organisé pour une acquisition des abords en lasergrammétrie grâce à la démonstration d'un constructeur de scanner laser (Bouillon et Cassen 2007). Pour différentes raisons, ces données ne seront pas pleinement étudiées (abandon de la thèse de doctorat et non-restitution des données issues de la démonstration du constructeur de laser scanner Faro). Malgré tout, pour mener à bien les travaux qui devaient alimenter le colloque *Autour de la Table*, les relevés au 1/10 réalisés au moment de la fouille seront transformés en 3D grâce au logiciel SketchUp. De plus, l'acquisition à partir d'un *scanning* sans miroir depuis un tachéomètre a permis de numériser plusieurs sites de cette même commune (le Grand Menhir, Mané Lud, Mané Rutual). Les simulations architecturales ont alors pu être explorées.

La numérisation des trois dolmens de Mané Kerioned à Carnac en 2003 a d'abord connu une numérisation à deux échelles distinctes : une échelle architecturale avec une résolution comprise entre 1 et 5 cm de résolution (scanner Trimble GS200) ; une acquisition au niveau de la gravure avec une résolution infra-millimétrique (scanner Mensi SOASIC). Ce dispositif a permis d'acquérir des données trop denses et trop lourdes pour les capacités matérielles du laboratoire à cette époque. Cette opération sera alors doublée d'une acquisition en photomodélisation avec le logiciel RealViz. Les données sont alors beaucoup plus légères et facilement manipulables. Cette perte en résolution géométrique est compensée par la richesse des textures photoréalistes. Le résultat du retour sur site en 2006 connaîtra malheureusement les mêmes déboires que pour la Table des Marchands.

En 2009, le programme de recherche sur la Table des Marchands se conclue et Gavrinis apparaît comme le prolongement logique tant les deux monuments se répondent. Pour éviter les mêmes errements, archéologues, architectes et géomètres travailleront ensemble dès le départ à la définition de la meilleure stratégie pour enregistrer et exploiter ces données.

La recherche de la résolution adéquate pour documenter au mieux les sites a également été l'objet de plusieurs recherches. Le monument le plus emblématique sur cette question est sans conteste Stonehenge, puisqu'en une vingtaine d'années, trois opérations de numérisation ont été menées.

Mais c'est en 1967 que le premier relevé photogrammétrique a été réalisé. Cela ne concernait qu'une seule hache gravée de la stèle 53 et découverte quatorze années plus tôt (Goskar et al. 2003). C'est une équipe du *Department of Photogrammetry and Surveying*, du *University College* de Londres qui a réalisé l'opération par couple de vues stéréoscopiques. Une résolution de 0,5 mm avait alors été atteinte sur cette zone. Ce travail précurseur ne sera pas poursuivi et cette opération tombera plus ou moins dans l'oubli.

En 1993, P.G. Bryan dirige un deuxième relevé en photogrammétrie (Goskar et al. 2003; Bryan & Clowes 1997). Cette fois, l'ensemble du site est enregistré dans un système de coordonnées unique, et ces données sont mises également en relation avec les données issues de la numérisation du paysage. Bien que les traitements soient semi-automatisés, les opérations restent laborieuses pour atteindre une résolution d'environ deux centimètres. Ce sont ces données qui alimenteront le projet de paysage virtuel autour de Stonehenge réalisé en 1996. Plusieurs objectifs ont animé ce travail. D'abord, le récent classement Unesco du site (1986) et les milliers de touristes affluant posent des problèmes de conservation. Établir une archive tridimensionnelle du monument était donc une priorité. Ensuite, la volonté était d'établir une base de données cohérente entre les différentes stèles composant le site et son environnement proche ; cette base devant ensuite être accessible aux conservateurs et aux chercheurs.

En 2003, une petite équipe de la société savante *Wessex Archaeology* s'essaie à l'enregistrement tridimensionnel de quelques gravures (Goskar et al. 2003). La démarche n'est pas inscrite dans un programme de recherche, mais est l'objet de tests pour valider une démarche et ces résultats pour documenter des gravures. Le matériel utilisé est un scanner Minolta VI-900 fonctionnant selon le principe de la lumière structurée. Un panneau de 0,7 x 2 mètres est acquis en peu de temps à une très forte résolution (le document annonce 8 picomètres, ce qui est impossible car inférieur à la dimension du noyau d'un atome ; il s'agit probablement de 8 micromètres – ce qui est déjà extrêmement dense). Les données sont ensuite manipulées dans un logiciel (Demon) développé par Archeoptics, la société qui a réalisé les scans. Les motifs de hache apparaissent clairement visibles car ils sont bien isolés, connus, et très répétitifs.

En 2011 enfin, Stonehenge est de nouveau le théâtre d'un relevé tridimensionnel (Abbott et Anderson-Whymark rapport 2012; Bryan et al. 2013). La motivation est fondée sur les gravures inédites découvertes en 2003 grâce à l'application d'un relevé haute résolution, mais seulement sur une fraction du monument. Cette opération a eu le mérite de montrer que le fameux monument n'était pas encore bien connu et qu'il était possible d'y faire de nouvelles découvertes. Afin d'obtenir une image plus large du site, l'environnement proche a été numérisé également. La numérisation du site en 2011 a été réalisée à plusieurs résolutions :

- la topographie du paysage est enregistrée à une résolution de 10 cm ;
- l'environnement proche, défini par le fossé, est enregistré à une résolution de 2 cm ;
- le cercle de pierre est enregistré à une résolution de 1 mm ;
- la surface de chaque pierre est enregistrée à une résolution de 0,5 mm.

Les travaux sont réalisés avec plusieurs capteurs :

- un capteur laser Leica C10 basé sur la technologie du temps de vol pour la topographie ;
- un capteur laser Z+F 5006h basé sur la technologie de la différence de phase, et associé à un appareil photo pour coloriser les nuages de points. Ce dispositif est dédié à l'enregistrement des stèles à une résolution de 1 mm ;

- un appareil photo Nikon D3 pour compléter la texture des maillages ;
- et enfin un autre capteur Z+F Imager 5010 basé lui aussi sur la technologie de la différence de phase. Il servira à l'acquisition haute résolution des stèles.

Cependant, d'énormes contraintes d'acquisition en lasergrammétrie se sont avérées insurmontables, notamment pour enregistrer les faces supérieures des trilithes. Placés sur des mâts hydrauliques, les capteurs tanguaient toujours trop pour assurer une bonne documentation. L'équipe a alors décidé de se diriger vers la photogrammétrie et la corrélation dense d'images pour assurer les résultats. Cette profusion de moyens permettra de constituer une base de données de 850 Go. La publication rapide du rapport en 2012 – soit un an après l'acquisition – détaille les méthodologies de traitement de données, les maillages alimentent le centre d'interprétation inauguré peu de temps après. La conclusion de la publication de 2013 (Bryan et al. 2013) fait état d'un succès concernant cette opération, et il n'est pas précisé si d'autres travaux continueront à être menés sur ce jeu de données.

L'expérience conduite par la société savante *Wessex Archaeology* trouve de nombreux échos. Ce qui est difficilement perceptible sur site devient beaucoup plus net une fois numérisé et la texture enlevée. Cependant, l'expertise du regard est indispensable pour identifier l'intérêt des « accidents » sur les surfaces. L'exemple le plus démonstratif concerne quelques stèles isolées des Tuilyes (Cf. figure 31) en Écosse et numérisées par la société Pixogram (société aujourd'hui rachetée par le groupe Soluis). Alors que le processus d'érosion est clairement visible à travers les cannelures verticales liées à l'écoulement de l'eau depuis des millénaires, ce fait n'est pas « visible » pour quelqu'un qui n'est pas initié à ce type de lecture (Sellier 1995).

De nombreux autres exemples peuvent être cités, à l'instar de deux stèles de la région espagnole de Cantabrie (Breuckmann et al. 2009). La numérisation d'une stèle de 3 mètres couchée en pleine montagne dans la région de Sejos à l'aide d'un scanner Smartscan3D (lumière structurée) a nécessité 40 stations sous tente pour éviter que la luminosité ambiante ne perturbe la lecture des motifs projetés sur le roc. La seconde stèle trouvée à Zurita est quant à elle située au musée de la préhistoire de Santander et n'a nécessité que 16 stations avec le même matériel. À l'issu des deux acquisitions tridimensionnelles, les auteurs indiquent que la lecture des motifs est beaucoup plus aisée, ce qui aide à dater l'emploi des stèles vers l'âge du Cuivre.



31. Stèles des Tuilyes (numérisation et production de l'image : Pixogram)

Les gravures ne sont pas les seuls cas de documentation. Ces outils sont également employés lors de fouilles pour documenter les différentes phases du chantier. Les travaux les plus remarquables en ce sens ont été menés sur les dolmens 3 et 4 d'El Pozuelo (province de Huelva, Espagne) (Linares Catela et al. 2013). La documentation a été réalisée avec un scanner laser Leica Scanstation 2 (technologie du temps de vol), et un appareil photo supplémentaire est utilisé pour compléter les relevés avec la texture des matériaux. La précision, la qualité et la facilité de production des descriptions géométrales (plans, coupes, élévations) est le premier bénéfice de ces outils soulignés par les auteurs. Ils sont d'autant plus appréciés que la fouille de structures tumulaires offre peu d'éléments orthogonaux sur lesquels appuyer le dessin. Une acquisition raisonnée est prodiguée afin de ne pas multiplier les données inutiles. Cela passe par une planification du chantier de fouille en relation avec les phases d'acquisition et la résolution optimale des scans. En effet, plus les acquisitions sont nombreuses et volumineuses, plus le temps de traitement des données s'allonge. Il est rapporté que le coût que représentent les scanners laser est un inconvénient, mais cela doit être analysé dans une approche plus globale. Notamment, alors qu'il est courant de retourner sur site pour compléter les relevés avec les autres techniques d'enregistrement, une économie importante est faite avec la numérisation tridimensionnelle puisque la quantité d'information permet d'être plus précis.

En 2005, une démarche très similaire, bien que moins aboutie, a été menée lors de la fouille du dolmen de Menga en Andalousie (Ruiz Gonzalez 2009). Le dolmen est de nouveau fouillé, mais en préparation du chantier, les archéologues ont pu planifier leurs interventions sur des documents justes et conserver une image de l'état du monument avant leurs travaux.

Ces outils de documentation sont aussi intégrés dans des projets plus ambitieux liés à la conservation des sites. C'est notamment le fondement de la démarche de N. Corton Noya et F. Carrerra Ramirez en Galice (Carrerra Ramirez 2011 ; Corton Noya et al. 2011). L'approche consiste à documenter à travers une acquisition lasergrammétrique, photogrammétrique et orthophotographique les dommages menaçant les peintures et gravures des parois de la tombe à couloir de Dombate. Chaque élément – algues, lichens, champignons, rubéfaction, craquelures, desquamations – est systématiquement inventorié, localisé et commenté. La base de données ainsi constituée permettra de suivre l'évolution sanitaire de chaque stèle et facilitera la prise de décision pour assurer leur pérennité.

Parfois, ces outils sont mobilisés dans des situations d'urgence comme pour la documentation de sites déjà détruits. C'est ce qui est arrivé pour le tertre de Fonte Turon à Lalin (Galice, Espagne) (Cabrejas Domínguez et al. 2009). En préalable à des travaux concernant l'installation de nouvelles lignes électriques de moyenne-tension, un travail de prospection archéologique a été mené pour évaluer l'impact de tels travaux. Des dalles ornées ont été identifiées aux angles du découpage parcellaire. Si les recherches documentaires ne font pas état de destruction de sépultures mégalithiques à proximité, il n'en reste pas moins que plusieurs tombes sont déjà connues dans un périmètre proche. Devant le fait exceptionnel des ornements, chaque bloc a été numérisé avec un scanner laser Leica HDS3000 (technologie basée sur le temps de vol) à une résolution de 2mm et les gravures dessinées sur calque numérisé et replacé sur les élévations. Malheureusement, l'état de destruction du monument ne peut pas laisser la place à un remontage virtuel des blocs.

Il faut aussi considérer que toutes les opérations de numérisation n'ont pas été conduites jusqu'à répondre à des questions archéologiques. Les modèles tridimensionnels ne sont pas toujours exploités pleinement pour servir un objectif autre que l'archivage ou la publicité. Citons par exemple la numérisation des tombes d'Orkney au Nord de l'Écosse par la fondation Cyark[1] avec l'aide de l'entreprise Scottisch Ten. Des vues spectaculaires ont certes été produites, mais elles sont quasiment inutilisables pour appuyer un discours. Les nuages de points sont également manipulables à travers le site internet, mais aucun autre traitement ne semble avoir été mené sur ces acquisitions et ils apparaissent à l'état brut.

L'objectif n'était pas ici de dresser un panorama complet des numérisations tridimensionnelles des architectures funéraires néolithiques ou protohistoriques en Europe occidentale, mais bien de montrer la diversité des travaux et des approches menés par différentes équipes.

5.5. Conclusion

Gavrinis est un monument qui a été représenté plusieurs fois par différents auteurs. Toutes les représentations apportent un nouveau lot d'informations car le relevé d'une architecture est un processus qui consiste à extraire d'une part ce que l'on perçoit, et d'autre part les informations jugées dignes d'intérêt par l'opérateur. Ces choix varient donc en fonction de chaque personne et sont opérés selon le regard et les connaissances de l'opérateur. Tel acteur mettra l'accent sur ce détail plutôt qu'un autre car il a pu établir un lien avec ce qu'il a vu auparavant. Cependant, les différents dessins répondent tous aux mêmes normes de représentation : la description géométrale. Le plan, la coupe et l'élévation ne subissent pas les déformations spécifiques à la perspective. Sans ces effets de parallaxe, il est possible de mesurer des distances sur ces représentations. Associer deux de ces représentations, et il est possible de restituer la volumétrie de l'objet.

C'est en considération de cela que le relevé transforme l'objet. Il peut être comparé à d'autres sujets similaires et entre ainsi dans une histoire puisque des liens de parenté et de filiation peuvent être établis. Aussi sa représentation à un instant précis crée-t-elle un jalon pour sa propre histoire et pour l'épistémologie de la discipline.

Il faut noter aussi que les techniques de représentation ont largement évolué depuis les premiers dessins effectués, et plus particulièrement depuis ces quinze dernières années. Les informations peuvent désormais être acquises en plus grande quantité, plus rapidement. Le sentiment d'une certaine objectivité dans la représentation de l'objet peut alors apparaître. Cependant, une seule représentation ne peut pas couvrir l'ensemble des nuances que portent les maillages 3D. Les relevés doivent alors inclure plusieurs modes de représentation puisqu'il ne s'agit encore une fois que du résultat d'une interprétation. Un seul mode de figuration ne peut pas se suffire à lui-même ; c'est par la multiplication des modes de représentation qu'une relative objectivité pourra être atteinte.

1 http://www.cyark.org/projects/the-heart-of-neolithic-orkney/in-depth (consulté le 12/03/15)

Grâce aux développements de ces outils d'acquisition, il est possible de multiplier les échelles d'intervention tout en conservant une cohérence dans les données. Dans le même système de coordonnées, il est désormais possible de représenter la gravure en fonction de la morphologie du support, la stèle dans son contexte architectural, l'architecture dans son environnement proche, et même dans un territoire de plusieurs kilomètres carrés.

Les techniques d'acquisition tridimensionnelle ont énormément évolué ces dernières années. Leurs traitements sont des processus complexes, et il convient de les détailler. C'est l'objectif que se fixe le chapitre suivant.

Chapitre 6. Enregistrer les architectures

6.1. L'enregistrement de Gavrinis

6.1.1. Définition des objectifs pour l'enregistrement du site de Gavrinis et outils mobilisés

Le site Gavrinis a été numérisé lors du programme de recherche intitulé « À la recherche des représentations d'une tombe à couloir du IVe millénaire ». Son objectif principal consiste à renouveler le corpus de représentation des signes gravés dans le couloir. Ce travail a été étendu à l'enregistrement du contexte architectural afin d'y replacer les différents signes, à l'instar du travail mené au Mané Lud (Cassen 2011).

La tombe de Gavrinis dans son état actuel présente un couloir de 15m de long recouvert d'une structure tumulaire en partie fouillée et restaurée de cinquante mètres de diamètre environ. Pour ne pas condamner l'accès à la dalle de couverture qui est gravée, une cavité a été aménagée lors de la restauration en 1979.

Depuis le début des années 2000, la documentation des architectures tend à se diriger vers des représentations tridimensionnelles. Par conséquent, l'acquisition repose sur un relevé réalisé en 3D. Les techniques avec contact sont délaissées au profit des techniques sans contact, c'est-à-dire reposant sur une reconnaissance optique des objets. Comme nous l'avons expliqué précédemment, ces dernières se subdivisent en deux catégories : les capteurs optiques actifs (que nous retrouvons sous le nom de *range-based modelling* dans la littérature anglaise) et les capteurs optiques passifs (*image-based modelling*) (Remondino et El-Hakim 2006).

Considérant la complexité des espaces de la tombe de Gavrinis, les objectifs affichés et les compétences de notre équipe en 2011, le choix s'est porté sur deux acquisitions lasergrammétriques. L'une a été consacrée à l'enregistrement de l'architecture et de son environnement proche ; la seconde se donnait pour mission de documenter les stèles ornées. Les deux campagnes sont menées de manière à obtenir des données géolocalisées à des résolutions jugées adéquates pour obtenir les informations recherchées. L'enregistrement de la tombe à couloir et de la structure tumulaire de Gavrinis a eu lieu en mars 2011. Les choix pris pour l'enregistrement tridimensionnel de Gavrinis ont été déterminés par les pratiques et les observations faites par d'autres équipes dans des contextes similaires. Par exemple, la même stratégie a été adoptée pour l'acquisition tridimensionnelle de Stonehenge en 2011 (Bryan et al. 2013).

6.1.2. Mise en œuvre du relevé et résultats bruts

L'enregistrement de la tombe de Gavrinis a été effectué en lasergrammétrie. Deux techniques ont été mobilisées pour répondre aux exigences de documentation de la structure tumulaire, du couloir et de l'ornementation des orthostates (Cassen et al. rapport 2012).

Un scanner Leica C10 reposant sur la technologie de la différence de phase a été mobilisé pour enregistrer le couloir, l'enveloppe extérieure du cairn et la cavité aménagée au-dessus de la dalle de couverture P10. Cette technologie se justifie par l'opération délicate qu'est le raccordement de l'enveloppe extérieure avec l'intérieur du couloir et surtout avec la cavité au-dessus de la dalle de couverture de la chambre funéraire. Alors que la résolution pour les parties intérieures est millimétrique, elle devient centimétrique à l'extérieur en raison de la distance entre le capteur et les surfaces. À l'issue de ce scan, 3 937 900 points ont été acquis pour la structure tumulaire.

Les stèles ont été numérisées quant à elles grâce à un scanner Nikon Krypton K610. Cet appareil est un capteur laser reposant sur le principe de la triangulation. Le capteur mobile est équipé de caméras qui mesurent la déformation d'une ligne laser projetée sur une surface. Ce capteur est quant à lui spatialisé grâce à une colonne fixe. Une résolution infra-millimétrique (0,5 mm en moyenne) est obtenue pour chacune des stèles (relevé A dans le tableau ci-après). Les stèles qui n'étaient pas connues pour être décorées en 2011 n'ont pas bénéficié de cet enregistrement infra-millimétrique. La géométrie de ces stèles a été récupérée dans les données produites par le scanner à différence de phase (relevé B).

Élévation droite du couloir :

Nom de la stèle	Relevé A	Relevé B	Surfaces enregistrées (en m²)
R1	_	277 803	2,103 m²
R2	_	105 369	1,389 m²
R3	2 071 674	_	1,901 m²
R4	1 582 316	_	1,618 m²
R5	1 457 448	_	1,380 m²
R6	1 185 477	_	1,249 m²
R7	_	388 671	1,856 m²
R8	2 070 681	_	2,006 m²
R9	1 722 942	_	1,713 m²
R10	1 262 664	_	1,287 m²
R11	2 561 798	_	2,494 m²
R12	2 074 798		2,230 m²
TOTAL	**15 989 798**	**771 843**	**21,226 m²**

Chambre :

Nom de la stèle	Relevé A	Relevé B	Surfaces enregistrées (en m²)
C1	2 020 659	_	2,132 m²
C2	1 789 738	_	1,698 m²
C3	2 244 028	_	2,351 m²
C4	2 108 844	_	2,081 m²
C5	2 436 562	_	2,183 m²
C6	1 876 067	_	1,829 m²
TOTAL	**12 475 898**	_	**12,274 m²**

Élévation gauche du couloir :

Nom de la stèle	Relevé A	Relevé B	Surfaces enregistrées (en m²)
L1	_	301 142	2,772 m²
L2	_	184 892	2,256 m²
L3	_	197 801	2,256 m²
L4	2 702 801	_	2,515 m²
L5	1 965 101	_	1,919 m²
L6	2 094 965	_	2,036 m²
L7	2 025 487	_	2,021 m²
L8	1 810 661	_	1,804 m²
L9	1 384 475	_	1,399 m²
L10	1 700 980	_	2,122 m²
L11	1 577 994	_	1,590 m²
TOTAL	**15 262 464**	**683 835**	**22,690 m²**

Dalles de couverture :

Nom de la stèle	Relevé A	Relevé B	Surfaces enregistrées (en m²)
P1	_	361 962	3,738 m²
P2	_	205 995	1,533 m²
P3	_	157 095	1,637 m²
P4	_	1 560 888	1,767 m²
P5	_	1 765 835	1,732 m²
P6	_	3 254 301	2,205 m²
P7	_	753 155	1,781 m²
P8	_	1 330 341	1,681 m²
P9	_	1 727 951	2,908 m²
P10	28 671 111*	3 161 411**	17,676 m²
TOTAL	**28 671 111**	**14 278 934**	**36,658 m²**

* – Pour la face supérieure de la dalle de couverture
** – Pour la face inférieure de la dalle de couverture

Dalles de sol :

Nom de la stèle	Relevé A	Relevé B	Surfaces enregistrées (en m²)
De S1 à S13		1 492 685	21,364 m²
S1	_	_	_
S2	_	_	_
S3	_	_	_
S4	_	_	_
S5	_	_	_
S6	_	_	_
S7	_	_	_
S8	_	_	_
S9	_	_	_
S10	_	_	_
S11	_	_	_
S12	8 674 155	_	2,573 m²
S13	_	_	_
TOTAL	**8 674 155**	**1 492 685**	**21,364 m²**

TOTAL		
Relevé A	Relevé B	Surfaces enregistrées (en m²)
81 073 426	15 734 612	98,848 m²

Au total, ce sont plus de 81 millions de points qui ont été acquis en lasergrammétrie par triangulation pour décrire les surfaces ornées et le couloir.

La description des orthostates, dalles de couverture et de sol a été complétée par plus de 15 millions de points, portant ainsi le modèle à un total de 96 808 038 points pour l'ensemble du site ; à cela s'ajoute la structure tumulaire. La tombe de Gavrinis est décrite dans son entièreté par 100 745 938 points – les informations redondantes ayant été soustraites.

Chaque orthostate étant scanné individuellement, des cibles de recalage ont été disposées dans le couloir de manière à pouvoir être enregistrées à la fois dans la numérisation de l'architecture et la numérisation de chacune des stèles. Ainsi tous les scans partagent-ils les mêmes coordonnées spatiales. Comme deux fichiers peuvent être difficilement affichés en haute définition en même temps, cela permet de travailler chaque fichier indépendamment les uns des autres sans perdre la cohérence entre chacun d'entre eux.

6.1.3. Une critique des résultats obtenus

Le premier apport évident de la campagne de numérisation du cairn et de son couloir est de posséder une représentation cohérente et fidèle à la réalité du monument. L'assemblage des différentes stations d'acquisition offre une continuité dans les informations enregistrées. La forme de la structure tumulaire est désormais parfaitement décrite avec ses différents profils et ses différents états de restauration. La position et la morphologie du couloir est désormais connue. C'est un pas important dans la « connaissance » du monument qui a été franchi (Cassen et al. 2014).

À une autre échelle, la représentation de chacune des stèles offre une première visualisation des motifs, une lecture de la relation entre ces motifs et leur support, et la position de ce support dans le contexte architectural. Le relief se lit effectivement très bien sans les textures, et les différents états de surface liés à leur préparation avant la réception des gravures peuvent être identifiés.

En somme, la représentation multi-scalaire du monument offre une richesse d'information inégalée depuis la découverte du couloir en 1832.

Cependant, nous savions à la fin de l'opération que le modèle 3D de Gavrinis serait une représentation insuffisante en vue d'une étude archéologique des structures. En effet, certaines zones n'avaient pas pu être atteintes avec les capteurs laser. Plusieurs limites étaient alors clairement identifiés.

À l'issu du sondage réalisé en 1979 au dos des stèles L11 et C4 (Le Roux rapport 1979), deux vides sanitaires ont été aménagés de manière à conserver ces supports gravés accessibles. Cette accessibilité est somme toute relative pour L11 dans le sens où seulement quelques dizaines de centimètres libèrent la paroi gravée d'un éventuel remplissage post-sondage. Ce sondage concerne également les motifs

identifiés en 1884 sur la tranche de L10 (de Closmadeuc 1884). En ce qui concerne le dos de C4, un homme peut descendre dans l'espace aménagé, mais l'endroit est trop exigu pour contenir à la fois un corps et l'un des capteurs laser mobilisé pour l'opération.

Sur la dalle de couverture P2, Z. Le Rouzic identifie en 1935 une gravure sur la tranche orientée vers l'extérieur. Dans l'interstice de quelques centimètres entre P1 et P2, les scanners laser ne pouvaient pas se glisser et cette surface n'a ainsi pas pu être documentée.

Le sol n'avait pas été nettoyé à l'occasion de la campagne de numérisation en 2011. C'est un préalable indispensable car de la terre est sans cesse apportée de l'extérieur par les visiteurs, de telle sorte que plusieurs centimètres ont été enlevés à certains endroits quand nous avons procédé au nettoyage et au complément d'acquisition. De plus, le cône d'invisibilité du scanner laser situé au nadir de l'appareil provoque des « trous » d'environ 60 cm de diamètre dans la représentation du sol.

De plus, au cours de l'exploitation des fichiers, nous nous sommes rendus compte que l'enregistrement lasergrammétrique à différence de phase n'avait pas pu documenter de manière optimale certaines surfaces, et ce malgré la précision des points dans l'espace.

Les stèles L1, L2, L3, R1, R2, qui ne sont pas gravées, n'ont pas été enregistrées en haute définition. Situées à l'entrée du couloir, elles ont été mal documentées en raison de la porte pleine et de la grille qui ont empêché une bonne visibilité des surfaces.

Il faut aussi noter que les stèles L1, R1 et P1 articulent le couloir avec l'extérieur. Le changement de résolution des scans entre l'intérieur (millimétrique) et l'extérieur (centimétrique) est expliqué par la nature des informations à enregistrer et la distance entre le capteur et les surfaces à documenter. Cependant, cette différence est beaucoup trop importante pour permettre une reconstruction de qualité de cette articulation intérieur / extérieur. De la même manière, le parement de façade situé à proximité de l'entrée était insuffisamment défini pour une bonne visualisation. Enfin, la face supérieure de la stèle P1 n'avait pas pu être enregistrée.

Il n'a pas été possible non plus de tout enregistrer avec la numérisation infra-millimétrique. L'acquisition est optimale quand une certaine distance est observée entre le capteur et la surface à numériser. Si le relief devient trop accidenté, les scanners laser fonctionnant selon le principe de la triangulation peuvent se trouver en situation d'échec car le rayonnement émis n'est plus visible par la caméra (Cf. figure 32). D'une manière générale, ce cas de figure se rencontre quand le relief est aussi large que profond. L'exemple répondant parfaitement à cette configuration est la cavité associée aux deux « anneaux » de la stèle C1, mais cela concerne aussi le bord des stèles car le capteur vient buter contre la dalle de couverture ou la stèle voisine. En l'occurrence, les stèles C5, L7, R6, et R9 ont ainsi été complétées.

Certaines lacunes sont aussi liées à l'identification des surfaces à enregistrer.

L'orthostate R7 n'était pas connu pour être gravé, et ainsi n'a pas bénéficié d'une acquisition haute définition. C'est au cours d'une prospection stèle par stèle postérieure à la campagne d'acquisition que de légers motifs sont apparus sur la stèle en quartz. Cependant, les motifs sont quasiment invisibles

à l'œil nu et c'est seulement par traitement d'image (DStretch) que les motifs ont pu être pleinement reconnus. Une documentation haute définition n'aurait pas permis une meilleure identification.

La stèle L8 est un granite qui se présente sous la forme de plusieurs feuilles. À cause de cette particularité, la continuité n'a pas été établie et c'est une partie de la stèle qui n'a pas été enregistrée.

La stèle R12 marque la fin du couloir et la chambre commence immédiatement après elle. Comme la chambre est plus large que le couloir, la tranche concernée de R12 est entièrement visible. Mais à cause d'un problème lié à l'accès du capteur ou plutôt de visibilité et d'accessibilité, cette tranche n'a pas été parfaitement acquise.

La face supérieure de la dalle de couverture P10 est ornée. Cependant, en raison de la dimension de la dalle (3,4 x 3,9 mètres de surface) et de la résolution d'acquisition choisie, le fichier résultant de la numérisation totale de la surface aurait été trop volumineux. Seules les zones considérées comme gravées par les opérateurs ont été numérisées, le reste de la dalle pouvant être complété par le scanner à différence de phase. Cependant, en raison du cône d'invisibilité au nadir du scanner et du mouvement de la roche, il manquait toujours de nombreuses informations. Notamment, l'encoche pédogénique (située au-dessus des dalles de chevet) n'était pas visible. De plus, les tranches visibles grâce à l'accès au sondage au dos de C4 et grâce à la voûte de décharge au-dessus de P9 n'étaient pas documentées.

Cette voûte de décharge justement libère la surface supérieure de la dalle de couverture P9 – également non documentée à l'issu de la campagne d'acquisition.

L'exigence que nous montrons par rapport aux outils mobilisés pour l'enregistrement de Gavrinis met en exergue les limites d'un enregistrement lasergrammétrique. L'apport de ces outils est néanmoins reconnu car les éléments architectoniques sont désormais précisément spatialisés les uns par rapport aux autres. De plus, dans le domaine de la documentation du patrimoine culturel bâti, l'ensemble des expériences qui précèdent celle de Gavrinis montre qu'une seule méthode d'acquisition ne suffit pas pour acquérir l'ensemble des informations recherchées. C'est bien par la multiplication des techniques qu'un site peut être entièrement documenté (Al-kheder et al. 2009 ; Campana et Remondino 2008).

6.2. Mise en place d'une méthodologie d'acquisition alternative à la lasergrammétrie

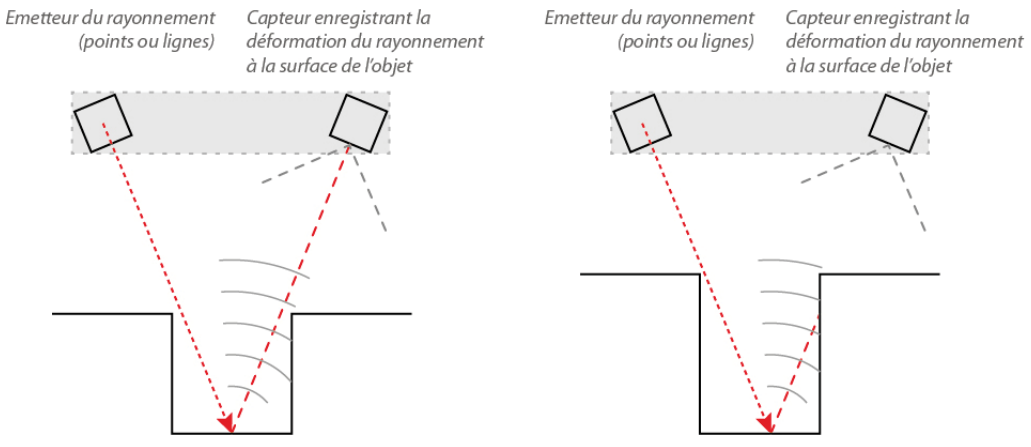
6.2.1. Valider les outils d'acquisition en corrélation dense d'images

L'état de l'art que nous avons constitué au chapitre précédent montre qu'il existe deux techniques d'acquisition tridimensionnelle : la numérisation sans contact active – la lasergrammétrie utilisée à Gavrinis – et la numérisation sans contact passive – la photogrammétrie.

Bien que le coût de la lasergrammétrie ait souvent été un frein à son adoption massive dans les projets, la photogrammétrie est elle aussi longtemps restée difficile d'accès en raison des compétences techniques nécessaires pour mener à bien le projet d'acquisition. Les aptitudes et le temps de traitements des données représentent une dépense qui était encore difficile à supporter. C'est avec l'association des algorithmes SIFT, PMVS / CMVS, Bundler en 2006 (Snavely et al. 2006) que la procédure de reconstruction photogrammétrique va largement se simplifier et s'automatiser. La marge de progression et de perfectionnement était encore importante, mais le mouvement de démocratisation était enclenché.

Depuis cette avancée, les projets se sont multipliés pour comparer les avantages et les inconvénients de chacune des méthodes. Dès 2003, la lasergrammétrie et la photogrammétrie sont abordées sur le même objet (Mavromati et al. 2003). Il est noté que les archéologues utilisent couramment la photographie pour documenter les sites. Cependant, la documentation de structures en élévation avec ce medium n'est guère satisfaisante puisque la parallaxe empêche de vraies ortho-images, et la production de contenus 3D à partir d'images n'est pas une chose aisée pour cette équipe. L'apport des capteurs laser est alors très bénéfique dans la production de la description géométrale. Cependant, le manque de texture – indispensable pour l'expertise des archéologues – est trop contraignant. Le travail de superposition des clichés photographiques sur des élévations géométriquement correctes permet de contourner ce problème, et les auteurs invitent à considérer l'intégration des relevés lasergrammétriques dans leur processus de documentation des sites.

À partir de 2011, Autodesk publie l'outil grand public 123DCatch afin de démocratiser l'accès à la photogrammétrie. Le logiciel est gratuit et les domaines d'application sont extrêmement variés. L'outil sera étudié (Chandler et Fryer 2013) car la gratuité de la solution requestionne l'utilisation de logiciels « comparables » onéreux et difficiles à mettre en œuvre. Bien que la documentation soit absente, il est possible de définir quelques principes de base : la solution repose très vraisemblablement sur SIFT ou ASIFT (une version plus performante du premier algorithme – ces deux algorithmes permettent d'analyser les points communs au sein d'un corpus de photos). L'algorithme *bundle* permet de calculer les paramètres internes et externes de la caméra afin de corriger les déformations optiques, puis



32. Limite de l'enregistrement des cavités avec un dispositif de lasergrammétrie dit par triangulation

la reconstruction du modèle 3D s'appuie très certainement sur la production d'un nuage de points dense. La démonstration s'appuie sur un site déjà enregistré par les auteurs (une grotte ornée près des Montagnes bleues, Nouvelle-Galles du Sud, Australie). Elle a été acquise en photogrammétrie et vingt points de contrôle ont été positionnés et numérisés avec une station totale afin de contrôler les déformations. Le même jeu de photos que celui utilisé précédemment (en 2004) a été utilisé dans 123DCatch. L'opération qui demandait auparavant quatre jours de travail ne nécessite plus que quinze minutes. Le temps et les efforts consentis pour reconstruire le modèle 3D sont largement moindres avec 123DCatch. En terme de qualité des résultats, la marge d'erreur avec 123DCatch (par rapport aux points de contrôles numérisés) est respectivement de 12 mm, 11 mm et 4 mm en x, y et z, alors qu'en 2004, les valeurs de 3,5 mm, 1,7 mm et 3,4 mm avaient été atteintes – mais comme le souligne les auteurs au prix d'efforts très importants. En conclusion, malgré une marge d'erreur un peu plus importante, l'outil 123DCatch d'Autodesk est une solution satisfaisante pour la documentation des sites car la marge d'erreur reste acceptable dans la plupart des projets de documentation.

Dans les situations complexes comme dans le cas de l'archéologie minière, les environnements sont assez difficiles à acquérir tridimensionnellement en raison de l'exiguïté et de l'obscurité des lieux (Arles et al. rapport 2011). Cependant, il est important de documenter le développement des galeries dans l'espace. Cela permet de jeter un regard totalement neuf sur ces sites et de redécouvrir les stratégies d'exploitation. La lasergrammétrie trouve ses limites car les espaces sont extrêmement réduits et les tunnels peuvent présenter des angulations difficiles à franchir avec les techniques classiques de polygonation propre à la topographie. Les relevés manuels sont couramment réalisés, mais le manque de recul rend leur exécution longue et difficile. L'objectif de l'article est donc de savoir s'il est possible de mettre en place un enregistrement photogrammétrique en corrélation dense d'images et d'obtenir des données au moins aussi précises que les relevés existants au 1/20.

La corrélation dense d'images permet de lever les contraintes liées à l'exiguïté des espaces car il « suffit » de suivre un cheminement continu et d'assurer un taux de recouvrement très important entre les différents clichés pour réussir à reconstituer le développement des tunnels. Bien entendu, cette description est trop simplifiée car d'autres contraintes apparaissent : le manque de lumière est la première d'entre elles, mais il faut également compter les absences d'orientation et d'échelle inhérentes aux relevés photogrammétriques d'une manière générale. L'anticipation de ces problèmes en amont est donc primordiale.

Afin d'optimiser les résultats, les photos sont prises avec un Canon 5D mark II. Le capteur plein format (24x36 mm) est assez sensible pour prendre des photos de bonne qualité dans des environnements sombres, ce qui est un avantage certain dans ces environnements obscurs. La seule lumière utilisée pour éclairer les scènes est le flash de l'appareil photo.

Les modèles photogrammétriques présentent l'inconvénient d'être ni orientés, ni à l'échelle. Pour résoudre ces problèmes, une mire a été conçue spécialement pour la photogrammétrie. Elle est montée sur un trépied et équipée d'une rotule trois axes, de manière à pouvoir la placer parfaitement à l'horizontale : l'assiette horizontale du modèle est ainsi assurée. Trois points facilement identifiables y sont présents, et les coordonnées sont connues également : l'échelle est ainsi définie. Enfin, une

flèche est imprimée sur la mire, orientée grâce à une boussole. De cette manière, le recollement des différents scans ne nécessite qu'un déplacement en translation. Les rotations et l'échelle sont figées à travers la mire.

L'appareil photo est réglé de manière à obtenir une profondeur de champ très importante afin de minimiser les zones floues. L'ouverture du diaphragme est donc très faible et est compensée par la vitesse d'obturation, la sensibilité du capteur et la puissance du flash. Enfin, pour éviter la perte d'information, la campagne photo est réalisée en deux fois. Le premier passage est effectué avec une exposition normale ; le second avec un réglage à deux stops de manière à surexposer les clichés et déboucher les zones trop sombres. Les photos sont acquises au format *.raw, puis développées une à une en faisant une correction automatique des réglages. Les clichés sont finalement enregistrés en *.tiff. Deux logiciels de reconstruction sont testés : 123Dcatch d'Autodesk, et Photosynth de Microsoft.

L'expérience est globalement concluante puisque les profils obtenus en photogrammétrie se superposent aux relevés manuels au 1/10. De plus, il est possible de distinguer le front de taille grâce à la trace des outils dans la paroi, même s'il est jugé que la résolution peut être meilleure. De surcroît, les conditions d'acquisition étaient particulièrement extrêmes puisque le sol était boueux, et les espaces franchement exigus. La méthode permet d'explorer plus précisément – ou du moins plus confortablement – les états de surfaces et les traces des outils. La documentation produite est en outre beaucoup plus importante et permet d'étayer graphiquement les arguments, en minimisant l'interprétation. Enfin, le temps d'acquisition est beaucoup plus rapide que le relevé manuel.

La lasergrammétrie et la photogrammétrie seront comparées une nouvelle fois en 2014, mais à une toute autre échelle d'intervention. Cette fois-ci, il s'agit de documenter deux sites archéologiques péruviens Santa Maria et Cutamalla (Friedli et Theiler 2014). Ils sont situés sur des flancs de montagne, dans une région semi-désertique. L'objectif est de comparer les méthodes d'acquisition pour produire des modèles numériques de terrain suffisamment précis pour comprendre l'implantation de ces habitats dans le paysage.

Il en résulte que si la lasergrammétrie est plus rapide à mettre en œuvre sur le terrain, le temps de traitement des données est équivalent. De plus, il faut souligner que la densité des nuages de points est plus constante et importante en photogrammétrie (7 cm en moyenne) qu'en lasergrammétrie (20 cm en moyenne avec de fortes disparités). Il faut aussi remarquer que le cas d'étude présente des surfaces à enregistrer en flanc de montage, et que le positionnement du scanner laser sur le versant opposé est un contexte idéal pour minimiser les ombres. L'acquisition photogrammétrique est plus longue car le drone doit effectuer un voyage assez long entre chaque station photo, mais ce temps est malgré tout compensé par la qualité des données produites.

Néanmoins, les outils ne sont pas nécessairement à opposer. Ils sont complémentaires car s'il est relativement aisé de documenter des espaces très fragmentés sans trop de déviation en lasergrammétrie, la photogrammétrie permet d'obtenir beaucoup plus de détails avec une densité homogène. C'est notamment la stratégie adoptée pour documenter la façade ornementée de l'église du Saint Esprit à Bologne (Italie) – cette architecture sert de témoin pour valider le protocole et l'expérience ne fait pas partie d'un projet plus vaste (Manferdini et Russo 2013). Ici, la façade entière est documentée à l'aide

d'un capteur laser, mais la définition atteinte pour les modénatures (pilastres, médaillons sculptés et frises) n'est pas suffisante. Une acquisition complémentaire en photogrammétrie (corrélation dense d'images) est envisagée et différents outils sont testés. Les auteurs mobiliseront 123DCatch, Visual SFM et Photoscan et compareront les résultats aux données acquises en lasergrammétrie. La comparaison des modèles et des profils obtenus sur les modénatures montre que dans la globalité de la façade, Photoscan présente moins de déviation que 123DCatch et Visual SFM, ces deux derniers sont en revanche plus fidèles sur les angulations et les détails.

L'expérience de la dernière numérisation de Stonehenge évoquée dans le chapitre précédent montre également que la photogrammétrie a permis d'obtenir des données là où la lasergrammétrie ne pouvait acquérir la géométrie de manière suffisamment précise (Bryan et al. 2013). L'impossibilité d'enregistrer le sommet des trilithes avait été résolue grâce à une acquisition photogrammétrique.

En conclusion, il s'avère que les acquisitions en corrélation dense d'images permettent de lever des contraintes que la lasergrammétrie ne parvient pas à franchir. La photogrammétrie semble mieux s'adapter car plus souple en mise en œuvre que les techniques traditionnelles de relevé en topographie comme le montre les travaux réalisés dans les contextes miniers. L'échelle de l'objet ne pose pas de problème. Il faut seulement adapter la distance de l'appareil photo à la surface pour que le chantier soit gérable en termes de temps passé à photographier, à traiter les données, et obtenir une résolution adéquate. C'est ainsi que des reconstructions photogrammétriques peuvent être menées à l'échelle de territoires, d'architectures, ou des modénatures d'une façade. Enfin, les relevés en corrélation dense d'images peuvent être autonomes comme le montrent les travaux de J. Chandler pour valider l'outil 123DCatch.

Cependant, des précautions doivent être prises pour que les modèles soient utilisables. L'attention doit être portée sur le renseignement de l'échelle et de l'orientation des modèles dès l'acquisition.

6.2.2. Mise en place d'une méthodologie d'acquisition en photogrammétrie

6.2.2.1. Contexte de la mise en place de la méthodologie

Nos premières expériences en photogrammétrie ont commencé dès 2011 avec les solutions gratuites 123DCatch et open sources Visual SFM. L'objectif principal était d'évaluer la possibilité d'acquérir des espaces plus ou moins complexes et d'estimer les paramètres influant la qualité de la reconstruction.

C'est dans le cadre du programme de recherche européen JADE dirigé par P. Pétrequin et E. Gautier (université de Franche-Comté) que l'acquisition photogrammétrique et sa méthodologie ont véritablement pu être éprouvées. Deux intenses campagnes en juin 2013 dans la région de Fontainebleau et en mars 2014 en Bourgogne ont permis de consolider notre méthodologie d'acquisition et résoudre de nombreuses contraintes. L'objectif de ce programme de recherche est d'inventorier les haches en jadéite dont les carrières d'extraction se situent sur le Monte Viso dans les Alpes italiennes. Ces objets de prestige et de représentation sociale se retrouvent en revanche à travers toute l'Europe comme objet physique, mais également comme représentation dans des contextes funéraires, gravées sur les stèles composant ces architectures.

Pour ce programme de recherche, la photogrammétrie s'est imposée principalement pour son aspect économique. L'absence de capteur laser et la nécessité de produire des descriptions géométrales des surfaces ornées posent la corrélation dense d'images comme la solution la moins contraignante par rapport à nos objectifs.

Parmi les outils listés dans l'état de l'art (Cf. le chapitre [6.3.]), d'autres solutions auraient pu être envisagées. La vidéogrammétrie stéréoscopique à travers les capteurs Kinect (Microsoft) et Xtion (Asus) a été testée. Outre l'absence de littérature quant à cette catégorie d'outils due à leur jeunesse, de nombreux problèmes ont surgi lors des phases de test. La première limite concerne l'alimentation électrique. La Kinect nécessite une alimentation électrique de 220 volts ce qui ne peut être facilement atteint dans des sites difficiles d'accès. L'appareil doit de plus être piloté depuis un ordinateur qui possède également sa propre autonomie...

Le processus d'acquisition est aussi très dépendant des conditions lumineuses. Si la lumière est insuffisante ou changeante, la reconstruction de l'objet peut devenir impossible. La question se pose notamment pour les ambiances très sombres où il est indispensable d'apporter de nouvelles sources lumineuses. La multiplication de ces contraintes entraîne une complexification de la gestion du chantier.

Enfin, la résolution des modèles est relativement faible par rapport à d'autres solutions. Elle est en effet dépendante de la résolution des capteurs CCD qui est trop limitée pour les objectifs de documentation du patrimoine.

Il faut mettre en relation ces limites avec la jeunesse de la technologie, mais celles-ci constituent un frein à leur adoption.

C'est la corrélation dense d'images qui a été choisie pour remplir l'objectif de description géométrale des sites à documenter. Le logiciel choisi est Photoscan de Agisoft car il permet un plus grand contrôle des paramètres de reconstruction des surfaces.

Les différents paramètres à prendre en compte pour reconstruire les surfaces et leur résolution sont détaillés ci-après. La procédure a été affinée au cours des acquisitions. Tous les chantiers ne seront pas décrits dans le détail, mais seulement les plus significatifs.

6.2.2.2. Préparer le chantier et établir la stratégie de cheminement

La préparation du chantier ne se limite pas seulement à la mise en place d'un système permettant de mettre à l'échelle et d'orienter les modèles. Il faut définir la stratégie de déplacement pour recouvrir la totalité de l'objet.

Un chantier photogrammétrique en corrélation dense d'images nécessite de prendre une multitude de clichés avec un taux de recouvrement très élevé. Cela se traduit par de légers décalages entre deux prises de vue. Ainsi les algorithmes sont-ils capables de trouver à la fois les points communs entre les photos, de déduire les distorsions optiques liées à l'objectif et donc de repositionner les clichés dans l'espace. L'ensemble de ces décalages produit un cheminement autour et / ou dans l'objet à numériser.

C'est ce cheminement qui est à déterminer avant de commencer le processus d'acquisition.

Ce cheminement doit être pensé en fonction de la topologie de cette architecture (Cf. le chapitre [6.3.2.3.]). Les trois cas à envisager sont les espaces plans, concaves et convexes (Cf. figure 33). Parfois, toutes les configurations sont réunies sur le même objet et cela rend l'acquisition complexe car le cheminement ne peut pas avoir une structure arborescente. Dans la progression, un choix doit être effectué pour obtenir le cheminement le plus linéaire possible.

Cela s'explique par le fonctionnement propre du logiciel Agisoft Photoscan. En effet, l'identification et la mise en correspondance des points communs entre les différentes photos ne sont pas menées pour l'ensemble du corpus, mais pour un certain nombre de clichés situés avant et après la photographie en cours d'analyse. Cette manière de procéder permet de réduire les temps de calculs, mais nécessite une anticipation sur le terrain. Cette anticipation est par exemple clairement visible pour l'enregistrement de la dalle de couverture du coffre 3 du Manio 2 car Z. Le Rouzic a conservé un accès aux gravures situées au pied de la stèle associée à la tombe (Cf. figure 154). Afin d'associer ces deux objets dans la même acquisition, le cheminement consiste à photographier la dalle du coffre et la stèle en même temps, puis à se concentrer autour de la couverture de la tombe dans un mouvement en spirale. Ensuite, le cheminement se dirige vers le tunnel permettant d'accéder au pied de la stèle. Une seule paroi de la structure d'accès est photographiée car cet espace est tellement étroit qu'il est impossible d'assurer une continuité en enregistrant les deux murs. Une fois arrivé au niveau du pied de la stèle, la petite portion de la sous-face de la dalle de couverture du coffre est documentée, puis la progression s'effectue vers le pied de la stèle, et enfin il ne reste plus qu'à ressortir en longeant la paroi du menhir par l'ouverture assurant la relation entre le pied et la partie supérieure de la stèle. Une dernière attention est portée pour raccrocher la fin de l'acquisition à la face supérieure de la dalle de couverture afin de boucler le cheminement.

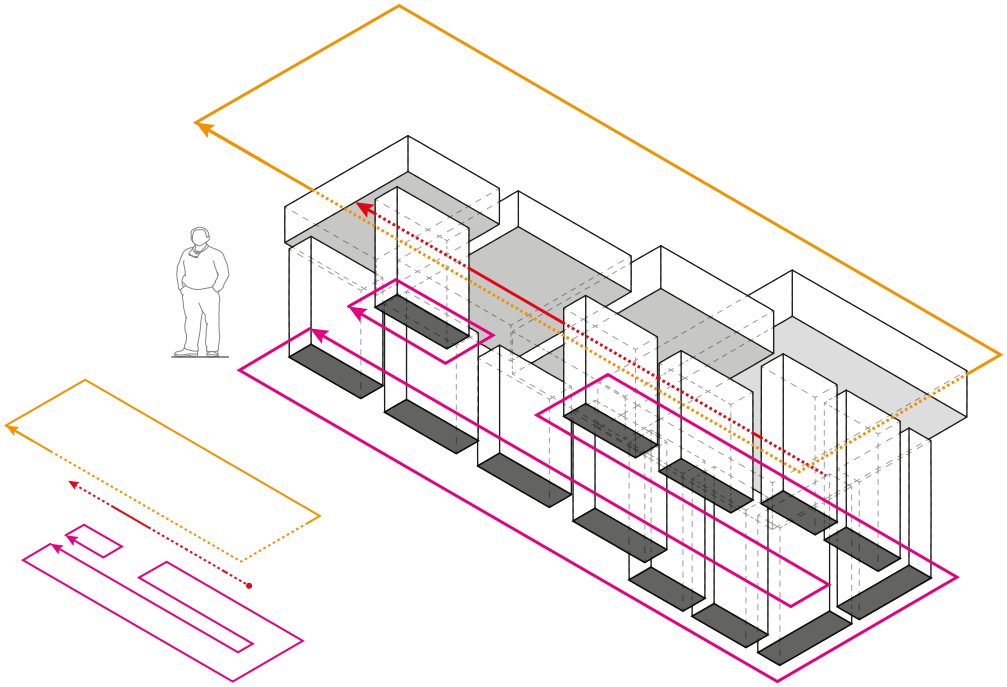
Au sujet des temps de calcul : il est nécessaire d'optimiser le nombre de photos mobilisées pour la reconstruction d'une scène car une surabondance de clichés où une zone trop étendue nécessite des puissances de calcul parfois trop importantes pour la station de travail. L'expérience vécue lors de l'enregistrement du coffre du Manio a montré les limites de l'acquisition en un seul chantier d'une structure aussi complexe. Les informations se multiplient, se superposent, et le processus de numérisation n'est pas optimisé. Un découpage de l'espace en fonction de leur topologie aurait été plus adéquat.

Par conséquent, il est nécessaire de segmenter le processus d'acquisition en autant de chantiers simples d'un point de vue topologique et légers (au nombre de clichés nécessaires à la reconstruction).

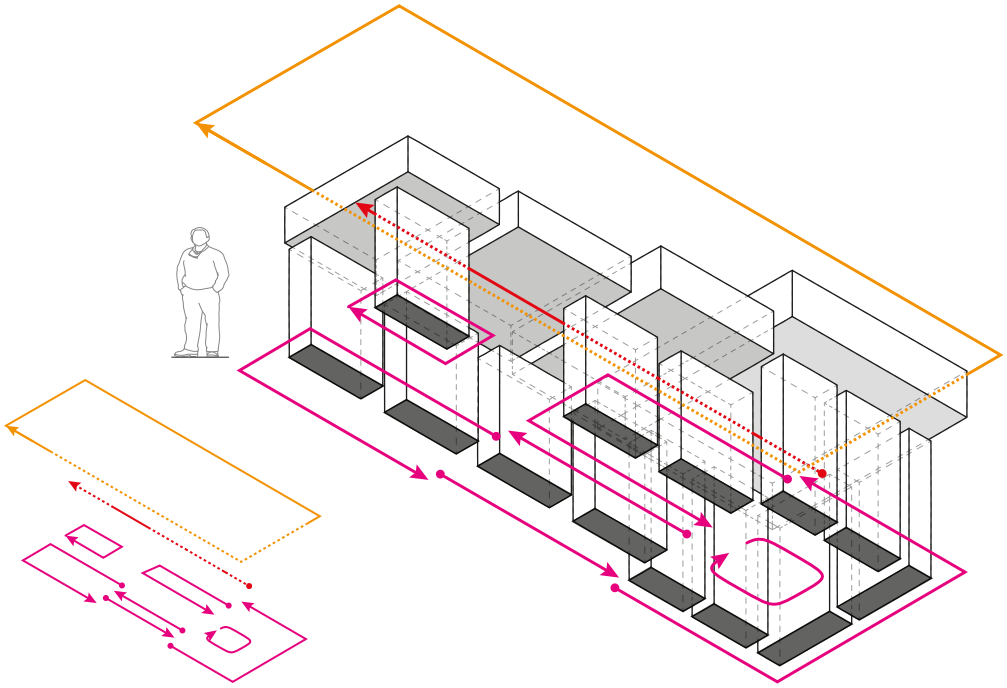
Une dernière précaution est apparue importante à suivre pour assurer une bonne reconstruction. Les clichés doivent autant que possible être pris perpendiculairement à la surface à enregistrer. Quand les algorithmes construisent la carte de profondeur, cela permet de bénéficier d'une meilleure définition du maillage. Si la distance entre le point le plus proche et le plus éloigné est trop importante, le risque d'obtenir un maillage « en palier » est augmenté car la distance entre chaque nuance de gris devient plus importante. Cette précaution permet en outre une meilleure texturation du modèle car les pixels sont beaucoup moins étirés. Cet effet a été constaté sur quelques reconstructions (Cf. figure 34), et

Vue isométrique d'un dolmen sans structure tumulaire, vue de dessous

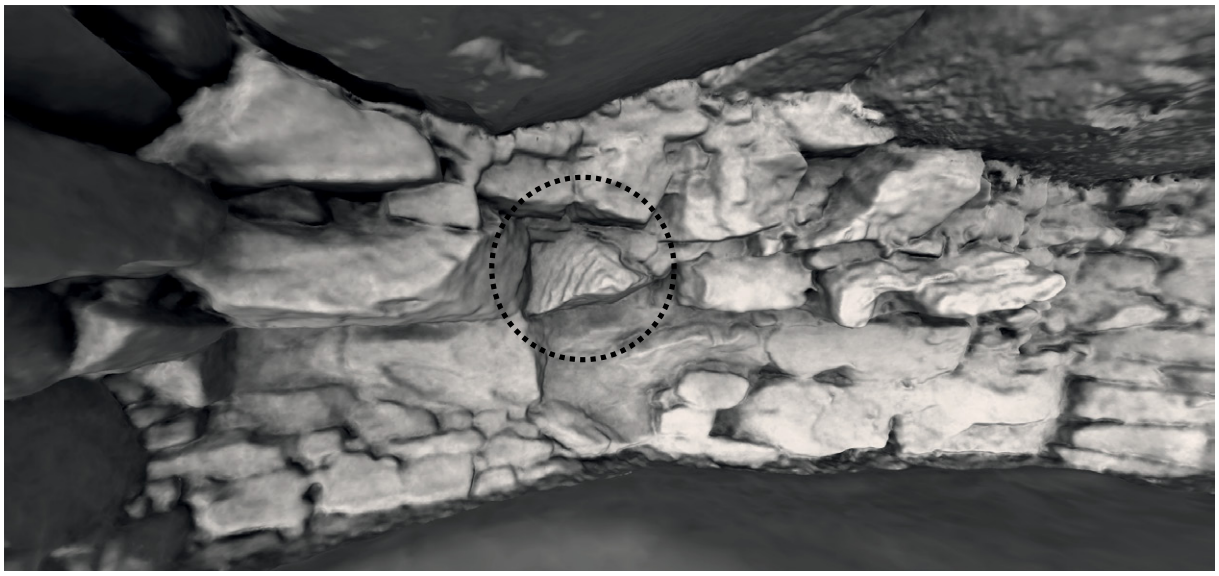
Exemple 1 de découpage de l'espace, 4 divisions



Exemple 2 de découpage du même espace, 9 divisions



33. Différentes stratégies d'acquisition en photogrammétrie sur le même objet



34. Effet de palier produit quand les clichés ne sont pas perpendiculaire à la surface à enregistrer (exemple sur la tombe du Mané Er Hroëck, Locmariaquer)



35. Utilisation d'une perche téléscopique pour faciliter la reconstruction de stèles (exemple d'une stèle de l'alignement d'Epoigny, Couches (cliché : L. Lagrost)

notamment une zone de la tombe du Mané Er Hroëck (Locmariaquer). La paroi n'est pas plane et les pierres la formant constituent même un encorbellement. Certaines pierres sont saillantes, d'autres légèrement en biais et les faces de certaines pierres sont photographiées de manière trop tangente. En plus du manque d'information dû à l'étirement de la carte de profondeur, le taux de recouvrement de cette surface est trop faible pour mieux corréler la reconstruction.

Cette contrainte peut être assez forte pour les élévations hautes comme pour les stèles. Une perche peut alors résoudre le problème comme dans le cas d'une des stèles de l'alignement d'Époigny (Couches, Cf. figure 35). Le menhir mesure 5,6 mètres de hauteur, et le sommet est déjà difficile à photographier avec une bonne résolution. La perche permet de déporter l'appareil photo à une hauteur qui réduit déjà de beaucoup les distorsions. Cependant, le déclenchement des photos devient problématique car il est compliqué de descendre l'appareil photo au niveau du sol, déclencher et cadrer la scène avec un retardateur. Pour éviter cela, l'appareil photo est relié à une tablette via un câble dans notre cas car l'appareil photo n'était pas équipé d'un wifi. Ainsi a-t-il été possible de cadrer précisément la scène grâce au flux vidéo transféré sur la tablette, et de déclencher la photo quand nous étions prêts depuis la tablette.

Dans le cas où les objets à enregistrer sont moins hauts, un monopode permet de déporter facilement l'appareil tout en déclenchant les photos avec un retardateur. Cette solution est beaucoup plus souple que la précédente.

6.2.2.3. Maîtriser le boîtier reflex

La qualité de l'image est un des facteurs essentiels de la réussite de la reconstruction. En effet, les informations tridimensionnelles se situent au niveau du pixel. Il faut donc assurer des clichés qui ne présentent aucun flou et un bon piqué. Évidemment, le résultat restera toujours tributaire de la qualité de l'objectif et du capteur photo. Il n'est pas possible d'obtenir le même résultat avec un capteur reflex professionnel équipé d'un objectif avec des verres minéraux et un capteur grand public équipé d'un objectif avec des verres organiques. Cependant, la même exigence doit être observée pour le réglage.

Le boîtier reflex doit être réglé en donnant la **priorité à l'ouverture**. Une ouverture du diaphragme sur une valeur proche de f/14 permet d'obtenir une netteté satisfaisante du premier au dernier plan. Les zones floues dans l'image doivent impérativement être évitées car elles ne permettront pas au logiciel d'identifier les points communs entre les clichés et la reconstruction pourra échouer. Il faut cependant veiller au temps d'exposition car une ouverture plus grande implique un temps de pose plus long. En l'occurrence, un temps de pose supérieur à 1/50 peut devenir problématique car un bougé peut apparaître. L'utilisation d'un monopode peut pallier cette contrainte, mais rapidement un pied deviendra indispensable. Comme la photogrammétrie nécessite de nombreux clichés, l'utilisation du pied doit être un dernier recours sinon l'opération sur site peut devenir très longue et fastidieuse. Des sources lumineuses complémentaires peuvent aussi être mobilisées.

La **sensibilité iso** influe finalement assez peu sur la qualité du cliché en termes de piqué car les capteurs des boîtiers reflex que nous avons utilisés sont suffisamment performants pour le réduire. Un grain préjudiciable à la reconstruction pourrait être rencontré sur les photographies où la lumière fait

cruellement défaut. Mais dans ces conditions, le manque de lumière doit être absolument compensé par des apports, sinon les clichés sont inutilisables.

Concernant l'objectif, deux points sont à surveiller lors du réglage de l'appareil photo afin que les clichés obéissent exactement aux mêmes distorsions géométriques : la mise au point automatique et la longueur focale. Si ce n'est pas le cas, certains paramètres de l'objectif ne seront pas pris en compte et le modèle généré possédera des distorsions.

La **mise au point automatique** est à bannir car si elle est activée, le champ de profondeur va constamment varier sur chacune des photos. De cette manière, aucune photo n'aura les mêmes caractéristiques géométriques et le résultat de la calibration – consistant à corriger les distorsions optiques – ne sera pas correct. La mise au point consiste à repositionner certaines lentilles de l'objectif afin que le plan visé devienne parfaitement net. Cependant, ce repositionnement n'est pas toujours enregistré dans les informations Exif et le logiciel de reconstruction peut ne pas percevoir ces variations au moment de la correction des distorsions de l'objectif. En conséquence, cela signifie que le volume reconstruit peut subir des distorsions : l'objet peut s'évaser, s'effiler, se tordre selon un axe ou en spirale, présenter des décollements, etc. Afin d'éviter cela, il suffit de faire le premier cliché de la série avec la mise au point automatique, de le jeter et ensuite de désactiver cette fonction. Enfin, la distance entre l'objet et l'appareil photo lors du premier cliché deviendra celle qu'il faudra essayer de conserver pendant la séance de prise de photo.

Dans le même esprit, il faut veiller à ce que la **longueur focale** ne change pas, sinon les mêmes problèmes que ceux cités précédemment risquent d'être rencontrés par le logiciel de reconstruction.

6.2.2.4. Maîtriser les ambiances lumineuses

L'acquisition photogrammétrique d'un objet peut devenir compliquée quand le temps de pose devient trop important et quand l'éclairage est trop contrasté. Pour pallier ce problème, l'apport de sources lumineuses complémentaires est une solution. Cependant, il faut maîtriser plusieurs points qui peuvent être cruciaux par rapport à l'objectif de documentation et de reconstruction de l'objet.

Le premier facteur à considérer est la **couverture lumineuse** de l'objet. L'expérience nous montre que si certaines zones restent dans l'ombre et sont trop sombres sur le cliché, elles ne pourront pas être reconstruites. Une portion du couloir de Gavrinis a servi de sujet pour l'exemple. Les stèles concernées (R4, R5 et R6) sont situées à mi-chemin entre l'entrée et la chambre, et reçoivent encore de la lumière naturelle (Cf. figure 36). La source lumineuse étant canalisée par l'étroitesse du couloir et sa diffusion étant assez limitée, une partie des stèles reçoit beaucoup de lumière alors que l'autre reste dans la pénombre. Une acquisition sans apport lumineux montre que le contraste de lumière et un réglage produisant des images surexposées (afin de capter le plus de lumière possible) induisaient des lacunes. Les pixels trop clairs et trop sombres ne sont pas exploitables par Visual SFM.

Par conséquent, l'utilisation des sources lumineuses devient nécessaire dans certains cas. Le contexte le plus évident est celui où l'environnement à enregistrer est naturellement très sombre. Plusieurs expériences ont été menées pour évaluer la meilleure stratégie à adopter. Faut-il utiliser une lumière

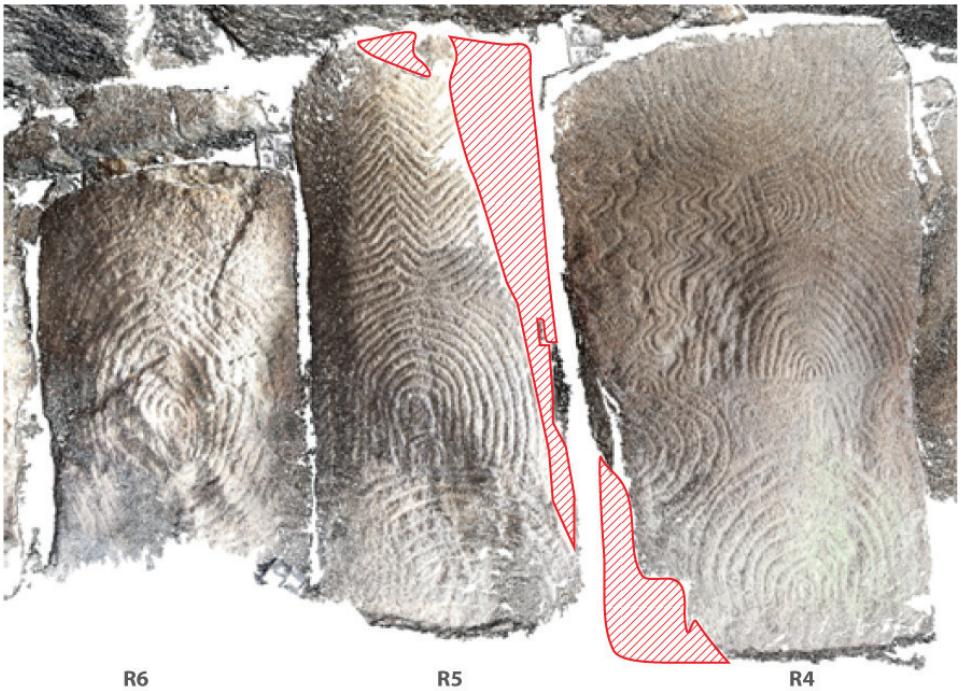
fixe ? Ou peut-elle se déplacer en même temps que l'appareil photo ? Certains essais ont montré que si la lumière variait trop, les logiciels pouvaient se retrouver en situation d'échec au moment de la reconstruction.

Une des premières expériences concerne l'acquisition de la grotte de la Hache (Buthiers – Cf. figure 153). Le site est composé de deux espaces reliés par un goulot. Il faut noter que le passage d'un espace à un autre ne peut se faire qu'en rampant, et que la hauteur des espaces permet seulement de s'asseoir. Par conséquent, l'entrée n'est baignée que par très peu de lumière (d'autant plus que l'orientation est vers le Nord). Dans la seconde partie de la grotte, l'obscurité règne en maître ; l'apport de lumière y est indispensable. Le flash de l'appareil photo a été utilisé pour éclairer la scène, et quelques spots LED complémentaires ont été placés pour obtenir un éclairage minimal de base. L'objectif était bien d'assurer la reconstruction du lieu sans utiliser de pied photo. Si la reconstruction a été réussie, il faut malgré tout souligner certains points. L'objectif utilisé est un grand angle, et la combinaison capteur / objectif mobilisée sur ce chantier (Canon EOS 600D / objectif 10-20 mm) avec l'utilisation du flash n'est pas optimale car ce dernier projette une ombre. De cette manière, une partie de l'image est inutilisable car pas du tout éclairée. La portée du flash associée à la sensibilité du capteur n'est pas non plus une solution idéale puisque contrairement à l'expérience menée dans le contexte de l'archéologie minière (Arles et al. rapport 2011), le Canon EOS 600D ne capte que très peu de détails au-delà de quelques mètres si la lumière est trop faible. Le capteur n'est pas aussi sensible que le Canon 5D Mark II. Il faut alors s'approcher des surfaces à enregistrer, démarche qui n'a pas été pensée lors de la prise de vue. Par conséquent le fond de la grotte n'est pas enregistré de manière optimale et cette zone a nécessité beaucoup d'interventions manuelles. Le phénomène rencontré et qui pose problème avec cette installation est une surexposition des premiers plans, et donc *ipso facto* une sous-exposition de l'arrière-plan. Ce résultat est directement imputable à l'utilisation du flash associé à cet objectif en particulier.

L'expérience suivante concerne l'enregistrement du sol de Gavrinis. Alors que l'entrée du couloir bénéficie de lumière naturelle, la chambre est complètement dans l'obscurité. L'utilisation de sources complémentaires d'éclairage est alors indispensable, mais la configuration des lieux empêche l'installation de spots lumineux fixes puisque le couloir est étroit (entre 0,8 et 1 mètre) et long (15,8 mètres). Afin d'éviter les limites évoquées pour l'enregistrement de la grotte de la Hache, il a été décidé d'utiliser un éclairage beaucoup plus puissant et de ne pas mobiliser le flash de l'appareil photo. Le phénomène indésirable se serait reproduit puisque pour ne pas photographier nos pieds, l'appareil photo était orienté en oblique, créant ainsi une profondeur de champ relativement importante. Une source halogène alimentée grâce aux panneaux solaires présents sur l'île a donc été utilisée. Cette lampe de 500 Watts était la plus puissante à notre disposition. Elle s'est déplacée en même temps que l'appareil photo afin de ne pas encombrer le sol. Le résultat a permis de compléter de manière assez efficace les données acquises en lasergrammétrie. Cependant, les textures sont quasiment inexploitables car la lumière jaune des lampes halogènes ne permet pas de représenter de manière fidèle les détails. Lorsque des lumières sont employées pour éclairer la scène à enregistrer, il faut veiller à la température de couleur de la lampe. Les sources lumineuses avec un indice de rendu des couleurs (IRC) élevé sont à privilégier. Il faut noter aussi que pour assurer une meilleure stabilité de l'appareil photo, celui-ci a été installé sur un monopode. Le bougé est ainsi minimisé et les photos sont plus nettes.

La troisième et dernière expérience concerne l'enregistrement de la tombe du Mané Er Hroëck (Locmariaquer – Cf. figure 163). L'espace est assez confortable (3 x 4 x 1,25 mètres), mais étant situé au centre de la structure tumulaire, il est complètement plongé dans la pénombre. Afin d'obtenir des résultats optimaux, le flash n'a pas été utilisé, mais deux lampes LED ont été employées. Cependant, leur puissance et les dimensions de la tombe ne permettaient pas de prendre des photos avec des temps de pose suffisamment courts (entre 1/40 et 2,5 secondes par cliché) pour éviter des photos floues. Par conséquent, l'appareil photo a été installé sur un trépied, et les lumières ont été fixées sur ce support pour qu'elles puissent se déplacer en simultané afin de gagner en temps de manipulation. Le résultat de la reconstruction permet une appréciation juste de la texture des surfaces et il n'a pas été nécessaire d'intervenir sur le maillage pour réparer ou corriger la géométrie. Cette solution semble donc être la plus pertinente et la plus efficace pour enregistrer des architectures plongées dans la pénombre.

Des lumières supplémentaires peuvent aussi être mobilisées pour des acquisitions en extérieur et de jour. Cela arrive dans des conditions particulières. Les conditions idéales pour photographier en extérieur est le temps couvert. Il n'y a alors pas d'ombres portées car la lumière est uniformément diffusée par les nuages et a priori, aucun dispositif supplémentaire n'est nécessaire. Malheureusement, ces conditions ne sont pas toujours rencontrées. À défaut d'attendre la fenêtre météorologique satisfaisante, les conditions lumineuses peuvent être compensées jusqu'à un certain point en adoptant la technique du *fill-in* utilisée en studio ou sur les plateaux de tournage. Cela consiste à utiliser un flash en appoint de la lumière ambiante pour éclaircir une image et donc déboucher les ombres. Le risque de surexposition de l'image à cause du flash est faible en regard de l'intensité de la lumière du soleil. Ce cas s'est présenté notamment pour l'acquisition du petit alignement de Kerjouanno (Cf.



36. Impact d'une mauvaise maîtrise de la lumière sur la reconstruction du sujet

figure 152). L'enregistrement a été mené par une journée très ensoleillée et le contraste entre les faces éclairées et les zones restées dans l'ombre était assez important. La contrainte a ainsi pu être levée.

6.2.2.5. Assurer l'échelle et l'assiette du modèle

Les modèles tridimensionnels générés par photogrammétrie ont la particularité de ne pas posséder d'information sur l'échelle et l'orientation. Il a été constaté avec plusieurs logiciels (VSFM, et Photoscan) que le modèle est orienté en fonction de la première photo du corpus. En conséquence, il faut s'assurer d'acquérir ces informations en même temps que la géométrie de la surface.

L'acquisition de l'**échelle** du modèle passe par l'utilisation d'une mire topographique. La dimension de cette mire par rapport à l'objet enregistré est importante car elle va déterminer la précision de la mise à l'échelle. Si nous avons un grand espace et une petite mire, la moindre imprécision dans le choix du repère peut influer largement la précision puisque la moindre erreur se retrouve démultipliée.

L'**assiette horizontale** est définie quant à elle par un niveau laser projetant une ligne. Il faut le positionner de manière à ce que cette ligne soit projetée sur un angle concave ou convexe. C'est important car un plan doit pouvoir être déduit de la ligne projetée. Des pastilles sont positionnées sur cette ligne à l'aide d'un scotch. C'est grâce à ces cibles que le modèle pourra être orienté ensuite. Le positionnement des cibles est important car il faut verrouiller au maximum les degrés de liberté du modèle : s'il n'y a qu'un point de défini, le modèle peut encore être pivoté dans trois directions ; s'il y a deux points de blocage, le modèle peut être pivoté selon un axe ; s'il y a trois points (non-alignés), le modèle ne peut plus être pivoté. Il faut veiller à ce que les pastilles forment en plan un angle proche de 90°, et qu'elles soient suffisamment espacées pour éviter que l'imprécision de la détection du point se propage de manière trop importante dans le modèle.

Ces pastilles sont composées de deux carrés noirs en diagonal sur fond blanc, de manière à ce que les deux carrés noirs se touchent par un sommet, et forment de cette manière deux autres carrés blancs. C'est précisément ce point qui est positionné sur la ligne laser projetée sur la surface et qui sera exploité au moment de l'orientation du modèle. Un identifiant est attribué à chaque cible de recalage de manière à pouvoir être facilement identifiable au moment du traitement des données.

6.3. Retour à Gavrinis pour compléter les enregistrements

Compléter l'enregistrement de Gavrinis consiste à mettre en place différentes stratégies car les sources d'informations sont très variées. Le premier cas que nous exposerons ici concerne l'enregistrement des données lacunaires sur site car les capteurs laser ne peuvent pas enregistrer les endroits les plus inaccessibles. Ensuite, les pièces originales conservées ailleurs ont été numérisées pour qu'elles retrouvent virtuellement leur emplacement dans la base de données, et la même opération sera réalisée pour les moulages. Les descriptions géométrales produites lors des interventions précédentes, puis les photographies sont ensuite intégrées pour compléter le corpus. De cette manière, la marge d'interprétation des volumes est réduite au maximum et la représentation de l'objet est censée être la plus « fidèle » à la réalité.

6.3.1. Enregistrer les surfaces difficiles d'accès aux capteurs laser et les moulages

6.3.1.1. Les limites de la lasergrammétrie et la complémentarité de la photogrammétrie

À cause de limites techniques, l'enregistrement lasergrammétrique réalisé en avril 2011 par le CRT de Morlaix présente certaines lacunes. La technique utilisée est la lasergrammétrie par triangulation. Le dispositif d'enregistrement est composé d'un émetteur laser et d'une caméra enregistrant la déformation du rayonnement à la surface de l'objet. Or, sans prendre en compte l'encombrement d'un tel dispositif interdisant l'accès à certains recoins, les cavités trop profondes ne peuvent pas à la fois recevoir le rayonnement et être vues par la caméra (Cf. figure 32).

Comme nous l'avons déjà évoqué dans le chapitre [6.1.3.], quelques zones n'ont pas pu être numérisées en lasergrammétrie. Il s'agit essentiellement de tranches d'orthostates, d'interstices entre les dalles de couverture et certains endroits particulièrement inaccessibles. Après inventaire, les stèles C1, C4, C5, L1, L2, L3, L7, L8, L10, L11, R1, R2, R6, R7, R9, R12, la totalité des dalles de sol (à l'exception de S12), des dalles de couverture P1, P2, P9, P10, et du parement à l'entrée du cairn, ont bénéficié de ces compléments photogrammétriques, soit trente-trois chantiers au total. La liste des fichiers photos utilisés pour les reconstructions photogrammétriques est détaillée en annexe. La procédure permettant d'assembler les maillages afin de compléter les relevés est développée ci-après.

Pour les moulages, la même procédure est adoptée. Dans le cas du moulage de L11, une étape supplémentaire est néanmoins nécessaire car il n'y a aucune surface de recouvrement entre les données issues de la lasergrammétrie et les données issues de photogrammétrie. Par conséquent, il est nécessaire d'acquérir la surface de raccordement comme l'illustre la figure 37.

6.3.1.2. L'acquisition sur site

L'un des points les plus sensibles dans la mise en œuvre de chantier photogrammétrique est l'échelle et l'orientation du modèle généré. Dans l'objectif de compléter des modèles tridimensionnels déjà orientés et à l'échelle, ces questions n'ont pas nécessité à être résolues sur le terrain au moment de l'acquisition ; le problème est réglé pendant l'exploitation des données en s'appuyant sur les maillages issus de la lasergrammétrie. La procédure d'acquisition est alors réduite à sa plus simple expression : des photographies du même sujet avec un taux de recouvrement très important. Quelques aménagements ont été pris pour assurer une qualité satisfaisante de la reconstruction des parties à compléter.

La lumière étant très contrastée à l'entrée du couloir et s'atténuant au fur et à mesure de l'approche de la chambre, jusqu'à devenir quasiment absente, il est nécessaire d'installer des apports de lumière. Une lumière complémentaire a été préférée au flash de l'appareil photo. Mais avec l'expérience, il s'avère que le flash aurait pu être tout aussi bien utilisé et que les détails n'auraient pas été écrasés par une lumière frontale. Une seule acquisition a fait exception : il s'agit du pied de la stèle L11 et de sa face orientée vers L10 car l'interstice laissé après le sondage de 1979 ne laisse pas la place pour installer un éclairage satisfaisant.

L'appareil photo a été installé sur un monopode ce qui évite un effet « bougé » sur les clichés, tout en assurant une mobilité certaine entre les différentes stations. L'appareil photo utilisé était un Canon EOS 450D, 500D ou 600D muni d'un objectif 10/20 mm ou 18/55 mm en fonction de la disponibilité du matériel.

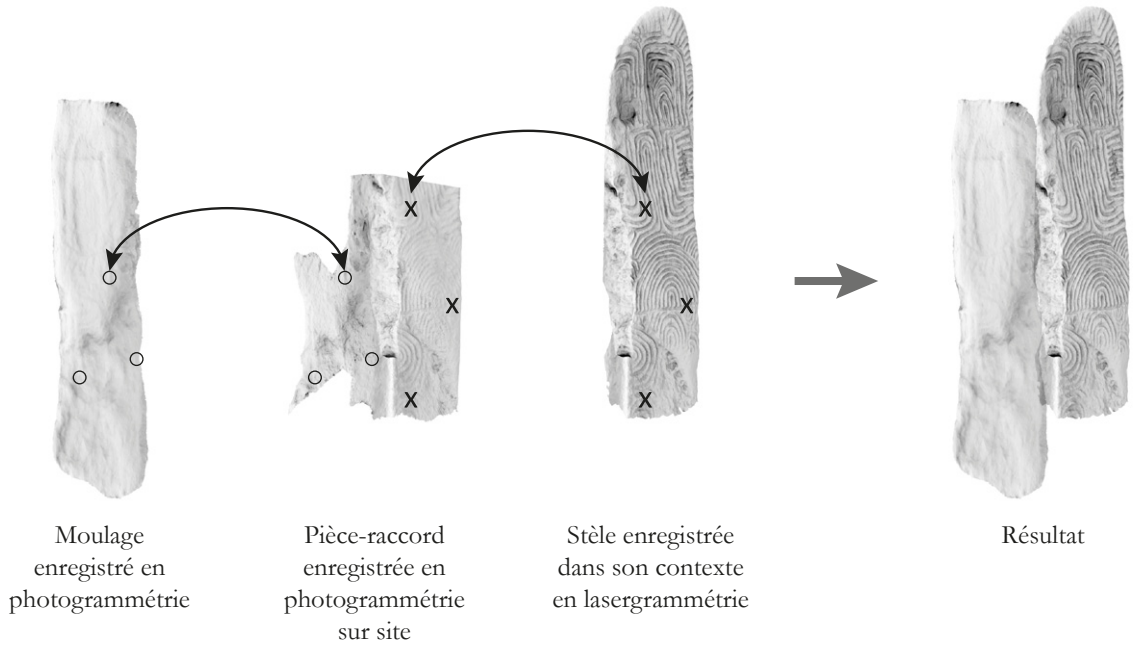
6.3.1.3. La consolidation des modèles 3D

Les données ont été reconstruites à l'aide du logiciel Agisoft Photoscan. Il s'agissait des premières reconstructions réalisées avec cette solution et le processus de travail était encore expérimental.

Après reconstruction du modèle photogrammétrique, celui-ci n'est ni à l'échelle, ni orienté. La procédure décrite ci-après consiste à transférer ces caractéristiques, et à le mettre en cohérence avec le modèle issu de la lasergrammétrie afin de compléter la base de données tridimensionnelle. La méthode a évolué avec la pratique et la découverte des fonctionnalités. Les deux procédés nécessitent de larges surfaces de recouvrement afin de minimiser les marges d'erreur.

La première méthode utilisée consiste à assembler les modèles par *best fit* ; la seconde revient à identifier des points communs entre les deux maillages, puis à reporter les coordonnées du maillage référent vers le maillage à orienter.

Un assemblage par *best fit* doit être mené en suivant quelques précautions pour que tout fonctionne parfaitement. Dans un premier temps, il faut que les vecteurs normaux de toutes les facettes soient orientés dans la même direction. Ensuite, il est préférable de réaliser l'opération uniquement sur les surfaces qui se recouvrent. En effet, les éléments ne se superposant pas seront malgré tout pris en compte pour l'alignement et perturberont la qualité du résultat. Par conséquent, les maillages doivent être dupliqués tout en conservant des points de références pour d'abord aligner les surfaces de recouvrement, puis la totalité du maillage photogrammétrique sur le maillage référent.



37. Assemblage des différentes parties de L11

L'assemblage par points identifiés est moins contraignant car il n'y a pas ce processus de découpage, d'alignement et de repositionnement des modèles. La partie la plus délicate consiste à identifier visuellement les points communs. Cette étape peut être difficile quand les maillages ou les textures ne reflètent pas les mêmes niveaux d'informations. Pour assurer une consolidation optimale des maillages, il faut absolument que les points de recalage identifiés soient les plus éloignés possible les uns des autres. Sinon, la marge d'erreur au moment du choix du point se multipliera et se propagera à l'ensemble du modèle. Si ces points sont éloignés, ce phénomène s'inversera.

Les premières opérations de consolidation de maillage ont été réalisées grâce à la technique du *best fit*. Cette technique a été abandonnée dans les chantiers suivants pour gagner en rapidité de traitement des chantiers, et il a été remarqué que la plupart du temps cela n'affectait pas la qualité de la reconstruction. La consolidation par *best fit*[1] nécessite un export des maillages et une exécution de l'opération dans un logiciel comme Geomagic Studio, alors que l'assemblage par points identifiés peut être réalisé uniquement dans Photoscan – avec malgré tout une lecture des coordonnées dans Meshlab. De plus, il est plus facile de conserver ainsi une cohérence dans les fichiers puisque les caméras restent en relation avec le maillage. Les modèles peuvent donc être facilement retexturés.

Pour les projets les plus complexes comme pour la reconstruction de la ciste du tumulus Saint Michel à Carnac (Cf. figure 162), les maillages ont dans un premier temps été consolidés grâce à l'identification par points. Mais comme une erreur se propageait d'assemblage en assemblage, un *best fit* a été calculé entre tous les maillages de manière à propager ces imprécisions de consolidation à l'ensemble du modèle, et non plus entre le premier et le dernier traité.

6.3.1.4. La fusion et texturation des modèles

Une fois que les différents segments de l'architecture sont repositionnés de manière cohérente entre eux, il faut fusionner les modèles. Là encore la pratique a beaucoup évolué avec les outils. Trois traitements sont ici reportés :

1/ Les premières manipulations de ce genre nécessitaient un export des différents maillages vers Geomagic Studio. Les zones qui se superposent sont nettoyées pour les réduire à une fine bande. Ce n'est qu'ensuite que les maillages sont fusionnés. Souvent le résultat devait être nettoyé car la frontière était bruitée, de petits trous pouvaient révéler un mauvais détourage, et dans les pires situations des décollements de maillage apparaissaient. Ce dernier cas notamment nécessite une intervention manuelle qui peut se montrer chronophage. Ce procédé n'est pas optimal car les temps de traitement peuvent être vraiment longs.

Liste des sites ayant été reconstruits de cette manière :

- tous les compléments photogrammétriques de Gavrinis (Cf. figures 99 à 101, 106, 109, 110, 113, 116, 121, 126 à 128, 131 à 138)

1 Il s'agit d'une technique permettant d'aligner deux maillages selon la méthode des moindres carrés. De manière itérative, les maillages sont déplacés et la distance moyenne entre eux est calculée. L'opération se termine après un nombre donné de test, et le résultat final est celui qui présente la plus faible déviation entre les deux maillages.

2/ La pratique a ensuite évolué vers une exportation des nuages de points vers Cloud Compare (un logiciel open source dédié au traitement des nuages de points). Des données y sont fusionnées, puis décimées de manière à obtenir une résolution homogène. La plupart du temps, une résolution à 5 mm pouvait être atteinte. Ensuite, le nuage de points est exporté vers Meshlab et le maillage est produit grâce à l'algorithme Poisson. Cet outil a le mérite d'être assez rapide, de produire un maillage uniformément dense sans tenir compte des légers décalages dans la consolidation des nuages de points, et il est capable d'extrapoler les éventuelles zones qui manquent d'informations. Cependant, une perte de résolution peut être constatée dans certains cas et des détails peuvent disparaître. Cela peut notamment se révéler problématique pour la détection des gravures comme nous le verrons dans le chapitre suivant.

Liste des sites ayant été reconstruits de cette manière :

- La stèle de Mané Kerioned à Carnac (Cf. figure 158)
- La stèle de Moustoir (Cf. figure 159)
- La stèle de Kerpenhir à Locmariaquer (Cf. figure 160)

3/ La dernière pratique consiste à fusionner les nuages de points des différents chantiers directement au sein de Photoscan. Au préalable, ces nuages peuvent être nettoyés pour enlever les éléments parasites de la scène, ou pour supprimer les parties qui s'éloignent de la réalité. Ensuite, c'est l'outil de reconstruction de maillage de Photoscan qui est utilisé pour obtenir le maillage. Parfois, il est nécessaire d'intervenir sur la surface reconstruite, mais ce sont majoritairement des opérations légères.

Liste des sites ayant été reconstruits de cette manière :

- le rocher de la Vallée aux Noirs à Buthiers (Cf. figure 161)
- la stèle de Nobles à Chapelle-sous-Brancion (Cf. figure 157) pour consolider la zone gravée sur la stèle
- la ciste du tumulus de Mané Er Hroëck à Locmariaquer (Cf. figure 163) pour consolider les trois chantiers photogrammétriques
- La ciste principale du tumulus Saint Michel à Carnac (Cf. figure 162) pour consolider les onze chantiers photogrammétriques

Avec l'expérience, ce sont ces deux dernières méthodes qui sont utilisées en fonction des sujets traités. Pour les architectures, le traitement numéro deux convient tout à fait, mais dès que des gravures sont présentes ou que les détails sont importants à conserver, c'est le troisième procédé qui est privilégié. De plus, ce sont les deux seules méthodes qui permettent de maintenir facilement la relation entre le maillage et la position des caméras, ce qui facilite ainsi la texturation finale du modèle par projection des photographies sur la surface.

6.3.2. Repositionner les pièces originales déplacées dans leur contexte

L'ensemble des événements concernant la dalle de sol S12 a été établi dans le chapitre [3.3.]. C'est l'une des dalles qui a été le plus déplacée dans la période historique du monument. Pour des raisons de conservation des gravures, il a été décidé en 1981 de la substituer dans le couloir par un moulage, et de conserver l'original dans le dépôt archéologique de Vannes. Le programme de recherche entamé en 2011 incluait l'enregistrement lasergrammétrique de cette dalle (Cf. figure 142). Le travail sera réalisé le 24 août 2012 et l'opération a été dédoublée en photogrammétrie afin de tester et de comparer les deux procédures d'acquisition. La reconstruction photogrammétrique a été produite avec les logiciels 123DCatch et Visual SFM, ce qui nous donne également l'opportunité de comparer les résultats obtenus.

L'acquisition lasergrammétrique a permis de collecter 8 674 155 points pour S12 avec le même dispositif que les orthostates ornés du couloir. La procédure d'acquisition photogrammétrique sera détaillée et les deux résultats seront comparés.

6.3.2.1. Acquisition des données

L'appareil utilisé est le Canon EOS 500D avec une focale 18-55mm. Une seule focale est utilisée : celle de 18mm. Les photos sont prises en intérieur, en lumière diffuse et sans autre contrôle. Par conséquent, certaines faces sont très exposées et d'autres beaucoup moins. Pour harmoniser les différences de couleurs, les photos sont converties en noir et blanc. Au total, ce sont 14 photos pour la face invisible et 29 photos pour la face visible qui ont été prises et utilisées pour la reconstruction 3D de la dalle de seuil.

Les logiciels de reconstruction 3D à partir de photos utilisés sont 123DCatch et Visual SFM. Le développement qui suit montre les manipulations effectuées pour créer le modèle numérique de la dalle avec les deux logiciels, puis la comparaison des résultats au maillage issu du relevé lasergrammétrique réalisé par le CRT afin de montrer les avantages et les limites des deux techniques. Ce maillage lasergrammétrique sera considéré comme la référence à tous les résultats que nous obtiendrons.

6.3.2.2. Reconstruction avec 123D Catch

Le chantier dans 123DCatch est mené en deux étapes principales (Cf. figure 142.3). La première consiste à calculer séparément les deux faces de la dalle ; la seconde consiste à les assembler. Après calcul et un pré-nettoyage de l'environnement, nous obtenons deux maillages relativement complets : les tranches sont suffisamment recouvertes pour recoller les deux faces par la suite.

Après nettoyage de l'environnement, les faces visibles et invisibles sont respectivement constituées de 179 761 et 121 636 facettes, soit 301 397 facettes au total. Un premier recalage spatial est réalisé à la main pour ensuite rendre plus facile le repositionnement automatique (best fit). Cette technique va détecter les volumétries similaires pour repositionner au mieux les maillages entre eux. Avant

de procéder à la fusion des maillages, les parties aberrantes sont nettoyées : il s'agit des zones de recouvrement trop importantes où les maillages s'écartent. Au moment de la fusion des deux maillages, des doubles peaux se créeraient et dégraderaient ainsi la qualité du modèle. Au final, nous obtenons un modèle de 267 372 triangles.

En ce qui concerne l'échelle du modèle, une mire était présente sur le chantier de la face invisible afin de pouvoir la recaler aux bonnes dimensions. La face visible a été redimensionnée manuellement pour s'adapter à la première. Une part d'erreur non négligeable a donc pu s'introduire à cette étape-ci. D'ailleurs, lorsque nous repositionnons le résultat 123D Catch sur le modèle lasergrammétrique, la dalle est trop petite : il faut la mettre à l'échelle selon un facteur de 1,075. Sinon, l'écart moyen avec le maillage de référence est de 17,5 mm (il tombe après mise à l'échelle à 1,78 mm).

6.3.2.3. Reconstruction avec Visual SFM

La reconstruction de S12 dans VSFM est réalisée de la même manière que sur 123DCatch (Cf. figure 142.7). Les photos de la face invisible produisent un seul nuage de points (450 085 points après nettoyage de l'environnement), mais les tranches y sont absentes. La face visible est quant à elle décomposée en deux nuages non-raccords : une tranche (186 033 points après nettoyage) n'a pas pu être assemblée au reste (815 777 points après nettoyage) car les zones de recouvrement ne sont pas assez importantes... C'est donc avec trois nuages de points qu'il va falloir recomposer la dalle de seuil S12.

Chaque nuage est nettoyé, maillé, mis à l'échelle et repositionné sur le relevé laser de la dalle. Les trois maillages calculés présentent des zones de recouvrement très faibles, voire inexistantes. Il est impossible de reconstituer le modèle avec ces seules données. Ils sont donc positionnés sur le maillage de référence acquis en lasergrammétrie.

La face visible est composée de 1 600 798 facettes et est repositionnée avec un écart moyen de 0,96 mm. La face invisible est composée quant à elle de 881 223 facettes, repositionnée sur le maillage issu du laser avec un écart moyen de 1,51 mm. Celui de la tranche est très bruité et très lacunaire : il ne s'agit que de lambeaux et il est impossible de le repositionner sur le nuage de points : il est inexploitable.

Les deux maillages restants sont donc fusionnés (Cf. figure 142.8). Le maillage final est composé de 2 564 444 facettes et est repositionné sur le maillage de référence avec un écart moyen de 0,98 mm. Ce maillage étant ouvert, il n'est pas possible de calculer le volume de la dalle.

6.3.2.4. Comparaison des résultats avec l'acquisition lasergrammétrique

Les deux maillages issus de la photogrammétrie sont comparés au modèle lasergrammétrique qui est considéré comme la source juste, la technique ayant été éprouvée à maintes reprises. Ils sont donc repositionnés grâce au *best fit*. Ainsi partageront-ils la même orientation et les dimensions pourront être comparées. De plus, cela permet de comparer au maillage de référence la qualité des données issues de la photogrammétrie. L'analyse sera possible grâce aux cartes des écarts (Cf. figure 142.5 et 142.9). Le tableau ci-après résume les différentes dimensions issues des deux opérations de relevé :

Technique	*Longueur*	*Largeur*	*Épaisseur*	*Volume*	*Ecart moyen*
Lasergrammétrie	*1274 mm*	*794 mm*	*296 mm*	*0,218 m³*	-
123DCatch	*1272 mm*	*797 mm*	*298 mm*	*0,225 m³*	*1,78 mm*
VisualSFM	*1279 mm*	*814 mm*	*296 mm*	-	*0,98 mm*

Le modèle généré à partir de VSFM n'est pas fermé. Il manque une tranche entière et le volume n'a donc pas pu être calculé.

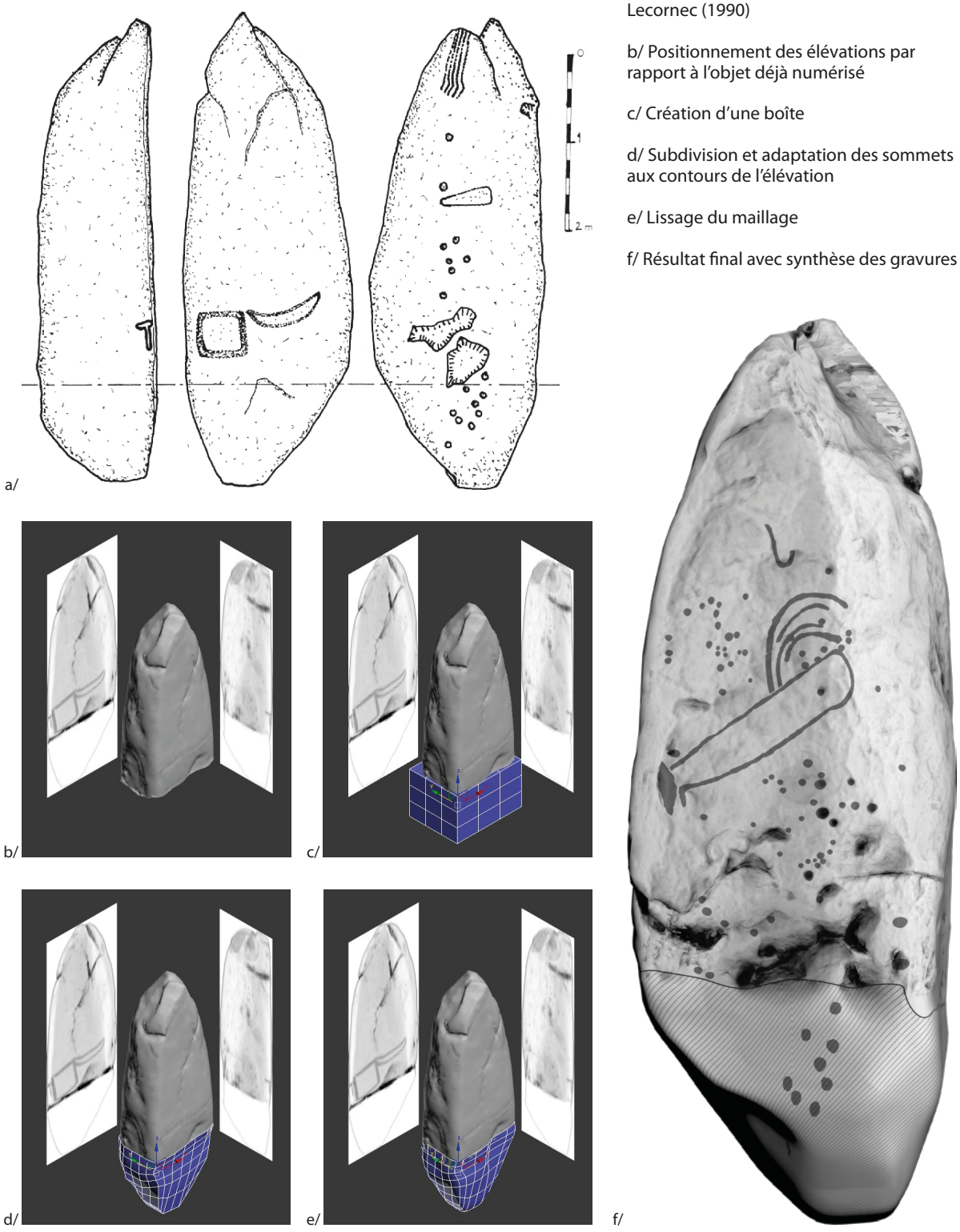
La comparaison des maillages issus de lasergrammétrie et d'123D Catch (Cf. figure 142.5) montre de grandes zones dont l'écart est compris entre 2 et 4,5 mm (en jaune : le maillage 123D Catch est au-dessus du maillage lasergrammétrique). Nous ne retrouvons pas cela pour le résultat de VSFM (Cf. figure 142.9). Ceci est le résultat de l'assemblage des deux faces de la dalle, assemblage réalisé à partir des tranches 123DCatch. L'écart représente la part d'erreur produite par ce *best fit*. De plus, nous constatons d'une manière générale que les bords du maillage issu d'123D Catch ont tendance à se voiler et à s'éloigner de la réalité. Cependant, nous pouvons estimer qu'un écart moyen de 1,78 mm est tout à fait raisonnable. Nous ne retrouvons pas cela avec les résultats de VSFM : les maillages ont d'abord été positionnés sur celui de référence avant d'être fusionnés. Il est donc normal que l'écart moyen soit ici plus faible que le résultat précédent. En ce qui concerne la face invisible, une grande étendue bleue est présente sur la partie droite, et plutôt en bas. Cela signifie que cette partie du maillage VSFM se situe derrière le maillage de référence, entre 2 et 4,5 mm. Cette zone correspond à peu près à la partie piquetée (Cf. l'état sanitaire de la dalle de seuil). La surface étant moins régulière, les hauteurs semblent avoir été exagérées lors de la production du nuage de points. Une couverture plus dense de cette partie aurait peut-être pu éviter ce problème.

Les cartes d'écarts servant à la comparaison des maillages de référence et d'123DCatch commencent à révéler des gravures, notamment sur la face visible (des arcs radiés) et sur les tranches (motifs losangés). Cela montre que le maillage 123DCatch n'est pas assez dense pour suivre les microreliefs générés par les gravures. Sur les cartes des écarts de VSFM, les gravures sont indécelables.

Enfin, les données lacunaires et comblées sont visibles sur les cartes des écarts. Pour le résultat d'123DCatch, nous le voyons particulièrement sur la tranche située sous la face visible (en jaune). Pour le résultat VSFM, nous le voyons sur la tranche située sous la face invisible, sur toute la longueur de l'arrête supérieure, ainsi que sur la tranche à droite de la face visible, là où le passage du bleu au jaune est rapide.

6.3.2.5. Résultats

Au-delà de l'objet en 3D aisément manipulable dans toutes les directions qui est un pas considérable par rapport aux techniques classiques d'enregistrement et de présentation antérieures, le résultat volumétrique autant que surfacique est très satisfaisant (Cf. figure 142.4). Le rendu même de la granulosité du granite permet de différencier les grands états de surface, entre le poli de la face dorsale, le piqueté fin d'une partie de la face ventrale et le martelage grossier de son autre partie. Enfin les gravures apparaissent sur toutes les faces, sans prétendre bien entendu à la précision et résolution de l'acquisition lasergrammétrique.



a/ Description géométrale établie par Lecornec (1990)

b/ Positionnement des élévations par rapport à l'objet déjà numérisé

c/ Création d'une boîte

d/ Subdivision et adaptation des sommets aux contours de l'élévation

e/ Lissage du maillage

f/ Résultat final avec synthèse des gravures

38. Principe de la reconstruction *low poly* sur la stèle de Kermaillard (Sarzeau, Morbihan)

6.3.3. Utiliser les descriptions géométrales anciennes ou extrapoler les surfaces inconnues

Les interventions antérieures menées sur le site ont pu conduire à des représentations sous la forme de descriptions géométrales. Ce sont des matériaux de prédilections car il est possible de replacer ces documents dans l'espace et en relation avec l'objet enregistré en 3D. Une fois cette étape accomplie, il est possible de décalquer les contours selon la technique de la modélisation *low-poly*.

Pour mener ce travail à bien, il faut utiliser un logiciel de modélisation 3D comme Blender ou 3DS Max Studio d'Autodesk. Le processus de travail consiste à charger le modèle 3D de l'objet existant, et à placer à partir d'une vue orthogonale (sans perspective) les différentes pièces graphiques (plans, élévations, coupes). Il existe toujours un décalage entre les dessins à la main et l'objet numérisé en raison de la relative imprécision des relevés anciens et de décalages dans le positionnement exact des vues.

Une fois cette première étape verrouillée vient le moment de reconstruire la géométrie. Le principe de la modélisation consiste à commencer avec une forme géométrique simple (cube la plupart du temps), puis à lui ajouter des faces grâce à des extrusions tout en alignant les sommets sur les contours des descriptions géométrales. Il faut également veiller à ce que la géométrie nouvellement créée s'adapte à la géométrie numérisée. Ces opérations itératives permettent de retrouver progressivement la géométrie inaccessible de l'objet. Une fois que le premier niveau de géométrie est jugé satisfaisant, il est possible de l'affiner en subdivisant les mailles et en lissant les surfaces. L'opération peut recommencer ainsi jusqu'à ce que la forme obtenue soit jugée correcte et conforme aux descriptions géométrales disponibles et à la représentation tridimensionnelle issue de la numérisation. Les principales étapes de ce travail de reconstruction sont illustrées à travers la déduction de la base de la stèle de Kermaillard à Sarzeau (Cf. figure 38).

6.3.4. Reconstruire les surfaces inaccessibles mais photographiées

Les interventions antérieures ont parfois pu permettre d'accéder à des surfaces de l'objet qui ne le sont plus aujourd'hui. Si une description géométrale n'a pas été réalisée de ces surfaces, elles ont en revanche peut-être été photographiées. La reconstruction de stèles à partir d'images d'archives n'est pas l'opération la plus aisée, mais elle peut être la seule manière de documenter des objets dont des fragments ont disparu par exemple.

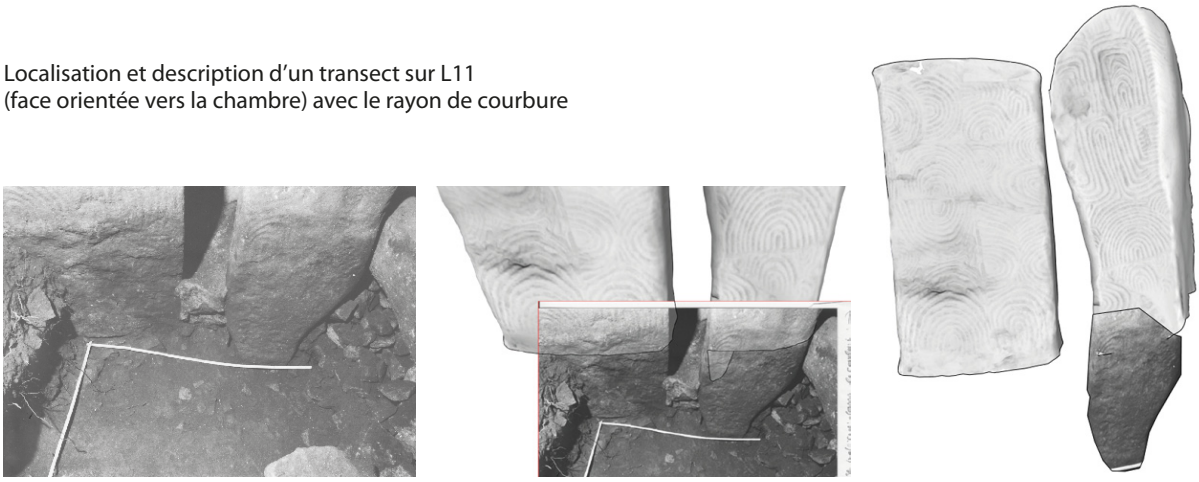
Deux situations peuvent se présenter. L'extraction des informations tridimensionnelles nécessite de repositionner les clichés dans un système de coordonnées cohérent avec la géométrie existante acquise. Les outils ne seront cependant pas les mêmes pour reconstruire cette information s'il n'y a qu'une seule photo, ou plusieurs clichés représentant la partie manquante.

La situation la plus compliquée consiste à exploiter un cliché unique. La situation a été rencontrée pour reconstruire le pied de la stèle L11 de Gavrinis (Cf. figure 39). Le sondage au niveau de la dalle de sol S12 a exhumé cette partie et quelques clichés ont été pris. Cependant, une seule photo a été jugée exploitable car suffisamment nette. Il faut noter que cette opération a été possible car la surface

à reconstruire est globalement plane. Si elle comportait beaucoup de relief ou s'il s'agissait d'une surface gauche, il aurait été impossible de mener à bien ce travail. L'opération a été réalisée dans le logiciel SketchUp en utilisant la fonction *photo match*. Cela a nécessité de produire un maillage allégé de la géométrie existante pour pouvoir être chargée facilement dans ce logiciel. L'origine de la base de données a dû être modifiée également pour la positionner sur un des éléments les plus identifiables communs entre l'archive photo et la géométrie. Cette étape a été nécessaire car l'ajustement est réalisé à partir de l'origine. Ensuite, les quatre lignes guides ont été modifiées les unes après les autres pour faire correspondre la photographie à la géométrie. Une fois que le recalage est jugé satisfaisant, la position de la caméra est sauvegardée, puis une surface plane est construite dans le prolongement de la géométrie puisque c'est l'allure générale qu'indique la photo d'archive. La texture de la photo d'archive est ensuite projetée sur ce nouveau maillage, et le plan construit précédemment peut-être détouré en fonction du cliché.

Le travail d'intégration de ce nouveau maillage à la base de données consiste à le subdiviser pour approcher une résolution non pas identique, mais suffisante pour assurer une transition douce entre ce qui est visible et interprété, puis à adoucir et lisser cette transition.

Lorsque plusieurs clichés d'une même surface sont disponibles au même instant, une autre méthodologie peut être appliquée. Les logiciels de photomodélisation – qui ne sont plus développés aujourd'hui mais qui étaient abondamment utilisés avant le développement de la photogrammétrie en corrélation dense d'images – à l'instar de ImageModeler permettent d'exploiter plus facilement ces photos et surtout des surfaces plus complexes. En effet, après avoir identifié des points communs entre chaque cliché, les caméras sont calibrées et il est possible de reconstruire des surfaces gauches en s'appuyant sur les points créés. Cette méthode de travail n'a pas été expérimentée sur les stèles de Gavrinis, mais ces outils ont été utilisés pour modéliser certains orthostates de Mané Kerioned (Carnac) en 2005 (Cassen et al. 2006).



39. Superposition d'une photo d'archives à un modèle 3D pour extraire la géométrie

6.3.5. Extrapoler les surfaces qui n'ont jamais été documentées

La documentation des surfaces qui n'ont jamais été enregistrées peut être extrapolées après que toutes les autres sources historiques ont été épuisées et intégrées au modèle 3D. Dans ce cas-là, la même méthode de modélisation *low-poly* que pour l'intégration des descriptions géométrales anciennes peut être appliquée (Cf. le point [6.3.4.]). La différence est qu'il est strictement impossible de s'appuyer sur des contours ou des observations graphiques. La seule contrainte réside dans le fait qu'il faut absolument rester cohérent avec la géométrie de la stèle. C'est pour cela qu'il est indispensable de réserver cette dernière étape pour les zones qui présentent le moins d'incertitudes possible.

C'est ainsi que les stèles L11 (Cf. figure 109.11) et P10 (Cf. figure 132) de Gavrinis ont pu être entièrement complétées.

6.4. Conclusion

Ces dernières années, les techniques d'acquisition tridimensionnelle ont connu de grandes évolutions. Les capteurs lasers sont devenus de plus en plus rapides et la photogrammétrie s'est largement démocratisée. Si l'application du premier représente toujours un coût financier relativement élevé, la lasergrammétrie permet malgré tout d'enregistrer facilement de grands volumes avec un minimum de déviation. Quoiqu'il en soit, la même densité d'informations peut être atteinte avec l'une ou l'autre technique.

Cette facilité de mise en œuvre est moins aisément atteinte selon notre expérience avec la photogrammétrie, mais la technologie est économiquement plus abordable et se montre plus souple dans les contextes difficiles. Enfin, si les technologies des relevés laser peuvent être considérées à maturité, la photogrammétrie possède encore une marge de progression dans l'évolution des algorithmes. Elle présente également un intérêt très important dans le domaine de la documentation du patrimoine car l'acquisition des textures ajoute à la géométrie des informations indispensables.

Pour toutes ces raisons, nos efforts se sont portés vers une autonomisation des procédures d'acquisition en photogrammétrie par corrélation dense d'images. De nombreux paramètres doivent être pris en compte tant du point de vue de la préparation du chantier que du paramétrage de l'appareil photo, et que de l'exploitation des données. Désormais, une grande quantité d'informations peut être enregistrée à toutes les échelles : environnement proche, l'architecture, ou encore les détails.

Ici, seule la procédure d'acquisition a été décrite. Cela ne constitue pas, comme nous l'avons indiqué en conclusion du chapitre précédent, un relevé. C'est la première étape qui doit conduire au moins à une description géométrale, et qui peut ensuite être déclinée sous différents média. La mise en forme du descriptif géométral n'a pas été détaillée car il s'agit de découper le modèle tridimensionnel selon

des plans, produire des images sans perspective en relation avec le plan de coupe, et habiller ces documents de base dans un logiciel comme Illustrator. Les enjeux identifiés portent donc moins sur ces manipulations que sur la constitution du modèle tridimensionnel.

Les ornements gravés vont maintenant attirer notre attention car leur identification et leur synthèse nécessitent des procédures particulières. Ces opérations sont détaillées dans le chapitre ci-après.

Chapitre 7. Enregistrer les gravures

7.1. Introduction

7.1.1. Les enjeux et les objectifs

Dans un contexte d'architecture funéraire armoricain néolithique, les gravures sont vectrices de mythes et de narrations. Pour communiquer ces idées, les auteurs de ces œuvres ont gravé sur les stèles des motifs possédant une valeur. L'identification de ces signes est un préalable essentiel pour l'étude des discours et de l'imaginaire dont ils sont porteurs. Les contours des tracés doivent être clairement identifiés, leur cohérence déterminée afin de reconnaître les signes, et finalement leur attribuer une valeur. Ce travail de relevé et d'interprétation nécessite des protocoles particuliers afin d'appliquer les clés de lecture spécifiques permettant de comprendre correctement les signes (Cassen et Vaquero Lastres 2003).

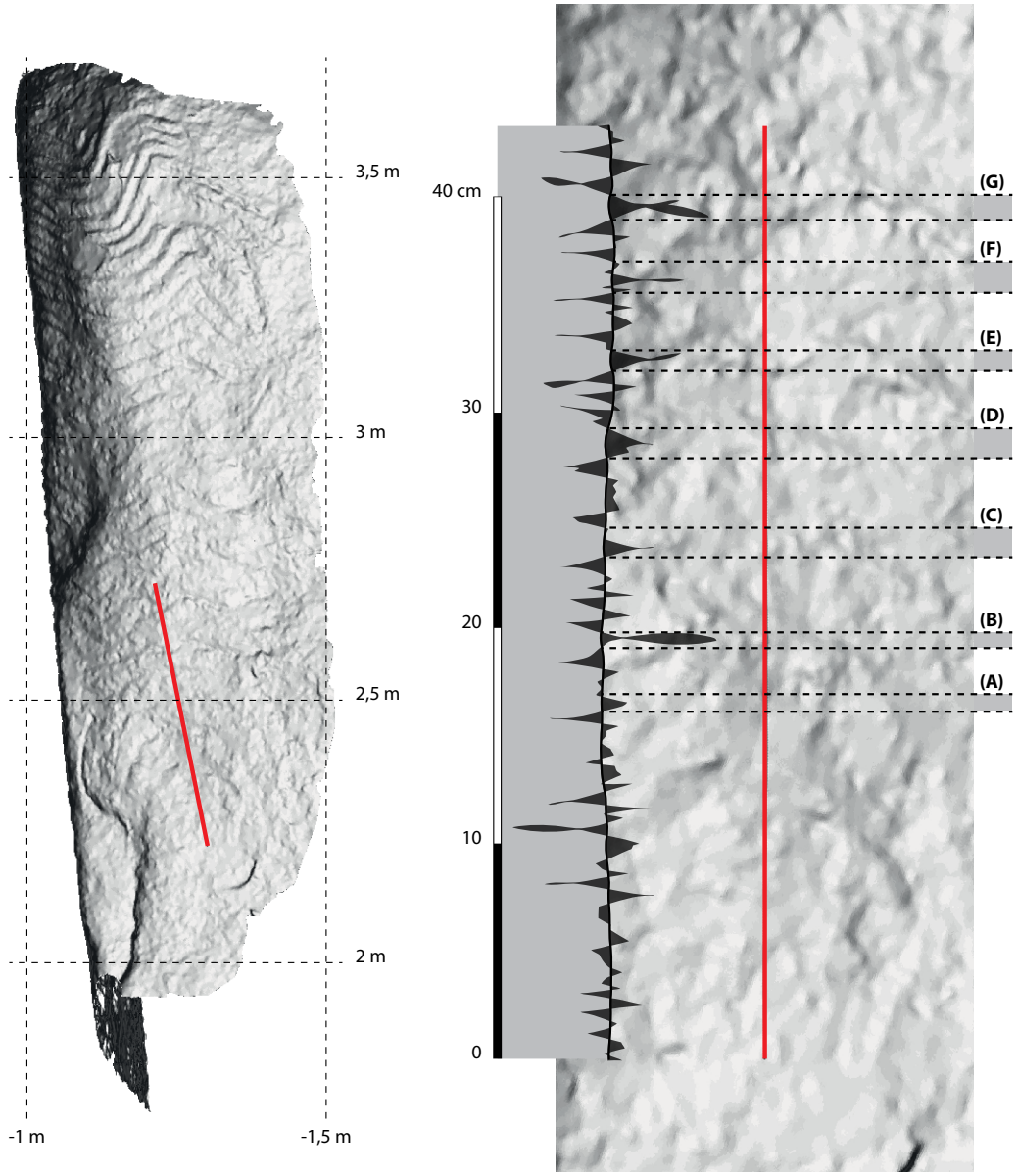
Pour atteindre ce niveau de compréhension, la mise en place d'une méthode d'acquisition reproductible et le contrôle des résultats par différents opérateurs sont indispensables. Bien que l'enregistrement des œuvres rupestres soit pratiqué depuis plus d'un siècle, la recherche de normalisation des techniques d'acquisition et des représentations n'a commencé qu'à la fin des années 1990 avec la numérisation 2D et 3D des surfaces ornées (Darvill et al. rapport 2000).

Les œuvres pariétales du Néolithique ne sont pas les seules à devoir être documentées. L'état de l'art constitué ne s'appuie donc pas seulement sur les techniques employées en archéologie pour relever les gravures rupestres, mais aussi sur celles mobilisées dans des domaines où il est nécessaire de lire le relief.

La renommée de Gavrinis repose essentiellement sur la profusion de gravures qui ornent le couloir. Le projet de recherche dans lequel s'inscrit ce travail consiste à représenter et interpréter les compositions. Nous ne présenterons pas ici le résultat de ces investigations dans le détail. En revanche, nous nous appuierons sur certaines observations car elles permettront de valider ou d'infirmer des hypothèses concernant la restitution de l'architecture du monument.

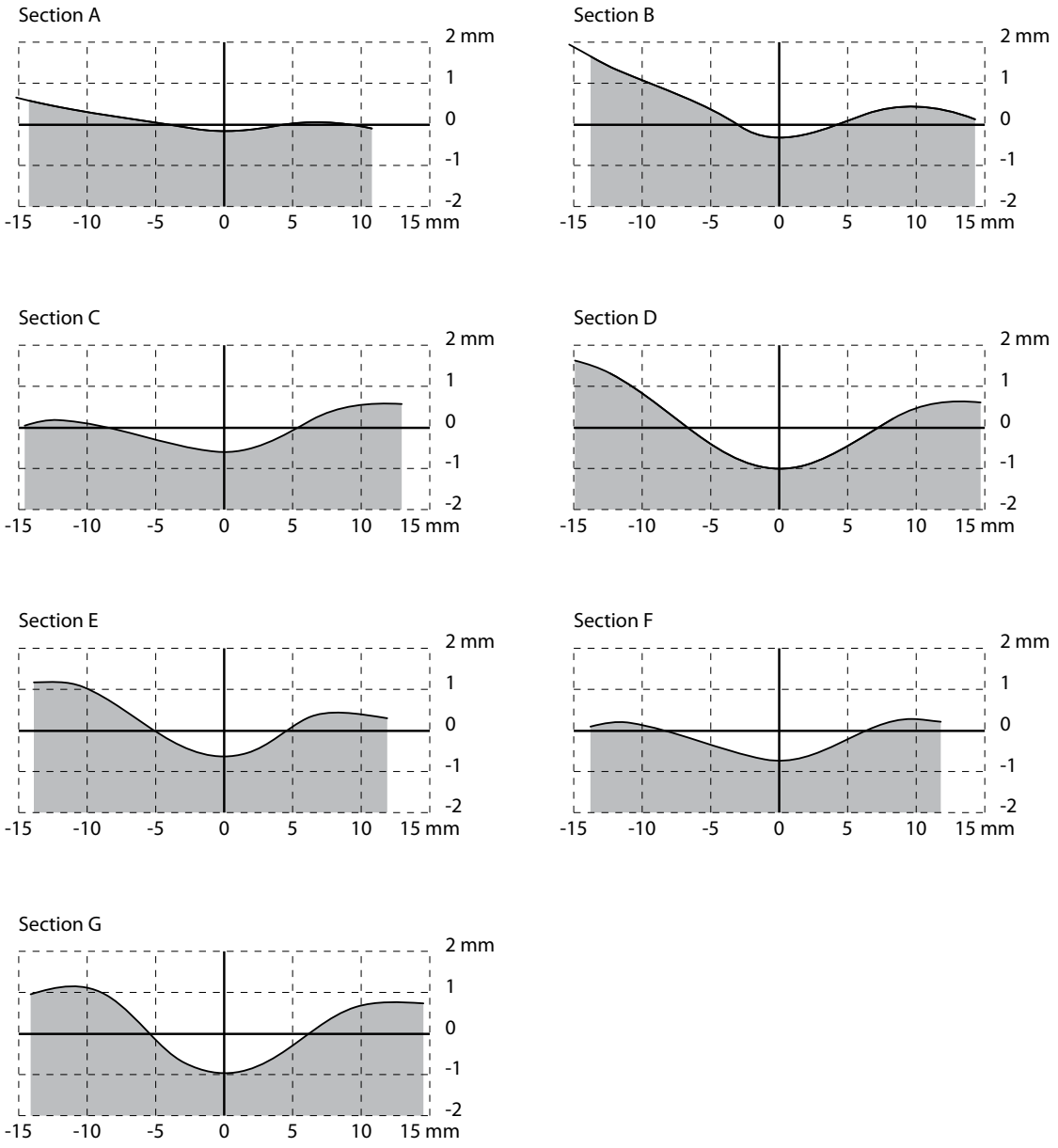
7.1.2. Définition de ce qu'est une gravure dans le contexte du Néolithique armoricain

Une gravure est le résultat d'un enlèvement de matière réalisé grâce à une percussion lancée ou posée sur une surface. Ce peut-être le résultat de plusieurs actions successives ou non. Exposées à l'air libre et aux intempéries, elles sont érodées et beaucoup ne peuvent être que difficilement lues directement aujourd'hui, d'autant plus que la texture de la roche complexifie la perception de ces reliefs ténus. La majorité des gravures de Gavrinis présente une assez bonne conservation car elles n'ont pas été exposées aux intempéries depuis la construction du couloir, ni à aucun processus de dégradation majeur entre l'obstruction du couloir et sa découverte. Il faut noter que c'est une situation assez exceptionnelle, mais les profils des gravures obtenus en réalisant des sections montrent effectivement que les reliefs peuvent être ténus et la lecture difficile (Cf. figure 40). Afin d'éprouver les techniques d'acquisition, elles ont été appliquées et perfectionnées sur l'ensemble du corpus du programme JADE 2 (Pétrequin et Gauthier 2012 ; Cassen et al. 2014).



40. Localisation d'un transect sur L11 et description des profils des gravures intersectées

En fonction du matériau de la roche support, l'impact du percuteur ne sera pas le même. Les expérimentations réalisées par M. Vourc'h et C. Chaigneau (Vourc'h et al. 2014) ont montré la nécessité de préparer les surfaces avant d'exécuter. Les premières phases consistent à enlever les surfaces les plus fragiles afin que le tracé soit réalisé sur un support sain. Ce bouchardage est réalisé avec différents outils afin d'obtenir une surface de plus en plus régulière et « lisse ». Ce n'est qu'à la fin de ce processus que les signes peuvent être exécutés, selon trois techniques principales. Le signe peut être en creux, et l'enlèvement de matière correspond exactement à ce qui doit être lu. Le signe peut aussi être exécuté en champ levé : c'est le contour de la forme qui subit l'enlèvement de matière de sorte que le bord soit abrupt puis se fonde avec le reste de la surface. Sur certains matériaux particulièrement résistants à la percussion, le contraste peut devenir le moyen pour inscrire le signe sur la roche. Ce contraste est possible car le grain écrasé par la percussion change de couleur par rapport à l'état initial.



7.2. État de l'art des techniques d'enregistrement

7.2.1. Introduction

Jusque dans les années 1990, la majorité des méthodes employées nécessitait un contact plus ou moins important avec le support pour enregistrer les gravures. Avec l'émergence et la démocratisation des appareils photographiques numériques, les techniques ont été interrogées pour assurer une objectivité des résultats (les interprétations pouvaient varier fortement selon les opérateurs et les conditions d'acquisition) et des conditions de conservation optimale. Bien que les tentatives d'enregistrement d'œuvres rupestres remontent à plus d'un siècle, la recherche d'une standardisation des méthodes d'acquisition est relativement récente (fin des années 1990) et correspond à l'arrivée des outils numériques et leur démocratisation. La philosophie qui règne depuis consiste donc à produire des relevés sans contact. Cependant, il faut noter que derrières les vocables « art rupestre » ou « art pariétal » se cachent des artefacts issus de gestes très différents. Pour ce qui concerne les représentations en relief, ce sont des surfaces sculptées, incisées, gravées, piquetées, abrasées, forées, etc. (Darvill et al. rapport 2000). Mais les œuvres peintes sont également incluses dans cette dénomination avec toute la diversité des techniques de dépôt de pigment sur une surface : pigments projetés, tamponnés, traînés par le pinceau, etc.

Cette recherche a notamment été ponctuée par trois programmes consistant à relever les œuvres pariétales :

- Le *Rock Art Project* mené par T. Darvill entre 1998 et 2000 consistait à enregistrer les œuvres gravées dans les tombes à couloir (*passage-grave art*), les motifs de cupules cerclées (*cup-and-rings motifs*) et diverses formes (incluant les haches, les dagues, les labyrinthes, des représentations zoo- et anthropo-morphes). Le rapport principal rend compte de l'ensemble des recherches menées et fait notamment le bilan des moyens mobilisés pour relever les gravures. Il s'est avéré que les techniques ne se suffisaient pas à elles-mêmes, mais qu'elles étaient complémentaires. Les objectifs à remplir étaient de trois ordres : l'intégration des archives existantes pour chacun des sites ; la mise en relation des gravures avec la morphologie du support ; l'identification des tracés (Darvill et al. rapport 2000).
- Le *Nordthumberland and Durham Rock Art Pilot* Project (NADRAP) dirigé par P.G. Bryan (Mills et Andrew rapport 2011) entre 2004 et 2008 consistait à enregistrer en 3D tous les panneaux gravés des comtés de Northumberland et de Durham (Angleterre – Royaume-Uni). La 3D est ici la seule technique mobilisée. La procédure d'acquisition s'est appuyée assez largement sur le réseau d'associations et de bénévoles en raison de l'importance du corpus (2400 panneaux répartis sur 1500 sites). L'expérience acquise par les Australiens sur la documentation tridimensionnelle des œuvres aborigènes a également facilité la mise en œuvre du programme.
- Un document préalable à un programme de recherche galicien rédigé par Y. Seoane-Veiga concernant l'acquisition d'œuvres pariétales gravées et peintes. Ce rapport, daté de 2009, remet en perspective l'ensemble des techniques utilisées et définit la stratégie

> à suivre. Il est préconisé – contrairement au programme précédent – de ne pas chercher à uniformiser les méthodes, mais de les appliquer au cas par cas parmi celles proposées pour obtenir le meilleur résultat. Le choix incombe *in fine* à l'opérateur.

La démonstration s'appuie davantage sur des rapports que sur des articles car c'est un domaine de recherche qui a rapidement évolué et tous les résultats n'ont pas fait l'objet de publications scientifiques. L'évolution rapide et constante des logiciels mise en perspective avec le temps long de la publication crée un décalage entre les méthodes décrites et pratiquées. En plus de ces trois rapports détaillant de manière explicite les méthodologies, des chercheurs « indépendants » ont également proposé d'autres solutions. Toutes ces procédures peuvent être catégorisées en trois grands domaines que sont les traitements de photographies numériques (2D) ; les *relightable maps* (images ré-éclairables) qui peuvent être assimilées à de la 2,5D ; et les traitements opérés sur des modèles 3D.

Comme nous l'avons souligné au début de ce chapitre, la détection de gravure n'est pas l'apanage des gravures pariétales du Néolithique. C'est pourquoi nous trouverons ci-après des références issues d'autres domaines.

Nous reviendrons dans un premier temps sur les méthodes de détection avec contact afin de connaître les pratiques qui ont été bannies à la fin du XXe siècle. Ensuite, nous détaillerons les procédés actuels n'entrant pas en contact avec les surfaces ornées. Ces méthodes seront présentées selon le type de document servant à la détection : support 2D, 2,5D ou 3D. Ces techniques ne sont pas exclusives et les types de documents ont tendance à être de plus en plus combinés.

7.2.2. Les méthodes avec contact

Il existe différentes méthodes pour enregistrer les gravures avec contact ; certaines sont plus intrusives que d'autres ce qui peut expliquer pourquoi quelques unes sont encore pratiquées aujourd'hui.

Dans un premier temps, il a été remarqué que l'observation de signes très altérés est beaucoup plus précise sous une lumière diffuse, où lorsque le soleil est bas, à son lever ou à son coucher (Darvill et al. rapport 2000, p. 97). En effet, un éclairage trop franc écrase tous les modelés et l'œil n'est plus capable de distinguer les légères variations de relief. De plus, il est précisé que si la source de cette lumière diffuse vient tangenter la surface avec les reliefs – ce qui est le cas en début et en fin de journée –, alors il est possible de voir simultanément les deux bords de la gravure grâce à une légère sur- et sous-exposition. Ce n'est plus le cas quand celle-ci est trop franche, puisque de trop forts contrastes dans la pénombre ou l'obscurité empêchent la distinction des nuances intermédiaires.

Une amélioration de cette technique apportée par la même équipe consiste à humidifier la surface en question. L'eau assombrit le support rocheux et certaines zones, selon leur exposition, vont réfléchir davantage de lumière et aider ainsi à la distinction des reliefs. (Darvill et al. rapport 2000, p. 97 ; Seoane-Veiga rapport 2009, p. 42).

Dans la même logique que l'humidification de la surface, l'apposition d'une feuille d'aluminium sur le support et son frottis pour qu'elle épouse parfaitement le relief produit aussi des résultats satisfaisants à l'œil. La finesse du matériau permet d'être très fidèle à l'original en supprimant la texture de la roche. La seule information que l'œil doit traiter est la lumière se réfléchissant sur la feuille. Selon l'incidence du rayon lumineux, les détails ressortent plus ou moins bien. En l'occurrence, les auteurs insistent sur le fait que les résultats sont très bons sur les gravures très altérées, et que malgré le contact, il n'y a aucun dépôt de matériau. Le résultat peut être documenté à la photographie grâce à l'utilisation d'un filtre polarisant devant l'objectif. Le procédé est jugé comme beaucoup moins convaincant sur les gravures profondes (Darvill et al. rapport 2000, p. 99).

Une autre variante consiste à appliquer sur la surface gravée un drap de coton blanc humide. En entrant en contact avec la gravure, il va s'assombrir. S'il est bien tendu, il n'épousera que les sommets du relief et passera par conséquent au-dessus des creux. À condition que la surface soit plane, les creux correspondront aux gravures (Darvill al. rapport 2000, p. 98). À moins de travailler sur un plan de diaclase, il peut être assez difficile de tendre exactement le drap à la surface, au sommet des gravures. De plus, le tissu collera plus ou moins au relief selon la tension exercée et les résultats peuvent grandement varier. Selon l'auteur, le procédé ne fonctionne que pour les parois verticales, mais cela devrait pouvoir s'appliquer aussi sur des surfaces horizontales si plusieurs personnes tendent le drap.

Toutes ces techniques ne sont que des astuces pour faciliter la lecture des gravures et nécessitent d'autres traitements pour fixer les résultats. Les procédés suivants permettent justement de réaliser ce duplicata et d'obtenir un relevé.

L'estampage ou le frottage consistent à apposer une feuille de papier calque sur la surface gravée, puis à frotter à l'aide d'un chiffon imprégné de particules de fusain. Le frottis permet de laisser le charbon sur le sommet et les gravures en clair. Si la technique peut donner des résultats satisfaisants sur des plans de diaclases aux motifs bien conservées (Qallaki et Polig 2013), une pression trop forte exercée sur celles très altérées peut anéantir le résultat. En somme, selon l'expérience de l'opérateur, les résultats peuvent grandement varier. De plus, il est estimé que la technique est inefficace pour des tracés qui se chevauchent et peut engendrer une confusion entre ce qui est gravé et ce qui est naturel (Seoane-Veiga rapport 2009, p. 41).

Toutes les techniques présentées jusqu'ici n'impliquent pas l'interprétation de l'opérateur au moment du relevé, mais *a posteriori*, lors du post-traitement des données. Le dessin sur calque en revanche nécessite directement un choix de l'opérateur car c'est lui qui détermine directement à travers son crayon ce qui relève du tracé anthropique du relief naturel, et quelles en sont les limites. Par conséquent, le degré d'altération des gravures et les conditions d'observation peuvent fortement influencer l'opérateur sur la compréhension du panneau sur lequel il intervient. Il faut noter que comme pour l'estampage, la feuille doit être positionnée de manière à ne pas générer de distorsions. Elle doit aussi s'adapter à la surface sans être froissée (Seoane-Veiga rapport 2009, p. 41).

Il convient de préciser qu'aucune de ces techniques ne permet de prendre en compte le relief. Cela signifie que la feuille appliquée à la surface doit épouser le relief. Mais une fois le relevé terminé, elle est dépliée. Les gravures perdent leur relation avec la morphologie du support et peuvent être

déformées. La perte d'information est alors considérable. La seule technique permettant de dupliquer les gravures en relation avec le relief est le moulage. Cependant, les tracés ne sont pour ainsi dire pas davantage mis en évidence que sur l'original et la technique est condamnée à cause du contact infligeant des dégâts au moment du démoulage (Seoane-Veiga rapport 2009, p. 42). La roche possède en effet une certaine granularité et si l'élastomère utilisé est trop fluide, il risque de s'immiscer dans les anfractuosités et arracher de la matière. Cette action est préjudiciable pour la conservation des œuvres pariétales.

*

Ce sont les principales techniques avec contact recensées dans l'état de l'art des rapports concernant les trois grands projets d'acquisition des œuvres pariétales gravées et peintes. Il a été remarqué que selon l'opérateur, les relevés peuvent énormément varier – et ce même s'ils utilisent le même procédé d'acquisition. Avec la démocratisation des outils numériques, l'enjeu sera alors d'acquérir le relevé le plus objectif possible sans établir de contact avec la surface afin d'assurer une pérennité optimale des œuvres. Le fer de lance de cette tendance sera les peintures pariétales dès la fin des années 1990. En 2009, il est clairement explicité que les techniques d'acquisition avec contact sont bannies. L'orientation prise consiste à utiliser les moyens optiques pour détecter les gravures. L'appareil photo devient alors l'outil privilégié car il est le plus accessible. Dans un premier temps, ce sont des traitements photographiques qui seront mis en œuvre, puis la photogrammétrie. En parallèle, la lasergrammétrie sera également expérimentée.

7.2.3. Détection sur des photographies numériques (2D)

7.2.3.1. Le décalquage de photographies

Le décalquage de photographie analogique est une technique issue de l'étude numismatique. Sans contact, elle permet de documenter les reliefs d'une surface. Le procédé consiste à produire un tirage grand format de l'objet à étudier, puis de retourner sur site pour encrer l'exemplaire en fonction de ce qui pouvait être perçu. Le résultat est ensuite transféré sur une feuille pour isoler le relevé des tracés. Cette technique mise en place au début du XXe siècle ne convainc pas la communauté car la part d'interprétation est beaucoup trop importante et les résultats sont trop dépendants des conditions d'observation. (Seoane-Veiga rapport 2009, p. 42).

Cette approche sera expliquée en 1998, mais à partir de photographies numériques. L'objectif est de détailler une méthode qui améliore quantitativement et qualitativement les résultats. Le principe est le même qu'avec les photographies analogiques : les tracés sont reportés sur les clichés, et un retour sur site permet de corriger et d'annoter autant que nécessaire les résultats. Cependant, il est constaté que la plupart des relevés étaient effectués à main levé, ce qui engendre de fortes distorsions. L'opérateur doit en effet se concentrer sur la recherche d'un point de vue optimale pour représenter le sujet – ce qui peut nécessiter une posture inconfortable – et sur la qualité de son dessin. Ce sont ces points que les auteurs entendent améliorer grâce à la production d'un support « orthonormé ». Le cliché numérique de la surface est alors corrigé afin de minimiser les distorsions de l'objectif de

l'appareil photo. Le résultat est ensuite imprimé en filigrane afin de pouvoir reporter les observations manuellement (Brayer et al. 1998). L'intérêt de la méthode telle que présentée par les auteurs consiste à focaliser l'attention de l'opérateur sur le sujet et ses détails.

L'accès facilité aux appareils photographiques numériques dès la fin des années 1990 a été un pas en avant décisif car les images peuvent désormais être traitées sur ordinateur et manipulées pour extraire les informations. Cela était pour ainsi dire impossible avec les photographies analogiques.

7.2.3.2. Détection de formes à partir des nuances de couleur

En plus de la recherche de moindre déformation des surfaces présentée précédemment, l'idée de traiter colorimétriquement les images apparaît. Plusieurs manipulations sur la même image sont effectuées, puis les différentes informations sont superposées pour pouvoir en réaliser la synthèse. Les premiers traitements d'image (*Digital Image Processing*) ayant cette finalité datent également de 1998. Les images sont traitées principalement en jouant sur la luminosité / contraste, le seuil, et la séparation des trois canaux de couleur rouge, vert et bleu (Cacho Toca et Galvez Lavin 1998 ; Donnan 1999). Les auteurs insistent sur le contrôle de l'ambiance lumineuse au moment de l'acquisition car la quantité de lumière, sa provenance et sa nature vont largement influencer la quantité et la qualité des détails photographiés.

À partir de cette période, l'objectif des relevés va constamment osciller entre la recherche de « l'objectivité absolue » à travers l'automatisation des méthodes et la réduction de l'intervention de l'opérateur, et une certaine subjectivité afin de retrouver le tracé originel.

Dans le domaine des œuvres peintes pariétales, des traitements de plus en plus automatisés vont peu à peu être mis en place pour faciliter l'acquisition des œuvres. Une série d'algorithme appliquée à la photographie permet automatiquement de définir les contours des œuvres peintes après des opérations permettant de supprimer les interférences que l'arrière-plan peut générer. Le premier algorithme mobilisé est SOBEL car il permet de détecter les contours. L'image est ensuite convertie en mode binaire, puis un algorithme de squelettisation est appliqué pour retrouver des contours encore plus « précis ». Il faut nuancer ce propos car certaines parties présentent des résultats fortement lacunaires. Cela n'a pas échappé aux auteurs et afin d'éliminer toute perte d'information, ils signalent que le traitement des images ne peut être assuré que par un spécialiste de l'art rupestre. Sinon, des informations capitales peuvent être détruites au cours du processus (Clogg et al. 1999).

Les méthodes de détection de gravures par traitements digitaux ont également été testées par l'équipe de M. Gil (Gil et al. 2011). Ces traitements s'appuient sur des analyses par bandes spectrales (rouge, vert, bleu, et infra-rouges proches du visible), l'application de filtres et des « renforcements ». La procédure d'acquisition consiste à prendre deux clichés se superposant exactement, puis à les assembler dans un logiciel de traitement d'image (Photoshop CS3). Certaines mesures sont à prendre avant d'appliquer la méthode, spécialement concernant l'image infra-rouge. Il existe toujours un bruit au moment de l'acquisition avec ce type d'image et il se matérialise par des pixels blancs. Un filtre flou gaussien avec un rayon de 3 pixels est appliqué afin de supprimer ces parasites tout en minimisant la

perte d'information. L'image couleur est ensuite décomposée en quatre canaux (rouge, vert, bleu, et image originale). De cette manière, c'est avec un jeu de cinq photos que les opérations de détection de gravures seront menées. Plusieurs traitements sont détaillés dans l'article.

D'abord, les canaux sont mélangés. Par exemple, une image en infra-rouge, bleu, vert (à la place de l'habituelle image rouge, vert, bleu) produit une image en fausse couleur et facilite la détection de végétaux et de pigments.

Ensuite, l'utilisation d'espaces de couleur différents permet également de révéler de nouveaux détails. Plutôt que de changer la proportion de rouge, vert et bleu dans l'image, elle est modifiée selon les paramètres d'intensité, de teinte et de saturation (paramètre IHS). Le résultat obtenu permet selon les auteurs de pouvoir apprécier facilement le relief de la surface et de distinguer plus précisément les tracés.

Puis, différents filtres peuvent être appliqués afin de mieux faire ressortir les détails. Il s'agit de filtres flou gaussien, flou moyen, détection de contours et un filtre personnalisé produisant un flou directionnel.

Enfin, la valeur numérique de chaque pixel (valeur comprise entre 0 et 255 pour chaque canal) est multipliée par (-1). Cette image en négatif couleur produit une inversion du relief et permet selon les auteurs de distinguer clairement les tracés.

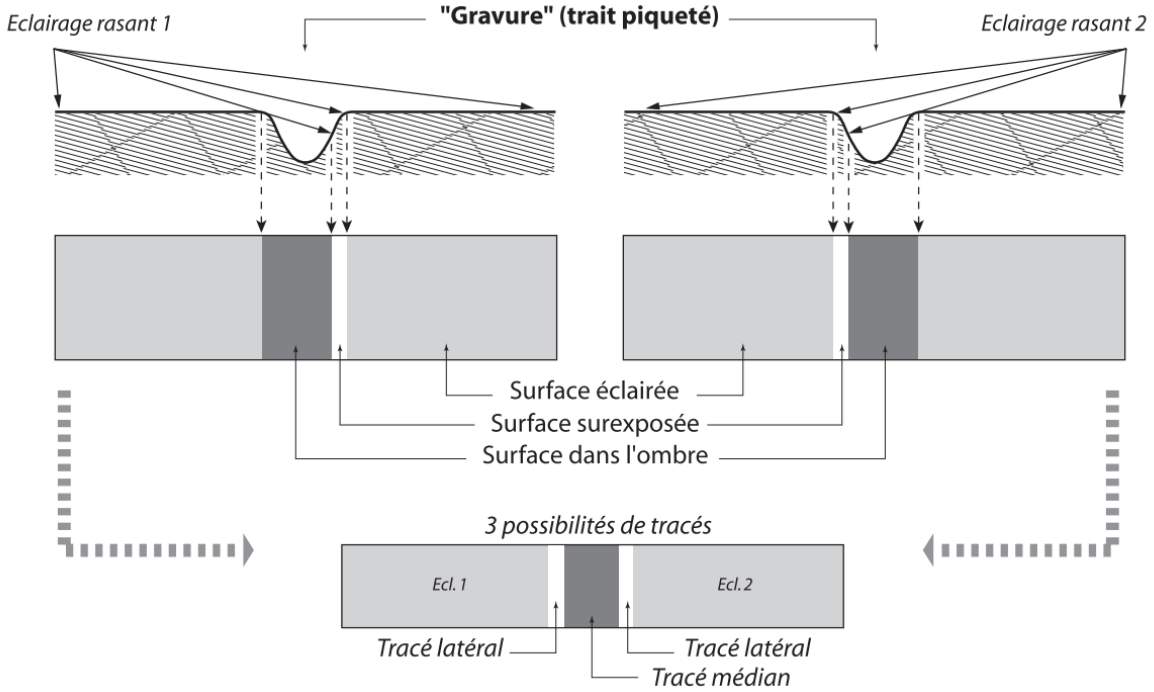
Malgré tous ces traitements, il faut noter que le sujet, même s'il présente des reliefs assimilables à des gravures, ne présente rien d'évident et que la « synthèse finale » n'est absolument pas convaincante. Ajoutons que peu de publication après celle-ci évoque les traitements d'images pour détecter des gravures sur une surface.

Les peintures levantines de la péninsule ibérique sont relevées grâce au logiciel ImageJ et son plugin Dstretch qui permet de décorréler les canaux pour les mélanger de nouveaux ensuite dans de nouveaux espaces de couleur. Ces principaux espaces de couleurs sont RGB, LAB, YDS, YBK, LDS. En multipliant les traitements, il est possible de synthétiser des informations complémentaires dans un dessin final. Ce dessin est acquis en éliminant l'arrière-plan dans Photoshop en ne sélectionnant que les couleurs n'appartenant pas à la peinture. Un masque de fusion est finalement créé à partir de ces sélections et la superposition de tous ces masques permet d'isoler les zones contenant des pigments (Domingo et al. 2013). Ces relevés 2D peuvent ensuite être projetés sur un maillage 3D pour repositionner la peinture dans son contexte. Enfin, l'image peut être décomposée en autant de calque que nécessaire pour documenter et rendre la composition générale compréhensible (Domingo Sanz 2014).

7.2.3.3. Les variations de lumière

Pour les gravures particulièrement peu profondes et difficiles à discerner, une solution consiste à les photographier en station fixe avec quatre sources opposées de lumières dures (Lerma et al. 2006). Les images sont séparées selon les canaux de couleurs, puis fusionnées pour obtenir une image finale avec les gravures mises en évidence. Cette image est ensuite projetée sur un modèle 3D produit en photogrammétrie. Cette surface est orientée de manière à ce que le vecteur normal moyen corresponde à l'axe z de l'espace 3D.

Une autre méthode d'acquisition par variation de lumière a été mise en place dès les années 1990 sur le site du tertre de Lannec er Gadouer puis perfectionnée au cours des diverses utilisations : les éclairages tournants (Boujot et Cassen 2000b, p. 36 ; Cassen et Vaquero Lastres 2003 ; Cassen et al. 2005 ; Cassen et al. 2006). Le principe consiste à utiliser un appareil photo en station fixe et dans l'obscurité, déplacer une lumière rasante de manière à ce que les sommets du relief projettent des ombres dans les creux. La multiplication des sources de lumière permet de révéler chaque détail. Chaque cliché est ensuite traité individuellement de manière à extraire un bord de la gravure. La superposition de l'ensemble de ces tracés permet de faire émerger des tracés cohérents formant des figures. À partir de ce premier travail, une synthèse est réalisée afin de clarifier la composition et d'apporter une dimension sémantique aux formes. Les relevés sont produits avec un appareil photo et sont *ipso facto* soumis aux lois de la perspective. Afin de corriger les effets de distorsion engendrés par l'optique, les gravures sont cadrées au centre du cliché, en faisant attention à ce qu'elles ne côtoient pas les bords. Cela nécessite un recul parfois important si la composition est de grande dimension. Si ces conditions favorables ne sont pas réunies, les stations sont multipliées, puis rassemblées sur un document présentant le moins de déformation possible. Enfin, le travail peut être finalisé en le portant sur un modèle tridimensionnel.



41. Schéma relatif à l'éclairage rasant d'un trait en creux selon deux sources opposées ; synthèse montrant les différentes possibilités de tracés sur image (Cassen et Vaquero Lastres 2003)

7.2.3.4. Conclusion

Parmi les traitements menant à la détection des tracés, trois manières de procéder ont été mises en place afin de ne pas entrer en contact avec la surface. La première revient à produire un relevé manuel sur une source considérée avec peu de déformation ; la deuxième consiste à mettre en évidence les nuances de couleurs générées par les actions anthropiques ; la troisième exploite les détails en variant la position de la source lumineuse.

Nous ne reviendrons pas sur la première méthode car elle a été utilisée principalement au cours du XXe siècle à partir de clichés analogiques et a été relativement vite abandonnée avec l'apparition des photographies numériques.

La deuxième méthode a été appliquée pour détecter aussi bien les motifs peints que les motifs en relief. Au début, les réglages étaient manuels et peu de paramètres pouvaient être mobilisés. Le changement d'espace de couleur avec la production d'images en fausses couleurs a produit des résultats très encourageant (la mobilisation d'un canal infra-rouge était le plus accessible). Finalement, pour simplifier les procédures assez complexes, ces manipulations ont été automatisées dans le plugin Dstretch. Cet outil permet d'explorer de nombreux autres espaces de couleurs, multipliant ainsi les chances d'obtenir une détection optimale.

Rapidement, l'application de la procédure a été essentiellement restreinte à la détection de motifs peints. Les motifs en relief sont moins enclins à montrer des variations de couleur, sauf dans certaines conditions. Les gravures des stèles en quartz R7 et R11 de Gavrinis ont été détectées ainsi. Le relief dans ce cas est quasiment imperceptible à l'œil nu. Cependant, les grains écrasés lors de la réalisation (en percussion lancée et posée) engendrent de légères nuances de couleur que DStretch a pu mettre en évidence.

Finalement, la troisième méthode avec la variation de la position de la source de lumière permet de se détacher complètement de la texture du support pour ne se concentrer que sur le relief. En multipliant les éclairages, la synthèse des corpus photographiques permet d'obtenir un relevé avec une interprétation des signes. La méthode ne peut pas être automatisée et l'opérateur est le seul à pouvoir décider du caractère anthropique de telle ou telle ombre portée.

Bien que la dernière méthode soit la plus proche de ce qui a été défini comme étant un relevé (Cf. le chapitre [5.]), le dessin reste soumis à la perspective du cliché et en cela peut difficilement être comparé aux autres signes similaires.

7.2.4. Détection sur des images ré-éclairables (traitements en 2,5D)

7.2.4.1. Les documents PTM et RTI

Nous traiterons ces deux techniques ensemble car elles relèvent exactement du même procédé. RTI permet simplement une acquisition plus souple et est la déclinaison de la première.

Les images ré-éclairables permettent d'explorer virtuellement le relief d'une surface. Cette technique est apparue en 2001 après la publication des travaux réalisés au sein des laboratoires Helwett-Packard. Cette technique est alors appelée *Polynomial Texture Modelling* (PTM) (Malzbender et al. 2001). Le principe consiste à utiliser un appareil photo en station fixe, perpendiculaire à la surface, puis à éclairer l'objet en variant la position de la lumière. PTM se différencie de ce qui se faisait à l'époque car l'outil repose sur plusieurs images prises avec seulement la lumière comme paramètre variable. L'accent est finalement porté sur la production de rendus photoréalistes de haute qualité permettant d'analyser chaque variation de surface, aussi minime soient-elles. La seule limite reste la résolution

de l'image. De plus, il n'est pas nécessaire de programmer pour obtenir des résultats produits avec du matériel n'ayant pas une grande puissance de calcul. Grâce à ces avantages, la méthode est largement utilisée en archéologie pour documenter tout ce qui possède un relief.

Le logiciel traitant les données doit identifier la position de la source lumineuse pour aboutir au résultat. La première version de cette méthode, *Polynomial Texture* Modelling (PTM), est très contraignante car elle consiste à utiliser un dôme sur lequel sont positionnés des flashs. Ceux-ci sont déclenchés à tour de rôle avec l'appareil photo. La position des flashs sur le dôme est connue, de la même manière que les coordonnées de l'appareil par rapport à la structure. La distance entre l'objet et la lumière doit être égale à celle séparant l'objet de la caméra (Earl et al. 2011). Il est alors possible d'écrire un fichier avec les coordonnées spatiales des flashs, et l'ordre dans lequel ils sont déclenchés. En 2006, une seconde version de cette méthode rend la procédure beaucoup plus souple puisque le dôme n'est plus requis. À la place, deux billes noires à la surface très brillante sont placées dans le champ de vision de l'appareil photo. La lumière est réfléchie sous la forme d'un point spéculaire. L'incidence de la lumière à la surface de la sphère dicte au logiciel la position de la source lumineuse. Cette simplification entraînera un changement de nom pour la méthode qui s'appelle désormais *Reflectance Transformation Imaging* (RTI) (Mudge et al. 2006). RTI Builder et RTI Viewer sont aujourd'hui maintenus et distribués par la fondation américaine *Cultural Heritage Imaging*[1] (CHI).

La variation des ombres sur la surface de l'objet corrélée à la position de la source lumineuse produit un fichier comportant plusieurs informations. La texture de l'objet est présente, et la simulation de l'éclairage est possible grâce à une *normal map* (Cf. le chapitre [7.3.3.] pour une description du fonctionnement des *normal maps*). Le logiciel permettant cette construction s'appelle RTI Builder.

RTI est largement utilisée dans la communauté des archéologues. La méthode est simple à mettre en œuvre et les résultats sont jugés suffisamment fiables pour être appliqués systématiquement à la documentation des artefacts par le *Digital Equipment and Database Enhancement for Impact* (DEDEFI), un sous ensemble de *UK Arts and Humanities Research Council*. L'efficacité de la méthode est démontrée sur de nombreux exemples : des empreintes (sur des amphores, des briques), en numismatique, en statuaire (bronze, bas-relief), des contextes architecturaux ornés, des peintures, mosaïques, etc. Il faut souligner que dans un contexte muséal, la contrainte de la distance entre l'objet et la source lumineuse peut être assez facilement levée, mais ce peut être beaucoup plus difficile en extérieur, dans des environnements exigus (Earl et al. 2011).

Cependant, une expérience publiée en 2006 relativise la fiabilité des résultats (Dellepiane et al. 2006). La *normal map* produite dans RTI est comparée à celle issue d'un scan 3D. Outre les différences d'intensité de couleur entre les deux cartes, nous pouvons notamment remarquer que la chevelure du Christ est effacée dans RTI, alors qu'elle est clairement visible dans la *normal map* du scan. C'est une tendance que nous retrouvons dans tous les exemples d'images ré-éclairables produites avec PTM ou RTI : l'information devient moins précise dès que le relief est trop profond. La *normal map* issue du scan possède également une granularité beaucoup plus importante que celle produite par RTI, mais les auteurs ne précisent pas l'origine de cette différence.

1 http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/ (accédé le 29/12/14).

Afin de pré-analyser l'objet à relever, des tentatives ont été menées pour obtenir les tracés des gravures automatiquement à partir des images ré-éclairables (Brognara et al. 2013). Pour cela, une première façon de faire consiste à appliquer les filtres de renforcements de relief disponibles dans RTI Viewer. Cependant, aucune synthèse automatique des tracés n'est possible car les résultats apparaissent au gré du déplacement de la lumière. La solution développée dans l'article consiste donc à détecter les ruptures de relief à partir de la *normal map* créée avec RTI Builder puisque c'est elle qui possède l'information de modelé. Ces ruptures de normales, après application de l'algorithme SOBEL permettant de détecter les bords, forment une image en noir et blanc. Des traitements supplémentaires permettent d'augmenter le contraste entre les zones noires (surfaces planes) et les zones blanches (le tracé) de manière à obtenir *in fine* la vectorisation du contour recherché.

En préambule à un vaste programme d'acquisition des gravures de l'âge du Bronze en Suède, différentes techniques d'acquisition sont comparées (Qallaki et Polig 2013). L'étude sera réalisée avec des scans 3D, des images ré-éclairables RTI sur l'objet vrai et sur un modèle numérique. Il est observé que les modèles issus des scans 3D ne permettent pas de montrer précisément les gravures très altérées et les superpositions de tracé. L'objectif de l'article est de savoir s'il est possible de faire mieux avec RTI. Une acquisition avec la méthode RTI a été menée sur site, mais l'obscurité n'a pas pu être obtenue et les résultats sont mitigés. Cette même méthode RTI sera testée numériquement sur la surface 3D acquise avec un scanner laser FaroScanner. Le nuage de points sera traité dans Meshlab et la surface reconstruite avec l'algorithme *VCG Reconstruction*. Le dôme RTI sera simulé dans 3DS avec un déplacement de la lumière selon un pas de 15°. Les images seront produites avec le moteur de rendu VRay.

Le même objet a bénéficié d'un traitement RTI réel et numérique. Il s'avère que le résultat issu de 3DS Max contient beaucoup plus de détails que ce qui a été acquis sur site. Le contrôle de l'environnement lumineux est alors primordial. Il a été également observé que la calibration de l'appareil photo et la résolution des clichés pouvaient jouer un rôle important dans la qualité du document RTI. Finalement, les auteurs estiment que les meilleurs résultats sur ces sujets sont obtenus avec l'estampage, et non pas avec les modèles 3D et leurs traitements dérivés. Cette affirmation s'explique par le fait que les gravures sont situées sur des plans de diaclases parfaitement lisses et que les bords sont globalement très facilement identifiables.

7.2.4.2. Conclusion

Cette technique est largement adoptée pour documenter les reliefs. Elle permet en effet d'acquérir beaucoup d'information car la surface ornée peut être réexplorée a posteriori au bureau en variant la source lumineuse tout autour de l'objet. Cependant, des limites propres à cette technique sont observées.

D'abord, la *normal map* servant à l'illumination de la surface ne représente pas fidèlement la surface. L'image de visualisation est constituée à partir de différents éclairages. Or, si une zone est constamment dans l'ombre, cette partie ne pourra pas être simulée et la *normal map* extrapolera donc une surface lissée. Cela est d'autant plus dommageable quand les reliefs sont très accentués : les reliefs très profonds ne seront pas documentés avec cette technique.

Les images RTI sont photoréalistes et les ombres sont également visibles. Le résultat peut donc être agréable à l'œil, mais ne permet pas de lever certaines contraintes de visualisation. Par exemple, il est impossible de documenter correctement une surface concave avec les images ré-éclairables puisque les ombres projetées occuperont toujours une bonne partie de l'image.

De plus, la possibilité d'éclairer l'objet est assez limitée dans le sens où il est impossible de placer la source de lumière sous la ligne d'horizon. Le point de vue de l'appareil photo étant zénithal, l'image RTI est construite soit en interprétant la position de la source lumineuse à partir de la tâche spéculaire de la sphère noire ; soit en lisant les coordonnées des sources lumineuses à partir d'un fichier – les sources lumineuses étant alors des flashs fixés sur un dôme. Dans le premier cas, la réflexion sur la sphère d'une source lumineuse située sous la ligne d'horizon ne peut être vue depuis l'appareil photo ; dans le second cas, le dôme est hémisphérique et aucun flash n'est disposé sous la ligne d'horizon. De ce fait, les tranches d'une surface convexe ne peuvent pas être correctement documentées.

La procédure d'acquisition elle-même est extrêmement contraignante car elle nécessite le volume d'un dôme équivalent à la distance surface – appareil photo pour la technique PTM ou deux fois cette distance pour RTI. La distance est plus importante dans le deuxième cas puisqu'une source de lumière trop proche produit une tâche spéculaire plus grande à la surface de la sphère, rendant ainsi plus difficile le calcul de l'incidence du rayon et la position de la source lumineuse. Le volume de ce dôme est donc relativement important et il est rare d'obtenir de telles conditions sur site. Les espaces sont effectivement très contraignants dans les tombes à couloir et il est souvent impossible de trouver la place nécessaire à l'exécution du dôme. La même chose se produit si les gravures sont situées au niveau du sol.

Enfin, l'image finale RTI est la compilation de nombreux clichés photographiques. Toutes ces vues sont soumises à la perspective et le processus n'inclut pas le redressement des photos. Et même si cette étape est réalisée *a posteriori*, les effets de parallaxe, intrinsèques à la perspective, ne peuvent pas être évités. En somme, il est impossible d'obtenir une représentation normée de la surface avec la seule technique RTI.

Afin de pallier la difficulté du dôme, les images RTI peuvent être produites virtuellement à partir de surfaces numérisées. Il faut cependant noter que cela ne permet pas de lever les autres contraintes que nous soulevons puisque tous les exemples que nous avons pu voir jusqu'à maintenant sont produits avec une caméra en mode perspective.

Dans l'ensemble des articles mobilisant cette technique des images ré-éclairables, il semble que la très grande majorité du processus d'acquisition s'arrête à la production de cette image. Le logiciel permettant de visualiser les documents comporte en effet des outils d'annotation et de sauvegarde de propriétés (utilisation de *shaders* et position de la source de lumière). En conséquence, la synthèse des tracés est une étape qui ne semble jamais avoir été franchie et les opérateurs se satisfont de l'aspect visuel du résultat.

7.2.5. Détection sur modèles 3D

À partir de 2001, la relation entre l'ornement (peinture ou gravure) et la morphologie de son support est considérée comme importante pour l'étude et la compréhension de l'art rupestre. Le potentiel des numérisations 3D s'est rapidement révélé très fructueux et quantité d'expériences ont dès lors été menées. Les méthodologies se sont alors progressivement affinées. C'est devenu le premier objectif de l'acquisition tridimensionnelle des surfaces ornées de gravures ou de peintures (Robson Brown et al. 2001). Dès lors, la numérisation va s'appuyer sur deux techniques principales : la lasergrammétrie (par triangulation) et la photogrammétrie.

La photogrammétrie peinera à s'imposer au début car la procédure d'acquisition est longue et nécessite de nombreux moyens logiciels pour des résultats finalement relativement peu denses. Il fallait en outre disposer de nombreuses pastilles sur l'objet à enregistrer afin de faciliter la reconstruction (Simpson et al. 2003).

7.2.5.1. Différence entre maillages haute et basse définition

Les premières procédures détaillées concernant la détection des gravures sont celles établies pour les gravures aborigènes en Australie (Chandler et Fryer 2004). Puisque les sites peuvent se montrer difficiles d'accès, l'objectif de l'article consiste à explorer des méthodologies d'acquisition suffisamment flexibles et permettant d'enregistrer des informations denses pour les retravailler ensuite au bureau. Les surfaces sont numérisées en photogrammétrie avec des appareils photographiques numériques accessibles par le grand public. L'auteur attache en effet une grande importance à l'adoption de la procédure par le plus grand nombre afin que les opérations puissent être menées par des bénévoles. La détection des gravures repose sur la reconstruction tridimensionnelle de la surface. Ce maillage est ensuite converti en un modèle numérique de terrain et les données apparaissent en niveau de gris. Ce MNT en haute définition est dupliqué puis flouté. Cette transformation consiste à gommer les aspérités de la surface. La dernière étape de la méthode consiste à calculer la différence entre le MNT haute définition et le MNT flouté. Ainsi la distance entre les zones sans reliefs de ces deux MNT est quasiment nulle, alors qu'elle peut devenir importante là où les gravures sont présentes. Cette méthode est appelée *elevation difference*.

Les résultats obtenus avec des appareils photographiques bon marché sont confrontés à ceux d'un appareil de gamme supérieure et une station totale. La même procédure de détection des gravures est appliquée aux maillages obtenus selon les différents appareils. Il s'avère que si l'appareil photo bon marché est calibré, il est possible d'obtenir d'aussi bons résultats qu'avec du matériel de meilleure qualité (Chandler et al. 2005). La limite à l'adoption de la méthode reste l'accessibilité aux logiciels de photogrammétrie encore trop onéreux pour de petites structures.

D'autres procédures seront testées à la suite de celle présentée précédemment (Diaz-Andreu et al. 2005). Sur une surface gravée, la technique de détection de gravure dite des élévations relatives (ce que nous retrouvons sous le nom de *relative elevation* dans la littérature anglaise). La méthode consiste à décimer le maillage haute définition – et ainsi lisser les micro-reliefs – et à comparer ce second maillage avec le premier. La distance les séparant est alors traduite en un dégradé en niveau de gris.

Cette élévation relative permet de ne pas prendre en compte la morphologie de la surface, mais de mettre en évidence les gravures et les micro-reliefs. L'utilisation du filtre seuil de Photoshop permet de discriminer l'information en supprimant les plus petits détails. L'intérêt présenté de la méthode est de pouvoir ré-appliquer la gravure détectée sur le modèle 3D, ce qui est un avantage indéniable pour toutes les surfaces ayant un relief particulièrement tourmenté.

Une seconde méthode consiste à créer un maillage, puis à l'éclairer selon trois points de vue différents. La lumière rasante produisant des ombres, il est jugé possible de détecter les contours de la gravure. Cependant, les résultats ne sont pas lisibles à cause de la morphologie de la surface qui ne serait pas adaptée. En effet plus le relief est tourmenté, plus il est difficile de détecter les gravures. Pour faciliter l'identification des tracés, une méthode consiste à réaliser un MNT grâce à un logiciel dédié à l'analyse des traitements d'image satellite (ENVI RT 4.0) (Chandler, Fryer 2005). Le maillage est converti en image, dupliqué et flouté selon une variable proche de la largeur des gravures (29 mm). Le filtre seuil de Photoshop est appliqué pour supprimer les détails les plus fins ne correspondant pas aux tracés. Enfin, les éléments détectés avec les trois sources de lumières sont superposés à cette représentation.

Les résultats des deux techniques présentées ici sont comparés et ne montrent finalement aucune différence dans le niveau de détail des gravures. Les produits sont totalement similaires.

L'algorithme développé par Y. Le Jeune nommé PCSAPS (*Point Cloud Simple Archaeological Process Script*) écrit dans GRASS (un SIG open source) fonctionne exactement selon le même principe. Le nuage de points est directement ouvert dans le SIG, puis converti en MNT. Pour chaque cellule, une moyenne est calculée à partir des cellules voisines. Cette carte est ensuite comparée à l'originale en soustrayant les valeurs d'une carte à l'autre. De cette manière, le relief général de la surface n'existe plus et ce sont bien les variations qui sont mises en évidence. En choisissant un rayon plus ou moins important pour calculer cette moyenne, il est possible de révéler des détails plus ou moins fins (Le Jeune 2014).

7.2.5.2. Le rayon de courbure

D'autres techniques apparaîtront avec le temps. Par exemple, le *maximum curvature colouring* consiste à appliquer un nuancier de couleur allant du rouge vert le bleu en passant par le vert comme valeur nulle pour mettre en évidence les zones ou le maillage est le plus plissé. La donnée qui est ici mise en valeur est le rayon de courbure[1]. Mais finalement ces différentes méthodes ne sont plus comparées et seulement l'intérêt de la numérisation est montré. Il consiste à lire plus facilement les micro-reliefs sur la surface, et ce sans entrer en contact avec celle-ci (Trinks et al. 2005).

7.2.5.3. Utilisation de shaders pour détecter les gravures

Une autre manière de montrer le relief d'une surface est d'appliquer des *shaders*. Les *shaders* sont des programmes informatiques de rendus d'images de synthèse. Ils utilisent les performances de la carte graphique afin de rendre une scène 3D selon des paramètres prédéfinis.

1 Le rayon de courbure indique l'endroit où une courbe s'infléchit et change de direction.

Bien que cela ne soit pas lié directement à l'identification des gravures, toute la branche des rendus expressifs aurait pu trouver une application dans la détection des gravures. En s'appuyant sur des contrastes différents, des morphologies ou des orientations différentes, les objets prennent une apparence qui n'est plus basée sur la simulation physique. Cela permet de discriminer l'information et de faciliter la compréhension (Vergne et al. 2007). Nous retrouvons de nombreux *shaders* dans Meshlab reposant sur cette philosophie et leur utilisation permet parfois d'accéder à des résultats invisibles (Cf. le chapitre [7.2.5.5.]).

Le *shader* présenté par (Rusinkiewicz et al. 2006) a pour objectif d'exagérer les reliefs. La technique repose sur l'accentuation des effets de rupture de pente. Ce sont des techniques plutôt orientées pour la visualisation de terrain, mais applicables à tous les types d'objets 3D. L'avantage est que les talwegs et les crêtes par exemple ressortent parfaitement sous la forme de lignes. De plus, il est possible d'accéder à certains paramètres pour obtenir le rendu souhaité.

Les acquisitions en images ré-éclairables connaissent un réel succès pour la documentation des objets archéologiques. Cependant, des auteurs (Palma et al. 2010) jugent que depuis la création de l'outil, très peu d'améliorations ont été apportées et la marge de progression des résultats est encore importante. La solution proposée consiste à intégrer les capacités du *shader* précédent au sein de RTI afin d'améliorer la *normal map* servant de base à l'éclairage du modèle, et à l'appliquer également sur l'éclairage simulé. De cette manière, les reliefs se distinguent plus précisément. Ces outils ont depuis été intégrés dans *RTI Viewer*.

7.2.5.4. Autres procédures

En 2002, une technique permettant de créer une image à partir de plusieurs ombrages est proposée. Il est constaté que la mise en évidence du relief ne peut être obtenue à partir d'une seule source de lumière, c'est à dire avec un seul ombrage. Les auteurs entendent par ombrage les sur- et sous-expositions, les ombres portées et les zones spéculaires qui distraient le regard. Par conséquent, l'outil propose à l'opérateur de sélectionner les meilleurs paramètres à partir de plusieurs images superposables afin d'obtenir le meilleur résultat possible. L'outil est donc interactif et permet à l'opérateur de construire précisément la représentation correspondant au mieux à son discours (Akers et al. 2002).

Dans le guide des bonnes pratiques délivré par English Heritage en 2011, le cas d'étude n°10 relate l'expérience de la numérisation de la tombe satellite n°14 de Knowth (Irlande). L'acquisition des gravures est l'objectif de la communication, mais la procédure pour détecter les reliefs se contente de jouer avec un ombrage virtuel rasant pour faire ressortir les détails et les protocoles ne sont pas plus détaillés (Mills et Andrew rapport 2011).

De nombreuses publications ont pour objectif de détailler l'acquisition des gravures pariétales. Cependant, après avoir explicité la numérisation des surfaces, le résultat final avec l'analyse projetée sur le maillage est directement communiqué en faisant l'impasse sur la méthodologie. Il semble cependant que la production d'ortho-image soit devenue la norme (Mañana-Borrazás et al. 2009 ; Lerma et al. 2010 ; Gonzalez-Aguilera et al. 2011 ; Azéma et al. 2012).

English Heritage mènera sur trois ans (2004 – 2008) le programme de recherche NADRAP (*Northumberland and Durham Rock Art Project*). Il s'agit d'enregistrer tous les rochers gravés dans les comtés de Northumberland et de Durham, ce qui représente un corpus de 2400 panneaux répartis sur 1500 sites. La photogrammétrie plus que la lasergrammétrie a été mobilisée pour des raisons économiques et d'accès au matériel. Les reconstructions ont été réalisées à l'aide du logiciel PI-3000 de la société Topcon[1], mais devant l'ampleur du projet, il a été décidé de s'appuyer en partie sur le volontariat et les associations s'occupant des sites concernés. L'objectif était aussi de transférer des compétences d'acquisition et de lutter ainsi contre de mauvaises pratiques. La documentation des sites repose sur la production de modèles 3D, des ortho-photographies et des images numériques en perspective. Dans la pratique, les opérateurs volontaires ont été impressionnés par les résultats acquis et la manière dont les détails ressortent une fois la texture enlevée. Cependant, la limite de la démarche est l'absence d'expertise permettant de produire une interprétation des signes relevés (Bryan 2009). Pour mener à bien cette mission, l'expérience de l'équipe australienne a largement servi de support (Chandler et al. 2007). Elle essayait depuis quelques années de mettre au point des procédures d'acquisition accessibles au plus grand nombre de personne. Il faut noter que l'opération est un succès car les bénévoles ont pu participer à l'acquisition et au traitement des données. Des formations concernant l'intégration des différents outils dans un processus de travail et les transferts de compétence avaient été organisées.

Dans le cas des bas-reliefs et des gravures parfaitement visibles du Paléolithique du sud-ouest de la France, la manière de procéder consiste à sélectionner manuellement les contours en fonction de ce qui est perceptible. La recherche du contour précis de la figure ne semble pas être l'objectif du relevé. Cette méthode est utilisée pour la comparaison des formes sculptées (Pinçon et al. 2012) et pour l'établissement d'un SIG 3D dans le cadre du projet de recherche ARTAPOC (dirigé par J. Jaubert – Université de Bordeaux III) (Feruglio et al. 2013). Elle est possible dans une certaine mesure car le relief devient toujours beaucoup plus évident une fois que la texture est enlevée. Cependant, les résultats ne peuvent pas être satisfaisants.

7.2.5.5. Conclusion

Plusieurs manipulations sur les maillages 3D permettent de détecter des micro-variations de reliefs. Malgré les différentes procédures mises en place, certaines sont largement insuffisantes pour qualifier les tracés quand ceux-ci ne sont pas évidents (suppression de la texture et lecture visuelle). Cette lecture peut alors être accompagnée de l'utilisation de *shader*. Les variations de reliefs sont ainsi renforcées et il est plus facile de reconnaître des signes. C'est comme cela que nous avons pu identifier un signe solaire qui nous avait totalement échappé lors de l'acquisition sur la stèle de la Pierre aux Fées à Saint-Micaud en Bourgogne. C'est le *shader radiance scaling* sur Meshlab qui a permis son identification. Enfin, la majorité des traitements pour détecter les motifs consiste à étudier la distance entre un maillage lissé et un maillage haute définition. Il existe plusieurs manières de lisser ce maillage, que ce soit une opération géométrique ou un traitement d'image (floutage de MNT). Chacune de ces techniques porte un nom différent, mais produise finalement le même résultat.

1 http://www.topconpositioning.com/news-events/news/product-news/topcon-pi-3000-image-modeler-software (site consulté le 03/07/2015)

L'avantage de ces traitements est qu'il est extrêmement aisé de produire des images sans perspective, et de bien orienter les surfaces pour ne pas engendrer de déformation sur la forme du motif.

7.2.6. Conclusion

Depuis la fin des années 1990, les procédures de standardisation des relevés de gravure se sont intensifiées. Toutes les techniques reposent désormais sur des moyens optiques (acquisitions photographique, photogrammétrique ou lasergrammétrique). Les procédures mises en place sont nombreuses, mais peu d'entre-elles permettent d'atteindre la définition du relevé telle que nous l'avons expliquée précédemment (Cf. chapitre [7.]).

Malgré toutes ces procédures, peu de travaux ce sont attachés à comparer les résultats obtenus avec chacune de celles-ci. Cependant, la question se pose suite aux expérimentations menées par M. Vourc'h et C. Chaigneau. Une différence notable a été remarquée en confrontant les résultats obtenus avec les cartes des écarts (Cf. le chapitre [7.3.2.]) et la largeur des mêmes tracés mesurés sur site. En conséquence, quelle est la validité des méthodes de détection des tracés en relief ?

7.3. Mise en place de procédures pour détecter les gravures

7.3.1. Introduction

Les investigations menées dans ce travail explorent quatre grandes pistes :

- les cartes des écarts (s'inscrivant dans la famille des procédures de détection par différence entre maillage haute définition et lissé),
- l'occlusion ambiante,
- les *normal maps*,
- et divers *shaders*.

Chacune de ces techniques sera détaillée ci-après avant d'être testée sur des échantillons de gravures, afin de valider leur effectivité.

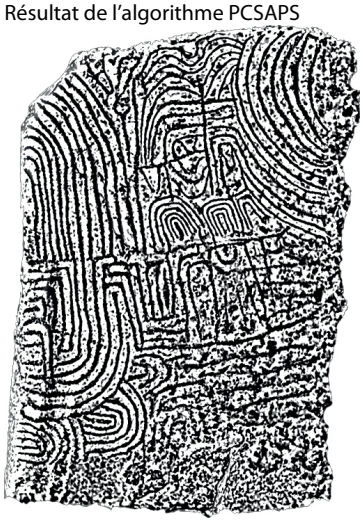
7.3.2. Les cartes des écarts

Les cartes des écarts consistent à visualiser la distance séparant deux maillages. Elles sont très utilisées dans le milieu industriel en rétroconception pour contrôler la conformité d'un prototype à son modèle numérique. Le principe consiste à lisser un modèle géométrique haute définition afin de gommer tous les détails de reliefs. Le résultat de l'opération est alors exprimé sous la forme d'un dégradé de couleur s'étendant du rouge foncé au bleu foncé. Le vert, étant la couleur médiane, correspond à l'endroit où les maillages haute définition et lissé s'intersectent. Les valeurs de couleur chaude permettent de montrer les reliefs en creux car la surface lissée passe dans l'épaisseur de la gravure ; les valeurs de couleur froide et verte permettent donc inversement de ne pas signifier les reliefs en creux.

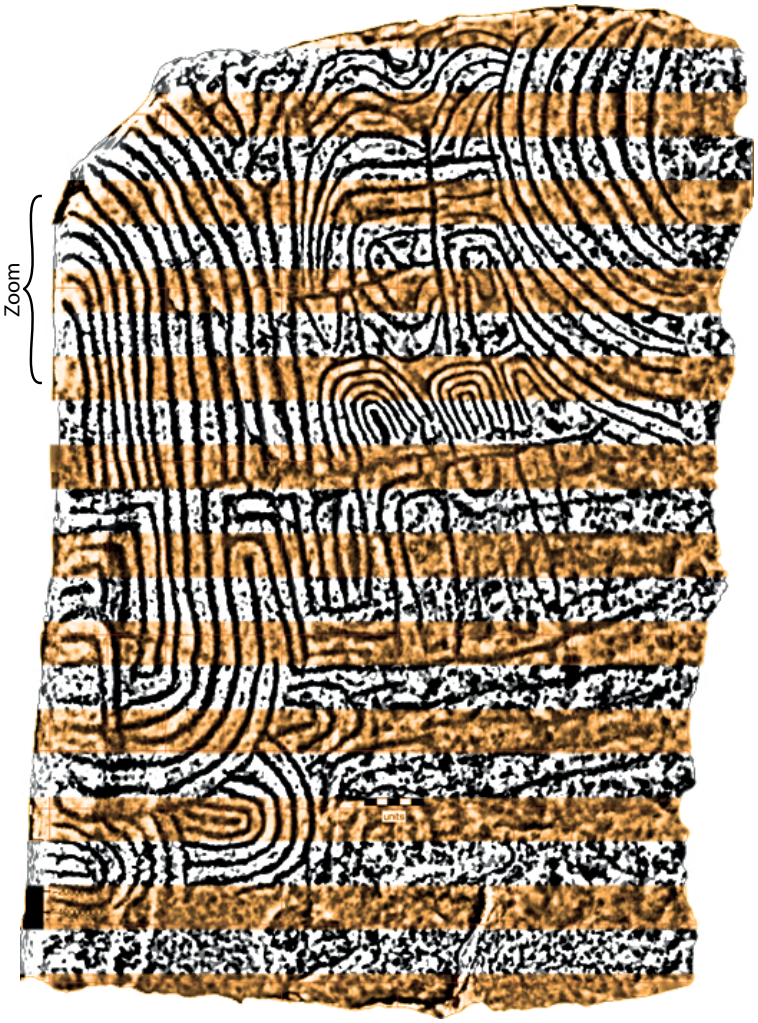
Cette méthode a été appliquée avec le logiciel Geomagic Studio. Plusieurs options de lissage des maillages sont possibles : *smoothness level* ; *strength* ; *curvature priority*. Pour chacun de ces trois paramètres, le curseur peut adopter neuf positions, ce qui permet 729 lissages différents. Il a été remarqué que selon la valeur adoptée, les résultats pouvaient légèrement varier, et avec l'expérience, deux niveaux de lissages en particulier permettaient d'obtenir des résultats significatifs. Il s'agit des valeurs [*smoothness level* = 4 ; *Strength* = 4 ; *Curvature priority* = 0] et de [*smoothness level* = 8 ; *Strength* = 8 ; *Curvature priority* = 0]. Pour ces deux valeurs, trois cartes sont produites avec pour variante le nombre



Résultat de l'algorithme PCSAPS



Résultat de la carte des écarts



Comparaison entre les deux techniques



Zoom sur la comparaison entre les deux techniques

42. Comparaison ente la technique de détection PCSAPS et la carte des écarts

de couleur composant le dégradé (15, puis 49 teintes), et enfin en modifiant les valeurs de l'échelle du dernier dégradé (échelle divisées par deux).

Afin de faciliter la lecture de l'ensemble de ces résultats, les dégradés de couleurs sont convertis en cartes en noir et blanc dans Adobe Photoshop grâce au calque de réglage « teinte / saturation ». Les couleurs sont réglées selon le canal (rouge, jaune, vert cyan, bleu et magenta). De cette manière, il est possible de convertir l'image en jouant sur chacun des paramètres : les rouges et les jaunes sont transformés en noir ; toutes les autres couleurs en blanc. Cette représentation binaire permet ainsi de faire ressortir précisément ce qui a été détecté comme relief significatif selon le paramètre utilisé dans Geomagic Studio.

Ensuite, elles sont superposées dans Adobe Illustrator et vectorisées selon le paramètre prédéfini « dessin technique ». Une représentation du maillage en arrière-plan avec un ombrage selon les normales (c'est-à-dire sans texture) permet de mettre en évidence la relation entre la gravure et le relief de son support.

Ces six images sont ensuite superposées dans Adobe Illustrator, puis vectorisées (vectorisation de type « dessin technique »). Un tracé vectoriel est défini à partir de la frontière entre les zones franchement blanches et celles qui sont noires. Il a été remarqué que l'utilisation de plusieurs valeurs permettait d'obtenir des nuances dans la détection des gravures. De plus, certains paramètres détectent des reliefs, et d'autres non. Les modelés mis en avant par une minorité de réglages peuvent a priori être systématiquement exclus de la synthèse. Ce résultat permet donc une première lecture de la composition de la stèle et peut servir d'aide à une analyse plus avancée de la composition des stèles.

Il a été possible lors de cette étude de comparer sur le même jeu de données (orthostate C4 de Gavrinis) les résultats obtenus avec la méthode décrite précédemment et l'algorithme PCSAPS développé par Y. Lejeune dans le logiciel SIG GRASS. L'algorithme a été écrit afin de détecter des variations de reliefs dans des données acquises en LIDAR. Le principe consiste à utiliser directement le nuage de points et à calculer une moyenne à partir des valeurs altimétriques d'une cellule selon les valeurs contenues dans celles situées dans un rayon défini (Le Jeune 2014). Cette approche revient finalement à lisser le maillage, d'une manière similaire à celle proposée par J.H. Chandler dès 2005 (Chandler et Fryer 2005). Il est intéressant de constater que les résultats – malgré le fait que la représentation des données ne soit pas identique – convergent vers le même tracé détecté. La convergence des résultats obtenus avec les méthodes numériques de détection des gravures peut s'expliquer par le fait que la même information est enregistrée à chaque fois. L'expérimentation mise en place et décrite ci-après permet de conclure que c'est le point d'inflexion de la courbe qui est enregistré (Cf. figure 42).

7.3.3. L'occlusion ambiante

L'occlusion ambiante est une technique initialement utilisée dans le monde du *computer graphic* pour créer des images photoréalistes. Cela consiste à simuler l'assombrissement des zones difficiles d'accès à la lumière. Concrètement, plus l'angle entre deux faces est faible, moins il y aura de lumière. Cette information est retranscrite alors en niveau de gris.

Dans Meshlab, l'occlusion ambiante est calculée en plusieurs étapes. Dans un premier temps, plusieurs caméras (128 par défaut) sont distribuées uniformément tout autour de l'objet. Ensuite, la visibilité des sommets ou des faces (selon l'option choisie) est déterminée depuis chacune des caméras. Enfin, ces occurrences sont représentées sous la forme de nuances de gris.

> *Compute ambient occlusion values ; it takes a number or well distributed view direction of the surface it computes how many times it is visible from these directions. This number is saved into quality and automatically mapped into a gray shade. The average direction is saved into an attribute named « BentNormal ».*
>
> *Description de l'outil Ambient occlusion dans Meshlab*

De cette manière, un creux génère une visibilité plus ou moins importante du fond de la gravure, ce qui donne une valeur plus sombre que le sommet. Il faut également noter que tous les reliefs ne sont pas pris en compte de la même manière. Si un relief n'est pas constitué de deux bords parallèles, la rupture de relief sera un assombrissement en dégradé de gris et cela ne sera pas lu comme une gravure.

En revanche, dès que deux ruptures parallèles apparaissent, le modelé engendre une visibilité du fond de la vallée amoindrie et constante. Le résultat permettra de lire alors aisément ce qui peut être considéré comme une gravure.

Le résultat de l'occlusion ambiante calculé dans Meshlab est stocké au niveau de chaque sommet ou face du maillage. Une correction colorimétrique peut être appliquée afin de rendre les variations plus facilement perceptibles grâce à la boîte de dialogue *Quality mapper* de ce même logiciel. Un histogramme permet de visualiser la répartition des valeurs et d'ajuster les réglages. L'occlusion ambiante transcrit les valeurs en nuances de gris. Pour faciliter la lecture, il est également possible d'appliquer un filtre pour convertir ces nuances en RVB.

Nous pouvons supposer que cette façon de calculer l'occlusion ambiante est finalement très proche dans le principe d'un éclairage rasant – les caméras faisant office de sources lumineuses, et le résultat en nuance de gris étant la synthèse de tous les éclairages. La seule différence réside dans le fait que tous les points de vue sont indistinctement mobilisés, ce qui peut nuire à la qualité des résultats.

7.3.4. Les *normal maps*

Il existe un *shader* dans Meshlab nommé *normal map* qui reprend un principe développé dans l'industrie du jeu vidéo. Il s'agit de retranscrire sous la forme d'un code couleur l'orientation des faces. Ce code est une transcription en rouge, vert et bleu des axes x, y et z.

Dans cette industrie, la *normal map* est produite de manière à simuler les détails d'un modèle haute définition pour les retranscrire visuellement sur un modèle en basse définition, conforme aux exigences d'une exploitation en temps réel. La *normal map* est donc calculée « en local » pour établir un rapport entre le modèle haute et basse résolution. Pour chaque pixel de la texture du modèle basse

/// Principe de création d'une *normal map* pour simuler des détails sur un maillage basse définition

Une surface basse définition est créée à partir d'un modèle haute définition. Sur ce modèle basse définition, une texture est calculée de manière à décrire au mieux le relief, avec le minimum de distorsion possible (dépliage d'UV). Chaque pixel de cette texture s'appelle désormais un texel, puisqu'il possède une dimension , il recouvre une petite surface du modèle 3D (a).

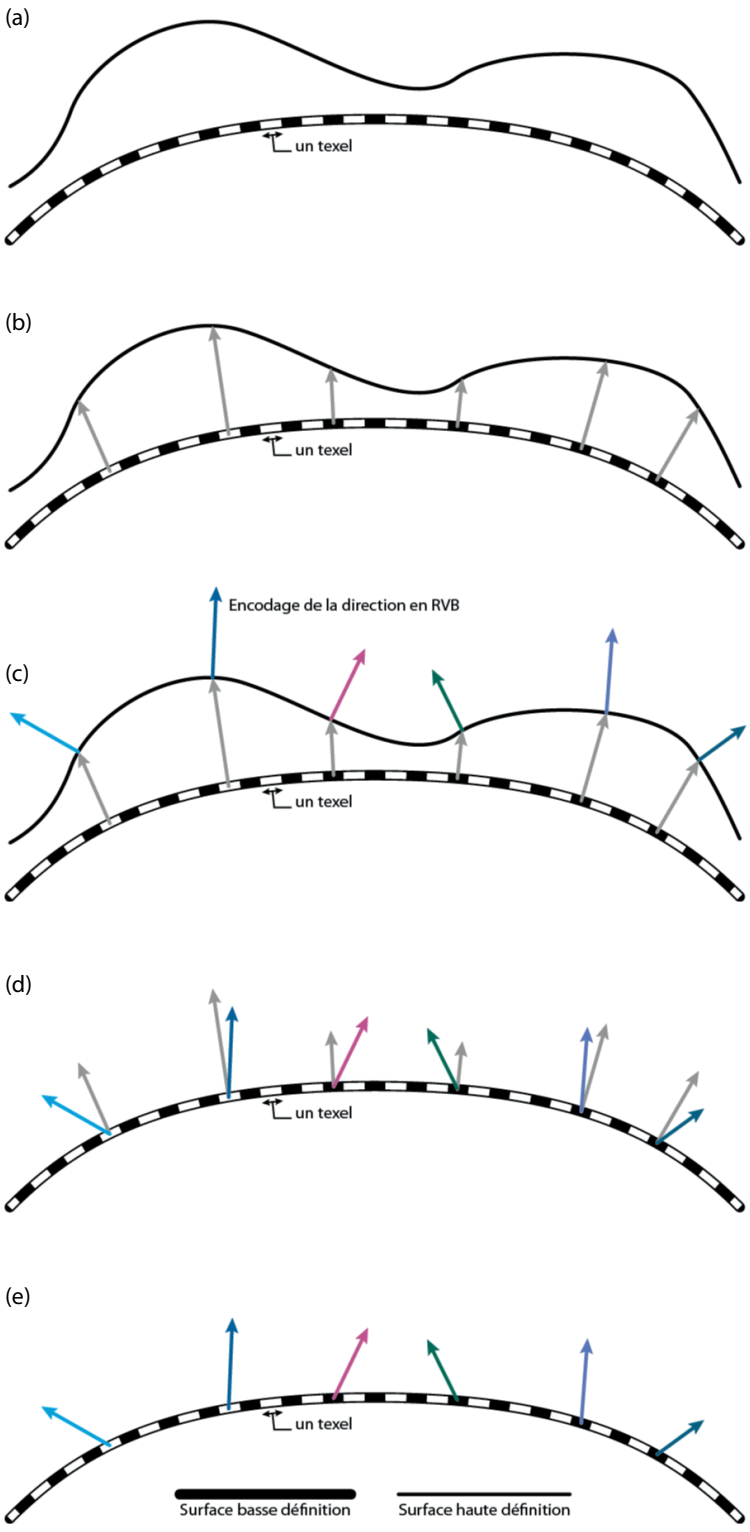
A partir de chacun de ces texels, un vecteur normal à la surface est calculé. La projection de ces texels sur la surface haute définition permet de définir la relation entre ces deux maillages (b).

Sur le modèle haute définition, un nouveau vecteur normal sera calculé à partir de chaque projection précédemment calculée. L'orientation de ce nouveau vecteur par rapport au premier sera codé en rouge, vert, bleu selon les axes x, y, z du repère local qui correspond aux coordonnées de textures u, v, w (c).



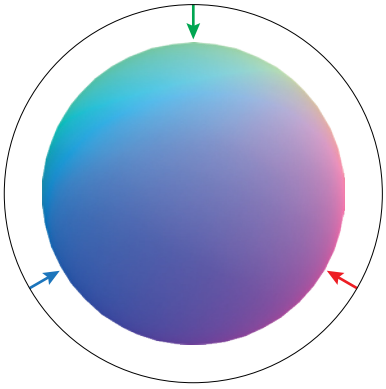
Le code couleur de ces vecteurs de seconde génération sont maintenant plaqué sur le modèle basse définition et la texture est créée. La surface haute définition n'est plus nécessaire désormais (d).

Enfin, la normal map peut être utilisée pour simuler l'incidence de la lumière du modèle haute définition sur le modèle basse définition (e). D'autres textures, possédant d'autres propriétés et partageant les mêmes coordonnées peuvent être mobilisées pour rendre le modèle basse défintion aussi convaincant que l'original.

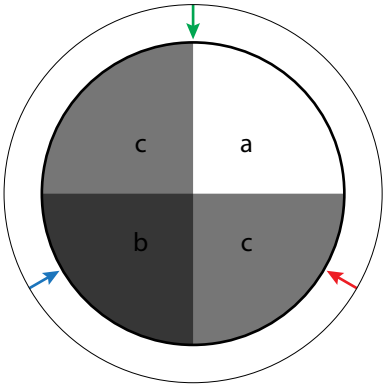


43. Principe de fonctionnement d'une *normal map*

[Décryptage du *shader normal map* appliqué sur une sphère dans Meshlab]



Produit brut du
shader normal map



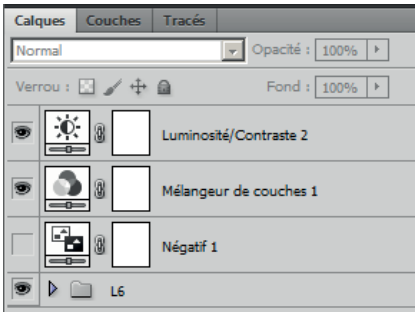
Synthèse de la zone explorable

a/ secteur explorable
en modifiant les curseur

b/ secteur explorable en
utilisant un calque de
réglage « négatif »

c/ secteur nécessitant une
autre normal map (rotation
de 90°)

[Composition du fichier Adobe Photoshop]



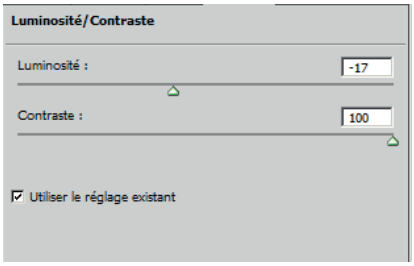
1/ Réglage de la latitude de la lumière

2/ Réglage de la longitude de la lumière

3/ Exploration alternative des secteurs a et b (ci-dessus)

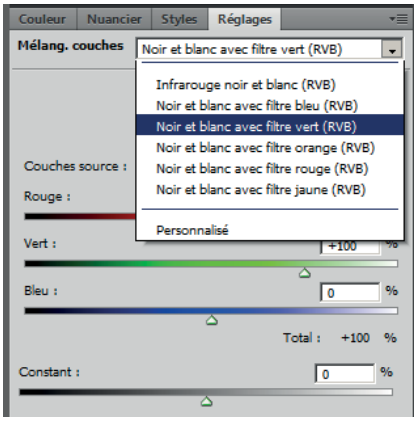
4/ Groupe contenant l'image *normal map* et le témoin

[1/ Réglage de la latitude de la lumière]



N'intervenir que sur la luminosité :
Si la luminosité est égale à -100, la latitude est proche de -90°
Si la luminosité est égale à 0, la latitude est de 0°
Si la luminosité est égale à 100, la latitude est proche de 90°

[2/ Réglage de la longitude de la lumière]



Choisir le pré-réglage N&B avec filtre vert (RVB),
et jouer avec les curseurs rouge et vert. La somme
des deux doit toujours être égale à 100

44. Mise en place de l'éclairage virtuel tournant

définition, sa projection normale sur le modèle en haute définition est calculée, l'orientation de la face est transcrite en vecteur, puis codée en RVB (Cf. figure 43).

Ce principe de transcription en RVB d'un vecteur normal est repris ici. Cette fois-ci, la *normal map* n'est pas calculée en local, mais de manière relative à la caméra, et les vecteurs sont organisés différemment. Les trois couleurs pointent dans la même direction, et un angle de 120° séparant les trois vecteurs (Cf. figure 44). De cette manière, la moindre variation d'orientation de chaque face est transcrite à travers ce code couleur. Ce sont tous ces micro-changements de couleur qui vont être exploités lors de la procédure suivante.

Le maillage haute définition est rendu dans Meshlab avec le *shader normal map*, puis retravaillé dans Adobe Photoshop. La sphère témoin de la distribution des couleurs de la *normal map* est insérée afin de contrôler l'incidence de la « lumière » sur le modèle. Ces deux calques sont assemblés dans un groupe, puis les trois calques de réglages « négatif », « mélangeur de couches » et « luminosité / contraste » sont superposés exactement dans cet ordre.

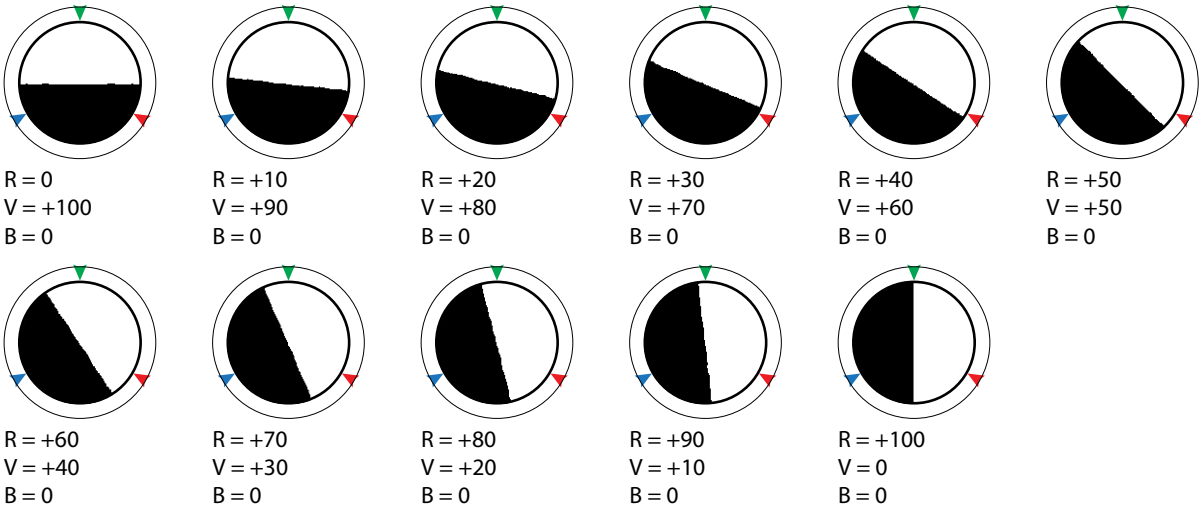
Le calque « luminosité / contraste » admet une variation en latitude de la source lumineuse. Le réglage dans la boîte de dialogue autorise un déplacement vertical de la lumière entre les valeurs -100 et +100. Comme l'échantillon (Cf. figure 45) l'indique,

- un réglage à -100 permet de placer la lumière quasiment au nadir : presque toute la surface de la sphère est dans l'ombre ;
- un réglage à +100 permet de placer la lumière quasiment au zénith : presque toute la surface de la sphère est éclairée ;
- un réglage à 0 permet de placer la lumière exactement dans le plan de l'écliptique : exactement la moitié de la surface est éclairée, l'autre étant dans l'ombre.

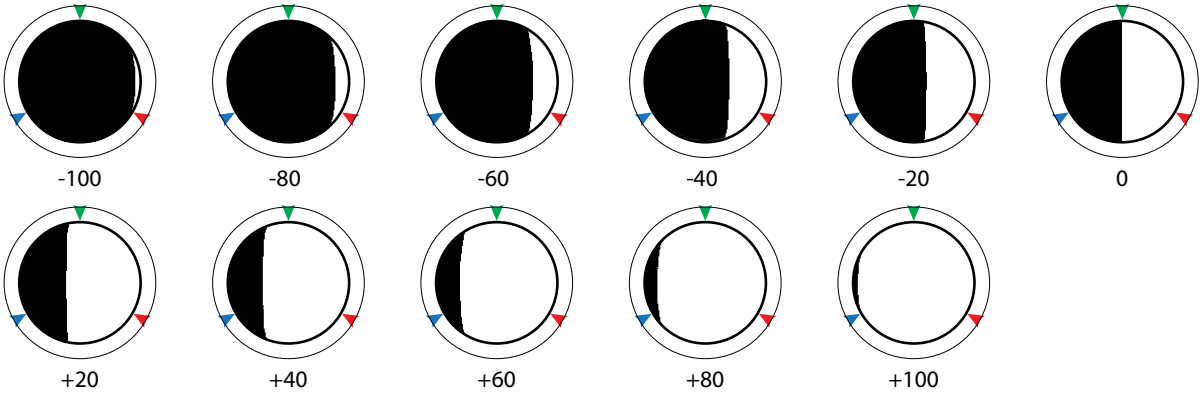
Le calque « mélangeur de couches » autorise un déplacement de la source lumineuse en longitude. Après avoir choisi le paramètre par défaut « noir et blanc avec filtre vert », l'intervention sur les canaux rouge et vert autorise un déplacement de la lumière dans le plan horizontal. Il faut veiller à ce que la somme de ces deux canaux soit toujours égale à 100. Comme l'échantillon (Cf. figure 45) permet de l'observer, le déplacement est possible dans un champ de 90° – dans ce cas, il s'agit du secteur *a* de la sphère. L'utilisation du calque négatif à la racine de cette pile de calque autorise l'exploration les 90° opposés – le secteur *b* en l'occurrence. L'utilisation de ce calque de réglage juste au-dessus de la *normal map* ne produit pas le négatif de l'ombrage, mais simule bien une source lumineuse opposée. De cette manière, la surface peut être explorée sur 180°. Les deux secteurs *c* sont inatteignables avec cette seule *normal map*. Pour y parvenir, la production d'une seconde image pivotée de 90° dans Meshlab et se superposant parfaitement à la première permet de contourner le problème.

Puisqu'il est possible de détecter avec cette méthode toutes les micro-variations d'orientation des facettes, il est indispensable de travailler sur des maillages de très haute densité. La quantité et la qualité des informations pouvant être extraites dépend de cette première source de données. Si les

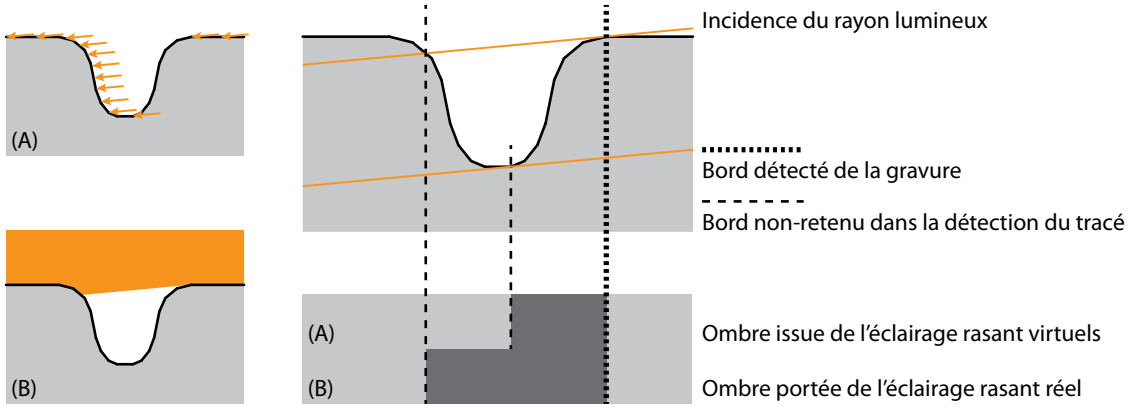
[Variation de la position de la source lumineuse selon la longitude]



[Variation de la position de la source lumineuse selon la latitude]



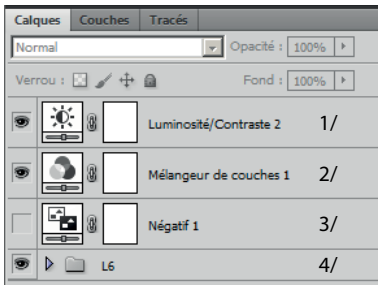
[Différence entre les ombres avec éclairages rasants réels et éclairages rasants virtuels]



45. Paramétrage de l'éclairage virtuel tournant dans Adobe Photoshop

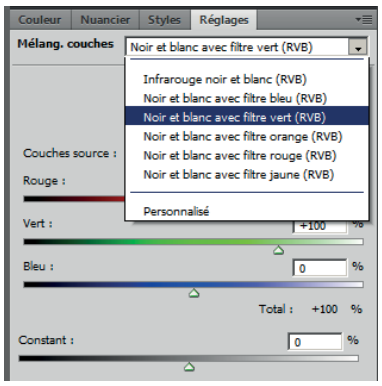


Composition du fichier



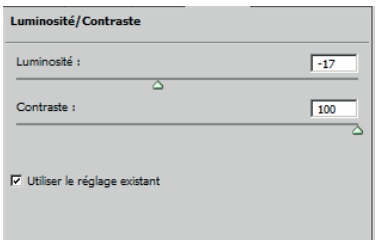
1/ permet de régler l'azimuth de la lumière
2/ permet de régler l'orientation de la lumière (sur 180°)
3/ permet d'explorer les autres 180°
4/ groupe contenant l'image normal map et le témoin

2/ Mélangeur de couches



Choisir entre les réglages prédéfinis :
- N&B avec filtre vert (RVB)
- N&B avec filtre orange (RVB)
- N&B avec filtre rouge (RVB)
- N&B avec filtre jaune (RVB)

1/ Luminosité / contraste



N'intervenir que sur la luminosité :
Si la luminosité est égale à -100, l'azimuth est proche de -90°
Si la luminosité est égale à 0, l'azimuth est de 0°
Si la luminosité est égale à 100, l'azimuth est proche de 90°

46. Application de l'éclairage virtuel rasant dans Adobe Photoshop

mailles sont trop grossières par rapport à la dimension de la gravure, celle-ci ressortira à peine et l'information, même si elle peut être lue, ne fournira que des contours imprécis.

Ce document source est converti en image 2D. Sa production doit également répondre à des exigences de qualité pour assurer le moins de perte d'information possible. En l'occurrence, il faut veiller à produire un document orthonormé (sans perspective) et permettant de bien décrire les tracés avec une vue la plus perpendiculaire à l'objet à décrire. Ce choix est important car elle sera utilisée du début à la fin. Enfin, la taille de l'image doit être suffisamment grande pour que les détails ne soient pas représentés par seulement quelques pixels. Ce document doit permettre de zoomer confortablement et d'assurer une bonne qualité de visualisation.

L'enjeu est de trouver une relation satisfaisante entre la quantité d'informations contenue dans le maillage et sa représentation 2D.

Ces éclairages rasants virtuels seuls ne sont pas suffisants pour travailler confortablement car sur les compositions complexes de motifs comme à Gavrinis, il peut être très facile de confondre le sommet, du fond de la gravure. Il faut à ce titre remarquer que contrairement aux images ré-éclairables, les éclairages rasants virtuels ne projettent pas d'ombre ; seules les faces qui ne sont pas orientées vers la lumière sont dans l'ombre (Cf. figure 46).

Pour faciliter la lecture de la surface, les lumières rasantes virtuelles peuvent être superposés à une représentation photoréaliste et en occlusion ambiante. En jouant avec les modes de fusion (principalement produit, obscurcir ou incrustation) et les transparences, les zones sombres de l'occlusion ambiante vont mettre en évidence le relief et les tracés. De cette manière, il est beaucoup plus aisé de distinguer le sommet du fond de la gravure.

Cette image pourra finalement être exportée vers Adobe Illustrator pour effectuer la synthèse des tracés, selon le même procédé que celui utilisé pour les éclairages rasants réels.

7.3.5. Autres *shaders*

Trois *shaders* présents dans Meshlab ont été particulièrement expérimentés au cours de ce travail.

Le *shader minnaert* simule un éclairage zénithal et il est possible de paramétrer le *fallof* de l'ombrage. Concrètement, il détermine l'angle de la normale de chaque facette du maillage par rapport à l'angle de visée de la caméra, et attribue un ombrage plus ou moins élevé par rapport à cette valeur. Il est possible de changer cette dernière à l'aide d'un curseur. Comme il n'est pas possible de changer l'incidence des rayons lumineux par rapport à la surface, ce *shader* trouve rapidement ses limites.

Le *shader lattice* permet de simuler le déplacement d'une source de lumière en entrant des « coordonnées ». En opérant ainsi, il est possible d'explorer la surface assez précisément. Cependant, le *shader* simule deux sources de lumière parfaitement opposées. Il n'y a que la frontière entre ces deux zones éclairées qui est dans l'ombre, et un dégradé assez large fait la transition. De cette manière, le contour n'est pas franc et le *shader* ne peut être considéré que comme une aide à la lecture. De plus,

il est difficile de positionner la source lumineuse telle que l'opérateur le souhaiterait car les trois paramètres n'influent pas la position de la source lumineuse de manière proportionnelle. En somme, il manque une interface graphique afin d'exploiter pleinement les potentialités de ce *shader*.

Enfin, le *shader radiance scaling* explicite les reliefs en s'appuyant à la fois sur le rayon de courbure et les caractéristiques du matériau dans sa version initiale (Vergne et al. 2011). Il faut préciser que le second facteur n'a pas pu être utilisé dans Meshalb. Ce shader possède quatre sous-paramètres. Le premier d'entre-eux, appelé *Lambertian Radiance Scaling*, affiche le résultat en niveau de gris. Il accentue en blanc les zones où le rayon de courbure est plus important et propose un ombrage dans les zones où les parois sont les plus verticales. Le deuxième, *grey descriptor*, fonctionne comme le premier, l'ombrage en moins. Le résultat est d'un gris uniforme, seules les crêtes sont mises en évidence en blanc. Le troisième mode, *colored descriptor*, transforme en bleu les zones où le rayon de courbure est élevé, en rouge le reste. Le quatrième et dernier mode, *lit sphere radiance scaling*, utilise deux *lit spheres* afin d'afficher différemment les zones concaves et convexes. Le mode d'affichage (affichage plat ou lissé) du maillage impacte la détection du rayon de courbure et donc le résultat final. Concrètement, si le mode d'affiche plat est activé, les arêtes du maillage seront visibles. Il faut noter également que le degré de détection varie en fonction du zoom ou de la taille de l'image exportée. Si les résultats peuvent être très convaincants à l'affichage, il est difficile d'utiliser ce *shader* pour une description géométrale des surfaces.

Finalement, il a été jugé que ces *shaders* étaient soit moins précis que les méthodes décrites précédemment, soit trop dépendants du niveau de zoom pour pouvoir être utilisés dans une logique de normalisation des représentations des gravures. Leur utilisation reste donc limitée à une exploration en temps réel des surfaces plutôt qu'à une documentation statique.

7.4. Mise en place et application d'un protocole pour éprouver les différentes techniques

7.4.1. Définition du protocole

Après avoir établi différents procédés permettant de détecter les gravures, nous allons tester leur efficacité et déterminer quelle est l'information délivrée par chacun d'entre eux. Pour cela, un catalogue de profil de gravure sera constitué à partir du même cadre, puis les largeurs de tracés détectés seront comparées entre elles.

7.4.1.1. Établissement d'un catalogue d'échantillon de gravure

Le protocole consiste à appliquer les différentes techniques évoquées ci-dessus sur un panel d'échantillon de profil aussi exhaustif que possible. Pour cela, les profils seront créés à partir d'une même structure cadre en jouant sur trois paramètres :

1. le ratio entre la largeur et la profondeur du profil ; la dureté du matériau ou la force de la percussion va générer des tracés plus ou moins profonds.
2. le degré d'arrondissement du relief ; l'érosion des surfaces – quels que soient les agents – vont avoir tendance à émousser les arrêtes des gravures. Mais ce n'est pas le seul facteur : selon la nature du percuteur et son impact, le matériau peut avoir une tenue plus ou moins ferme, des éclats de roche peuvent partir.
3. la « trapézéification » du profil ; ce paramètre permet de générer des gravures aux parois plus ou moins abruptes. La partie supérieure du profil ne change pas ; c'est la partie inférieure qui va être de plus en plus « pincée ». C'est ainsi une manière de simuler la trace de l'outil utilisé. Les instruments lithiques vont générer des profils beaucoup plus évasés qu'avec les percuteurs métalliques.

Ces trois paramètres sont appliqués avec un pas de 20 %. De cette manière, nous obtenons cinq ratios entre la profondeur et la largeur des gravures et cinq trapézéifications (100 %, 80 %, 60 %, 40 % et 20%). Pour l'arrondissement des profils, le cadre angulaire qui sert de structure est divisé en deux, trois et quatre segments pour obtenir trois différents degrés d'érosion du profil. Enfin, chaque profil est maillé avec la même résolution de manière à pouvoir comparer les résultats. De cette façon, les différentes techniques de détection de gravures vont pouvoir être testées sur soixante-quinze profils uniques. Ces profils sont regroupés dans le catalogue (Cf. figure 145) de la manière suivante :

- La profondeur des gravures varie toutes les trois lignes. De cette manière,

  les lignes 1, 2 et 3 ont un ratio profondeur / largeur = 100 %
  les lignes 4, 5 et 6 ont un ratio profondeur / largeur = 80 %
  les lignes 7, 8 et 9 ont un ratio profondeur / largeur = 60 %
  les lignes 10, 11 et 12 ont un ratio profondeur / largeur = 40 %
  les lignes 13, 14 et 15 ont un ratio profondeur / largeur = 20 %

- Dans ce groupe de trois lignes, le degré d'arrondissement va varier de deux à quatre. Ainsi…

  … les lignes 1, 4, 7, 10 et 13 présentent un arrondissement de degré 4.
  … les lignes 2, 5, 8, 11 et 14 présentent un arrondissement de degré 3.
  … les lignes 3, 6, 9, 12 et 15 présentent un arrondissement de degré 2.

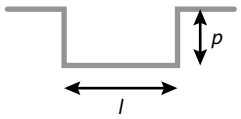
- Enfin, la trapézéification affecte les profils selon les colonnes. La première du catalogue présente un profil aux parois parfaitement verticales – seul l'arrondissement des profils affecte la verticalité. Le ratio profondeur / largeur est alors de 100 %. Plus le regard glisse vers la colonne de gauche, plus le fond de la gravure sera pincé.

7.4.1.2. Limites et remarques diverses concernant la méthodologie mise en œuvre

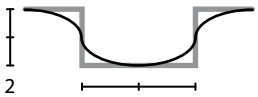
Ce catalogue de soixante-quinze profils de gravure permet de tester une grande variété de morphologie de relief et détermine ce que chaque méthode permet de détecter. La position de la surface par rapport au point de vue est toujours identique ce qui permet bien entendu de comparer les résultats entre eux.

/// Détections numériques des gravures de la ligne 3 du catalogue

[Caractéristiques des gravures]



Ratio (profondeur / largeur) = 100 %
Ratio (largeur / profondeur) = 100 %



Le degré d'arrondissement du profil est déterminé par le nombre de segments nécessaires pour appuyer les chanfreins.



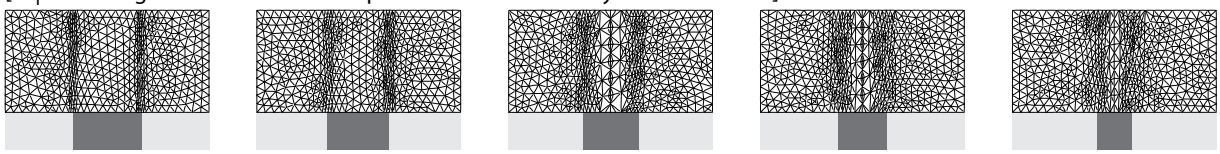
Le dernier paramètre concerne la «trapézéification» du profil de la gravure. Le degré de pincement est indiqué en pourcentage sous chacun des profil suivant.

[A | Le profil de la gravure avec son rayon de courbure correspondant]

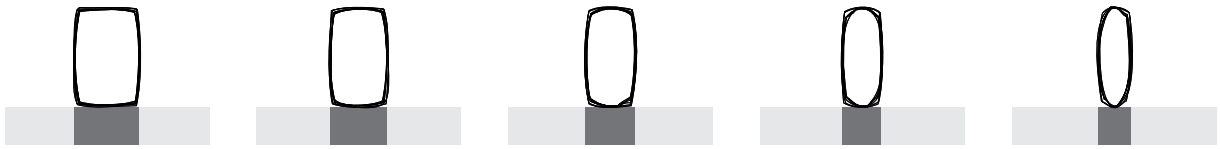


Trapézéification : 0% | Trapézéification : 20% | Trapézéification : 40% | Trapézéification : 60% | Trapézéification : 80%

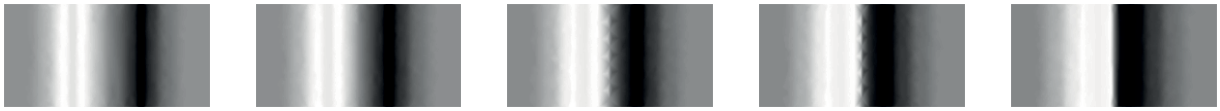
[B | Le maillage de l'échantillon et report de l'inversion du rayon de courbure]



[C | Carte des écarts - les différents réglages et la synthèse du procédé]



[D | Normal map - niveau de gris]



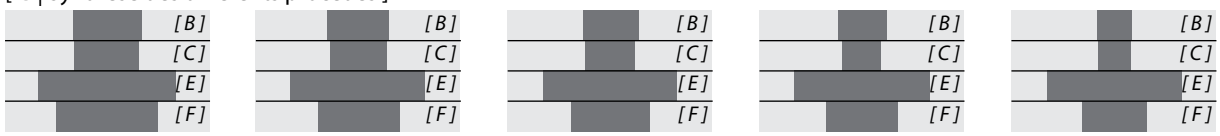
[E | Normal map - les éclairages rasants virtuels et la synthèse du procédé]



[F | Occlusion ambiante - le résultat et la synthèse du procédé]



[G | Synthèse des différents procédés]



47. Application des différentes méthodes de détection de gravure sur une ligne du catalogue des profils

Cependant, cette configuration idéale est rarement atteinte lors de l'application de ces méthodes sur les objets enregistrés. Bien que l'objet soit décrit de manière à éviter au maximum les déformations de surface, les gravures sont rarement parfaitement normales au point de vue, et les résultats obtenus peuvent alors être biaisés.

De plus, les échantillons de profils sont parfaitement symétriques, alors que les coupes réalisées sur les gravures ne le sont jamais. Il est intéressant de noter que le profil peut varier sur la même gravure (Cf. figure 40).

Ces échantillons ont été maillés de manière uniforme également dans un objectif de comparaison des résultats. La résolution choisie est similaire à celle que nous obtenons habituellement lors de nos derniers enregistrements photogrammétriques.

7.4.1.3. Constitution des fiches tests

Chaque ligne du catalogue ainsi constitué est reprise pour appliquer les différentes méthodes et apporter des informations complémentaires.

- La ligne A reprend justement le profil analysé et le rayon de courbure y est superposé. L'information principale est d'identifier où le changement du rayon de courbure se réalise. Cette donnée est reportée sur la ligne B.
- La ligne B est une image du maillage qui sert de test. Cette ligne est importante car la qualité du maillage peut influencer les résultats obtenus.
- La ligne C est le résultat obtenu avec la carte des écarts, et un tracé synthétique est défini.
- La ligne D est une image de la *normal map* convertie en niveau de gris.
- La ligne E illustre les tracés obtenus avec un éclairage rasant virtuel suite au traitement Photoshop de la *normal map*, et un tracé synthétique est défini.
- La ligne F est une synthèse des traitements en occlusion ambiante, et un tracé synthétique est défini.
- La ligne G reprend tous les tracés obtenus avec les traitements A (transposés en B), C, E et F.

7.4.1.4. Synthèse des résultats

Tous les échantillons de gravures sont représentés exactement à la même échelle, ce qui permet une comparaison quantitative de l'ensemble des techniques, avant de procédé à une synthèse qualitative. Dans un tableur est reportée la largeur des tracés de chacune des gravures issues du relevé selon les méthodes...

... du rayon de courbure (ligne B).
... de la carte des écarts (ligne C).
... de l'éclairage virtuel rasant (ligne E).
... de l'occlusion ambiante ligne F).

À l'issue de cette étape, des graphiques sont créés pour visualiser :

1. les résultats obtenus avec chacune des techniques à travers la trapézéification des profils ;
2. l'impact du degré d'arrondissement au sommet de la gravure ;
3. l'impact de la profondeur du profil sur la détection du tracé ;
4. la moyenne des largeurs de tracés obtenus pour chaque technique selon le degré de trapézéification.

7.4.2. Description des résultats obtenus

7.4.2.1. Analyse selon les facteurs de génération des profils

Tous les tableaux de mesure et de synthèse des résultats sont placés en annexe.

Selon le degré de trapézéification :

Dans un premier temps, nous remarquerons que le rayon de courbure [B] et la carte des écarts [C] présentent le même comportement à travers le prisme de la trapézéification. Pour chaque degré de trapézéification, les mesures sont quasiment identiques, quelle que soit la ligne. De plus, plus la transformation est importante, plus le tracé détecté est étroit.

L'occlusion ambiante [F] ne produit pas cet effet de palier. Les mesures semblent régulières de la première à la dernière ligne, avec une légère tendance à la décroissance quand la transformation est importante. Aussi remarquerons-nous que les mesures sont plus irrégulières lorsque le profil n'est pas du tout trapézéifié, et qu'un motif revient toutes les trois lignes – ce qui correspond à un changement de profil : l'arrondissement du profil revient effectivement toutes les trois lignes.

Enfin, le motif que nous trouvions récurrent avec l'occlusion ambiante [F] se retrouve avec l'éclairage rasant virtuel [E]. Mais la différence réside dans le fait que l'effet se produit de manière identique de la première à la dernière ligne, et que hormis ce motif, il n'y a pas de variation d'intensité dans les mesures.

Selon l'arrondissement du profil :

Ici, nous lirons les mesures par groupe de trois lignes. C'est-à-dire que les paramètres profondeurs et trapézéification ne changent pas pour les lignes (1-2-3), (4-5-6), (7-8-9), (10-11-12), (13-14-15). Seul l'arrondissement du profil varie.

Les graphiques sont réalisés de manière à regrouper les profils possédant le ratio profondeur / largeur identique. Ainsi seul le degré d'arrondissement varie-t-il.

D'une manière générale, chaque technique produit un résultat identique de la ligne numéro un à la ligne numéro quinze, à savoir que :

- le rayon de courbure [B] et la carte des écarts [C] se comportent identiquement : les tracés sont globalement constants. Cependant, plus le tracé est transformé, plus le tracé est étroit.
- l'occlusion ambiante [F] produit des tracés de plus en plus larges quand le profil est de plus en plus arrondi, mais cette tendance devient confuse quand le profil est peu profond.
- l'éclairage rasant virtuel [E] présente comme l'occlusion ambiante [F] des résultats de plus en plus larges quand le profil est de plus en plus arrondi, et ce dans des proportions plus importantes qu'avec l'occlusion ambiante. Cela a malgré tout tendance à s'atténuer quand les profils sont de moins en moins profonds, mais pas au point de rendre le résultat confus.

Selon l'écrasement du profil

Les résultats sont maintenant regroupés par degré d'arrondissement des profils, et seul le ratio largeur / profondeur varie.

Encore une fois, le rayon de courbure [B] et la carte des écarts [C] présentent des résultats tout à fait similaires. Les résultats ne varient pas, même si le profil est très aplati, mais les tracés en « U » sont bien plus larges que les tracés en « V ».

L'occlusion ambiante [F] produit des résultats globalement constants, c'est-à-dire peu sujet à cette modification du ratio largeur / profondeur, bien que du bruit de mesure peut apparaître quand les tracés sont très arrondis. En revanche, la largeur de tracé, varie selon le degré d'arrondissement. Si les tracés peuvent présenter peu de différence quand ils sont peu arrondis, les mesures s'éloignent de plus en plus quand les profils s'arrondissent.

L'éclairage rasant [E] permet de détecter des tracés de la même longueur quel que soit le degré de trapézéification. Seul le degré d'arrondissement du profil influe sur la mesure. Cependant, la transformation du profil en trapèze réduit la largeur du tracé. Il faut noter aussi que plus l'arrondi est large (degré 2), plus le tracé mesuré est large. Ceci s'explique par le fait que plus le profil est écrasé, plus le bord détecté « glisse » vers l'intérieur de la gravure.

Première conclusion

Nous avons déjà pu observer :

1. qu'il existe un lien étroit entre les tracés mis en évidence avec le rayon de courbure [B] et la carte des écarts [C].
2. que le rayon de courbure [B] et la carte des écarts [C] produisent les tracés les plus étroits car la détection s'appuie au point d'inflexion, c'est-à-dire à peu près à mi-hauteur du profil dans la gravure dans ces échantillons symétriques.
3. que les éclairages rasants virtuels [E] permettent de détecter les tracés les plus larges

car ils mettent en évidence l'endroit où la surface commence à s'infléchir pour former la gravure.

4. que l'occlusion ambiante [F] permet de détecter des tracés plus larges qu'avec la carte des écarts, mais pas autant qu'avec les éclairages rasants, et que cette largeur est dépendante du profil de la gravure.

7.4.2.2. Moyenne des largeurs de tracé obtenue selon chaque technique

La moyenne des mesures, technique par technique, a été produite en mettant en avant l'impact du degré de trapézéification ; de cette manière, la profondeur de la gravure et l'arrondissement du profil n'influent pas sur cette interprétation. Ce graphique confirme les observations déjà réalisées.

Il s'avère que les résultats obtenus en **rayon de courbure** et en **carte des écarts** sont extrêmement similaires. Les courbes se comportent de la même manière, et plus le profil se trapézéifie, plus la gravure détectée est étroite : entre une trapézéification de 0 % et 80 %, la gravure détectée est presque deux fois plus étroite. **L'occlusion ambiante** quant à elle se situe entre les deux. Entre une trapézéification de 0 % et 80 %, le tracé a perdu 1/4 de sa largeur. En revanche, ce n'est pas le cas pour **l'éclairage rasant virtuel**. Quel que soit le degré de trapézéification, la largeur moyenne détectée reste quasiment identique.

Si nous comparons désormais les techniques entre elles, pour un profil aux parois verticales (0 % de trapézéification), la carte des écarts représente 60 % et l'occlusion ambiante 75 % du tracé en éclairage rasant virtuel. Les différences sont déjà très importantes, mais elles s'accentuent avec la trapézéification des profils. Avec les profils les plus érodés, l'occlusion ambiante représente en moyenne 60 % de ce que l'éclairage rasant virtuel permet de détecter, mais la carte des écarts ne représente en moyenne plus que 35 % de ce même tracé !

Ces variations en fonction du degré de trapézéification confirment à quelle hauteur la mesure est effectuée dans le profil. L'éclairage rasant, ne présentant aucune variation, est bien une détection au sommet de la gravure, alors que le rayon de courbure et la carte des écarts se situent plutôt au milieu du profil. L'occlusion ambiante est quant à elle à mi-chemin entre les deux techniques citées précédemment.

7.4.2.3. Comparaison des techniques deux à deux

Comparaison entre le rayon de courbure [B] et la carte des écarts [C]

Nous avons jusqu'à maintenant remarqué que ces deux outils de détection étaient similaires. Le ratio entre ces deux techniques le montre également puisque la très grande majorité des résultats est égale à un. Cependant, un léger bruit interfère les profils les plus trapézéifiés puisque la carte des écarts génère un tracé plus étroit que ce qui est mis en évidence par le rayon de courbure pour les profils les plus profonds. En revanche, l'inverse se produit – toujours pour les profils les plus en « V » - puisque c'est la carte des écarts qui produit alors un tracé plus large.

Il est possible que ce soit plus un problème de mesure qu'une loi régissant le lien entre ces deux techniques car il est parfois difficile de bien positionner l'inversion du rayon de courbure.

Comparaison entre le rayon de courbure [B] / la carte des écarts [C] et l'éclairage virtuel rasant [E]

Nous regrouperons de nouveau ici le rayon de courbure [B] et la carte des écarts [C] puisque la remarque faite au-dessus n'influe pas de manière suffisamment importante la comparaison. La différence de tracé est ici très visible puisque ce sont les techniques présentant les tracés respectivement les largeurs les plus grandes et les plus faibles. Les plus grandes différences sont observées pour les profils fortement transformés en trapèze. Les tracés les plus « similaires » en termes de largeur détectée concernent les tracés les moins profonds, et les plus en « U » puisque le point d'accroche de la lumière rasante glisse vers l'intérieur de la gravure quand le profil est de plus en plus écrasé tandis que le point où le rayon de courbure s'inverse reste au même endroit. Cependant, la différence reste importante puisque la carte des écarts ne montre que 80 % de ce que la lumière rasante permet de détecter.

Comparaison entre le rayon de courbure [B] / la carte des écarts [C] et l'occlusion ambiante [F]

La même observation que précédemment peut être rapportée ici, mais la différence n'est pas aussi prononcée. Cette fois-ci, certains tracés en carte des écarts atteignent 95 % de l'occlusion ambiante, tandis que d'autres ne représentent que la moitié…

Comparaison entre l'éclairage virtuel rasant [E] et l'occlusion ambiante [F]

L'occlusion ambiante et l'éclairage virtuel rasant ne présentent pas de réel point de comparaison car si les profils les plus en « V » et les plus profonds sont les détections les plus différentes, les profils les plus en U ne répondent pas du tout aux mêmes lois. Ainsi l'occlusion ambiante correspond toujours à peu près à 80 % du tracé mis en évidence par l'éclairage rasant virtuel.

7.4.3. Conclusions

L'expérimentation a permis de quantifier les différentes techniques. En les mettant en relation avec les paramètres générant les différents profils, nous avons pu qualifier les tracés détectés.

Parmi les quatre procédés mis en œuvre, le rayon de courbure et la carte des écarts mesurent exactement la même chose. Ce sont des méthodes de détection que nous pouvons qualifier de « mathématiques ». Nous avons déjà montré que la carte des écarts et l'algorithme PCSAPS (Le Jeune 2014) détectent exactement la même information (Cf. figure 42), de la même manière que tous les traitements consistant à comparer deux maillages – l'un en haute définition et l'autre lissé ou en basse résolution. Ces techniques peuvent être assez rapides à mettre en œuvre, mais comme nous avons pu le montrer dans l'expérimentation, le tracé proposé varie en fonction de l'inclinaison des parois de la gravure.

Les résultats obtenus avec les éclairages virtuels rasants sont très similaires dans leur logique à ceux obtenus en éclairages rasants réels tels que définis par S. Cassen (Cassen et al. 2005), (Cf. figure 41 et 45).

Ces méthodes basées sur la lumière proposent le tracé le plus large parmi les techniques employées. Le résultat est le plus juste car il n'est pas soumis aux variations de profil des gravures. Cependant, il faut être vigilant au moment de l'acquisition et de la production des données pour obtenir un maillage d'une densité suffisante pour ne pas perdre de l'information en cours de traitement.

L'hypothèse initiale concernant l'occlusion ambiante était de montrer que s'agissant de la synthèse de la visibilité de chaque point du maillage depuis plusieurs points de vue, les informations produites sont basées sur un principe de visibilité. Par conséquent, les résultats pourraient être meilleurs qu'avec les détections mathématiques. Nous constatons finalement que les tracés détectés sont moins soumis à l'inclinaison des parois de la gravure que ceux issus avec la carte des écarts, mais les résultats n'atteignent pas la constance des éclairages rasants. De plus, en analysant l'application de ces méthodes sur les divers relevés réalisés, nous avons aussi pu constater que les détails de l'occlusion ambiante peuvent se noyer dans les tourments de la roche.

La variabilité des résultats obtenus avec les autres méthodes que les éclairages rasants interrogent sur la pertinence du tracé détecté. De plus, les expériences de reproduction d'une stèle menées par M. Vourc'h et C. Chaigneau montrent clairement les limites des autres méthodes. Afin de reproduire le plus fidèlement possible les gravures dans leur forme, les signes ont été dupliqués sur un bloc de granite à partir de relevés obtenus selon la carte des écarts. L'expérience étant réalisée sur le site de Gavrinis, il a été possible de faire de nombreux aller-retour entre la stèle originale et la reproduction. Le relevé numérique étant imprimé à l'échelle un, il était facile de comparer les mesures de largeur de tracé entre les deux sujets. Constamment, une différence importante est obtenue entre le tracé détecté avec la carte des écarts et celui observé. En revanche, cette différence s'atténue fortement avec les éclairages rasants (Cassen et al. 2014). De cette manière, ces derniers s'avèrent bien être la technique permettant de représenter le plus fidèlement possible les tracés en relief. Ce sont les résultats qui s'approchent le plus de la perception que nous pouvons avoir d'un relief.

7.5. Conclusion

L'enregistrement des gravures pariétales est un domaine qui a connu une évolution assez importante depuis que les enregistrements avec contact ont été bannis. La communauté n'accepte plus que ces surfaces fragiles soient soumises à des méthodes plus ou moins intrusives pour enregistrer des informations aussi subtiles. Pour éviter cela, les procédés d'acquisition devaient être revus afin de respecter ces nouvelles contraintes. Les opérateurs se sont alors naturellement orientés vers les capteurs optiques, et plus particulièrement les outils numériques (photographie numérique, capteurs laser par triangulation et lumière structurée) dès la fin des années 1990.

Rapidement, les procédures mises en place se sont orientées dans trois directions : des traitements 2D colorimétriques s'appuyant particulièrement sur le renforcement des nuances de teinte ; des traitements en 2,5D simulant le relief enregistré et ré-explorable grâce au déplacement d'une lumière virtuelle ; et des traitements 3D s'appuyant sur des comparaisons entre des maillages haute définition à des données lissées.

Une profusion de procédure a été mise en place et décrite. Cependant, après avoir décrit le fonctionnement de chacune d'elles, nous nous sommes aperçus qu'elles pouvaient être catégorisées assez facilement, et que chacune de ces catégories produisaient des résultats différents. La définition de ce que nous cherchions à représenter devait donc être mieux établies et correspondre à la définition que nous avions donné au *relevé* : le document final doit être porteur de sens et pouvoir entrer dans une logique de comparaison à d'autres documents. Des normes de représentation sont alors à suivre : la description géométrale et une multiplication des modes de représentation doivent être suivies.

Deux définitions de la gravure ont alors émergées. La première repose sur une définition mathématique ; la seconde s'appuie sur la perception. Nous avons pu établir des protocoles de traitement correspondant à chacune d'elles, et les résultats ont pu être comparés. C'est grâce aux expérimentations de M. Vourc'h et C. Chaigneau, et en s'appuyant sur nos résultats de détection, que la méthode a pu être validée. Les méthodes reposant sur une détection mathématique ne correspondent pas à ce qui est perçu sur le site. Par conséquent, seules les méthodes s'appuyant sur la perception sont valides.

L'acquisition par éclairage tournant permet d'atteindre cela. Mais utilisée seule, elle ne permet pas d'atteindre ce que nous avons défini comme étant un relevé. Bien qu'elle soit assez souple dans sa mise en œuvre – en comparaison aux *Reflection Transformation Imaging*, elle trouve certaines limites dans des espaces très contraints à l'instar des gravures situés dans un angle (exemple de la chambre de Gavrinis). D'une manière générale, toutes les surfaces gravées et concaves sont difficiles à documenter dans le sens où la source de lumière peut difficilement être placée de manière à faire ressortir les détails sans projeter l'ombre du bord de la surface. Pour résoudre cette limite, une simulation des éclairages tournants virtuels a été créée. Il s'agit d'une amélioration des images ré-éclairables telles qu'elles existent aujourd'hui. Mobilisant le même matériau de départ, la *normal map* dans notre cas est beaucoup plus fidèle à l'objet car il y a moins d'interpolation des données. Cette méthode n'a pas encore été testée sur un objet vrai pour valider la fiabilité des résultats. Cependant, le protocole mis en place pour comparer les différentes manières de détecter les gravures laisse envisager de futures applications.

IV/
Réévaluer l'histoire du monument à la lumière des nouvelles observations

Chapitre 8. Synthèse des observations issues des relevés

8.1. Introduction

Les enregistrements lasergrammétriques et photogrammétriques ont permis de renouveler complètement le corpus de représentation du site. La comparaison entre ces nouveaux documents et ce qui a été mis en évidence à travers les archives apportent des informations supplémentaires. Les outils utilisés ont permis d'enregistrer une grande quantité de données. Leur grand avantage est de constituer une image cohérente à travers différentes échelles à la résolution la mieux adaptée pour l'objectif assigné.

C'est le dernier état – le monument restauré – qui a été numérisé. Dans l'objectif de travailler les restitutions du cairn, il faut reconnaître les différentes interventions afin de pouvoir appuyer l'argumentation sur les zones archéologiquement attestées. Ce travail a été commencé avec la dépouille des archives, mais doit être poursuivi et transféré sur la nouvelle documentation créée. Le monument sera donc parcouru selon trois échelles différentes : la structure tumulaire, le couloir, et le projet iconographique.

8.2. Observations à l'échelle de la structure tumulaire

8.2.1. Impacts de la restauration sur la réserve archéologique

L'impact de la restauration sur ce qui est considéré comme la réserve archéologique n'est pas anodine. Puisque deux interventions majeures peuvent être identifiées : le comblement du cratère et le remaniement des éboulis sur le flanc Sud.

8.2.1.1. Le comblement du cratère

Le cratère a été comblé à l'issue de la campagne de restauration. Cet objectif avait été planifié avant que la campagne de fouille commence à travers la construction de la voûte de décharge au-dessus de P10. La limite entre le profil initial du cairn et l'accumulation des matériaux dans le cratère – jusqu'à former un dôme – n'est pas clairement identifiable sur site. Elle a pu être à peu près identifiée grâce à la superposition entre les modèles 3D actuels et celui construit à partir du relevé

topographique de C.-T. Le Roux de 1979 (Cf. figure 91.13). Établi avant toute intervention sur le site, il est cependant relativement peu précis : les courbes de niveau sont espacées d'un mètre, et semblent être globalement lissées. De plus, les deux modèles ont été superposés manuellement, sans avoir de réels points d'accroche identifiables. Il faut ajouter à cela le fait que la réserve archéologique n'a pas pu être documentée correctement en lasergrammétrie puisque le point de vue était trop tangent aux surfaces à renseigner. L'enregistrement de l'angle Nord et une bonne partie du sommet du cairn est pour cette raison lacunaire (Cf. figure 91.1 et 91.2). Par conséquent, il faut prendre avec précaution les écarts obtenus entre le maillage du cairn de 1979 et d'aujourd'hui, mais la limite entre les parties restaurées et intactes peut être approximativement localisée en considérant une marge d'erreur de quelques décimètres. Les descriptions géométrales établies avant le début des fouilles menées par C.-T. Le Roux montrent que les parties les plus hautes du cairn étaient situées sur le bord Nord du cratère. Or, l'écart entre le cairn actuel et celui modélisé à partir du relevé topographique de 1979 indique une distance maximale d'une cinquantaine de centimètres. Cette valeur entre dans la marge d'erreur que nous venons de définir.

Par conséquent, le comblement du cratère semble s'être arrêté au niveau du point le plus haut reconnu, suivant en cela les préconisations du modèle de restauration du cairn de Barnenez.

8.2.1.2. La façade Sud

Le point principal concerne l'état de la réserve archéologique de la façade Sud du cairn. Des travaux avaient été engagés pour suivre le parement sur une distance assez importante comme le laisse suggérer les clichés de la fouille – certainement jusqu'à la moitié du parement Sud (Cf. figure 88.11-C). Malheureusement, nous n'avons pas pu trouver de description géométrale au sujet des structures découvertes, malgré le fait que la fouille a dégagé les éboulis jusqu'au pied des parements. La restauration de cette zone a consisté à remblayer avec de la terre de manière à rester fidèle à l'image du projet de restauration : un cairn en gradin émergeant d'une masse plus ou moins informe censée représenter le monument ruiné. Cette accumulation de matériaux est clairement visible sur les relevés numériques car elle produit un effet de rampe.

Au pied de cette façade, il subsiste un « bourrelet de pierres ». Alors qu'il semble inexplicable au premier abord, il peut être considéré comme le témoin de l'étalement maximal des éboulis.

L'arrière du cairn est jusqu'à maintenant connu pour n'avoir subit aucune intervention. Cependant, la position de ce bourrelet avec le profil des éboulis interroge puisque environ cinq mètres séparent les deux entités.

La comparaison de l'état actuel du cairn avec les photos d'archives montre une certaine inversion des textures. Les clichés de Z. Le Rouzic indiquent que l'arrière du cairn est végétalisé, contrairement aux façades Sud et Est qui restent enrochées. Comme nous l'avons déjà dit, les matériaux déplacés lors de la fouille en cratère ont été rejetés sur ces deux flancs. Sans effet de tassement, de grands creux sont restés et la végétation n'a pas pu se développer, faute de substrat. La limite après analyse de la position des prises de vue suggère qu'elle se situe vers le Sud-Sud-Ouest. La limite Ouest de la rampe

que nous avons identifiée suivrait donc à peu près le même emplacement. Or, ce qui était végétalisé auparavant présente aujourd'hui beaucoup de pierres, alors que la façade Sud n'en possède quasiment plus en surface.

Le comblement du cratère a certainement nécessité beaucoup plus de pierres que prévu – notamment pour recouvrir le sommet de la voûte construite dès 1979. C'est peut-être ce qui a en partie motivé la fouille du flanc Sud constitué en surface par les matériaux issus de l'exploration en cratère. Les matériaux rejetés lors de l'exploration en cratère ont alors été mobilisés pour reformer le sommet du cairn. Le prélèvement de matériau s'est arrêté jusqu'à atteindre une couche stratigraphique possédant davantage d'humus. Le volume de cette façade a donc été amoindri. Ce secteur aurait ensuite été terminé par l'apport de terre afin de donner l'impression que la façade restaurée émerge d'une masse différente et indifférenciée. Cela explique la distance en plan séparant le bourrelet et le pied du monument.

8.2.1.3. La façade Ouest

La partie arrière du cairn conserve une section qui n'a pas été perturbée autrement que par les éboulis. Il est possible de distinguer clairement deux profils (Cf. figure 49) : celui de la partie basse occupe les deux tiers de l'élévation et présente (par rapport à un plan horizontal) une déclivité de 27° ; la partie haute présente en revanche un profil d'équilibre à 45°. Il s'agit d'une information importante car cela va permettre de déterminer l'emprise du cairn dans la réserve archéologique.

8.2.1.4. La façade Nord

D'après les clichés, le secteur Nord semble avoir été fouillé jusqu'à découvrir comment le parement de façade s'appuie sur celui de la façade Nord. Les travaux ne se sont pas poursuivis plus en avant. La restauration a consisté à aménager un sentier abrupt sur ces éboulis pour pouvoir accéder au sommet du cairn. Si le chemin est assez large à la base (là où les structures archéologiques ont été détruites par le chantier de fouilles), il est très réduit et n'impacte que la surface de l'enveloppe.

8.2.2. Distinguer les parements restaurés de ceux en place

La restauration des parements a été décrite au chapitre [4.2.1.3.], mais le relevé de 2011 permet de jeter un nouveau regard. Un certain nombre de points déjà relevés nous oblige à prendre la restauration avec précaution :

- pour le parement de façade, une large part de l'élévation a été extrapolée puisque seules quelques assises subsistaient pour une partie du développé (Cf. figure 89.1) ;
- le profil des parements internes a été extrapolé de manière à pouvoir recouvrir la voûte de décharge construite au-dessus de P10, et ne correspond pas nécessairement aux structures détruites ;
- l'agencement de l'angle Est n'a pas été pris en compte lors de la restauration et un parement se retrouve noyé dans le remplissage ;

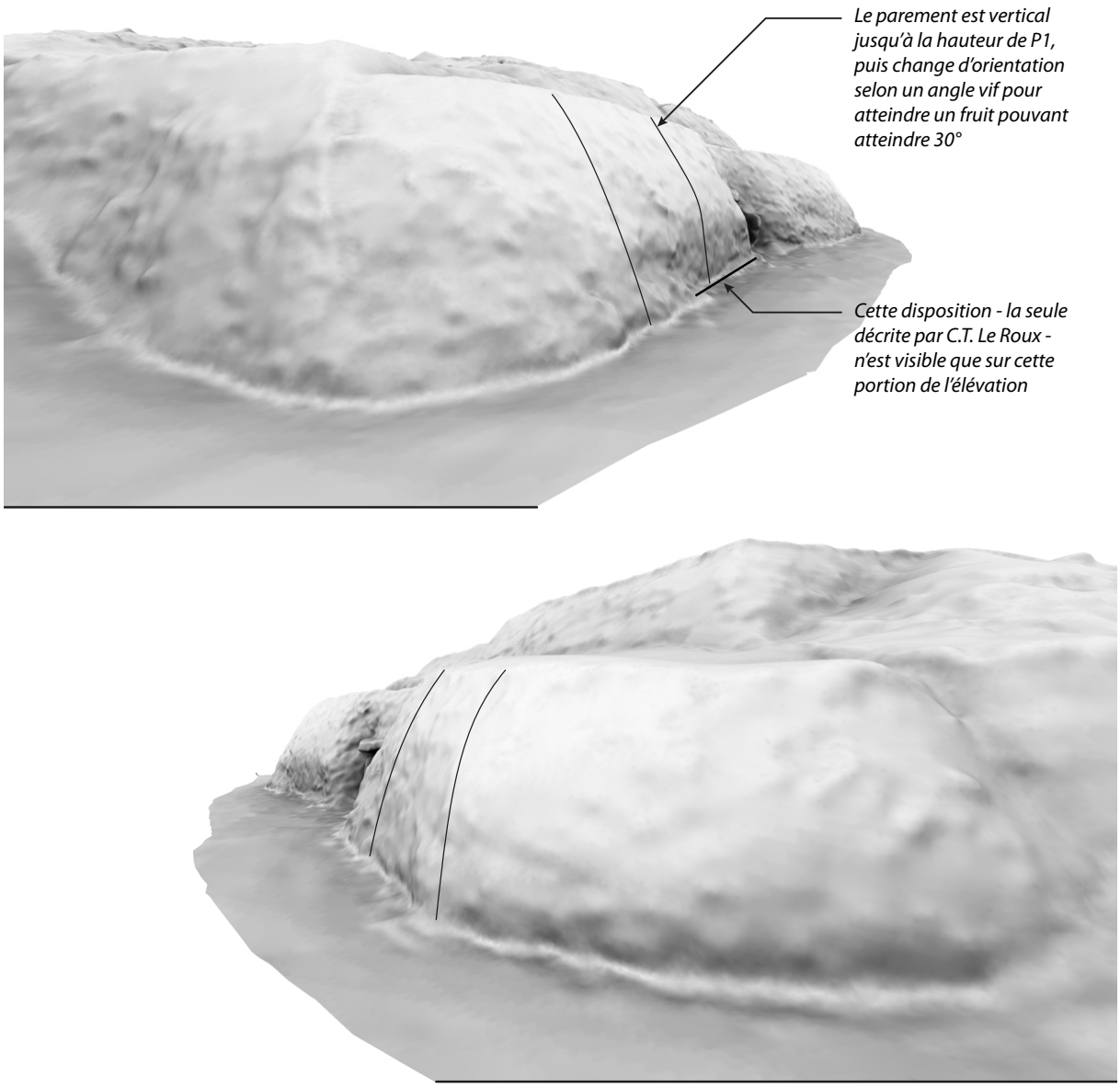


49. Etat de conservation de la réserve archéologique

- les parties les plus fragiles ont été démontées pour être consolidées avec du ciment ; quelques profils sont donc interprétés car les différents blocs n'ont pas pu être repositionnés exactement à leur place.

En considérant tout cela, c'est avec précaution que nous pourrons nous appuyer sur la restauration du parement de façade.

Le parement de façade a été décrit comme possédant un profil vertical jusqu'à la dalle de couverture P1, puis il change d'orientation avec un angle vif pour atteindre un fruit pouvant aller jusqu'à 30°. L'inspection du parement de façade permet de se rendre compte que cette observation a été respectée seulement sur l'élévation à gauche du couloir, et encore sur la moitié la plus proche de l'entrée (Cf. figure 50). Ce secteur correspond aux élévations les mieux conservées. Tout le reste a été restauré en suivant le fruit supposé de la partie supérieure. Il est vrai qu'il n'est pas recommandé de construire des murs verticaux en pierres sèches, mais plutôt en suivant un fruit de manière à éviter que la couche



50. Variation des profils de parement à Gavrinis

la plus externe ne soit pas soumise à des pressions trop fortes. Quoi qu'il en soit, il s'agit d'une liberté de restauration qui ne correspond pas aux observations réalisées sur les structures archéologiques encore en place.

Les parements internes sont quant à eux extrapolés. La fouille en cratère a largement détruit les élévations et ne permettait pas dans leur état découvert de déterminer le point le plus haut nécessaire à recouvrir la voûte de décharge construite dès 1979. Par conséquent, seulement le pied des structures découvertes sera réellement pris en considération. Le fruit proposé n'est pas vraiment argumenté, et nous pourrons nous en éloigner s'ils ne sont pas cohérents avec notre restitution.

8.2.3. Relation entre les structures du cairn et le couloir

L'enregistrement à différentes échelles du site a permis de documenter précisément le rapport entre les parements découverts et les dalles composants le couloir. Cette relation n'avait pas été établie par C.-T. Le Roux à l'issue des campagnes de fouilles. Même si cela n'est pas directement visible sur le modèle tridimensionnel obtenu à la fin de la campagne de relevés, les hypothèses sont beaucoup plus faciles à tester et à formuler sur ces formes courbes et irrégulières. Après projection des parements jusqu'au sol, nous pouvons constater que les structures se situent au milieu des dalles L2 et R2. Cependant, il s'agit de la projection selon un profil continue, et il est possible que le parement soit plus abrupt. Il pourrait alors se décaler de quelques décimètres vers le centre du monument, de manière à séparer les deux premières orthostates du reste du couloir.

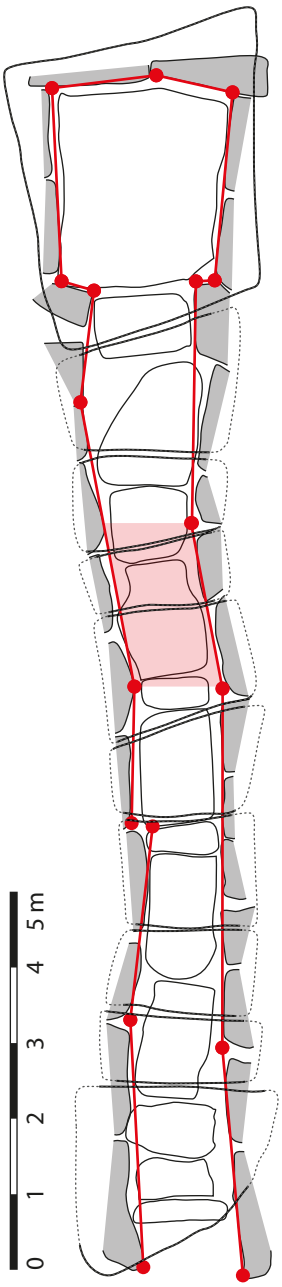
8.3. Observations à l'échelle du couloir

8.3.1. La géométrie du couloir

Le relevé de 2011 a permis de décrire précisément le couloir et les dalles le formant. La relation entre chacun des éléments est désormais parfaitement connue et va permettre d'établir des logiques de composition.

L'historiographie de chacune des dalles a permis de comprendre que certaines ont été déplacées depuis la fin de l'utilisation du monument comme tombe (Cf. le chapitre [3.3.]). Les orthostates L11 (qui a culbutée après le déplacement de S12) et R1 (retrouvée cassée en trois morceaux) sont les deux seuls formant paroi à avoir connu une histoire un peu plus riche que les autres. Alors qu'aucune dalle de plafond n'a connu de mouvement, les dalles de sol en revanche ont un passé un peu plus compliqué. Plus de la moitié des dalles aura été déplacée au cours des différentes campagnes de fouilles. S1, S6, S8, S10, S11 et S13 sont les seules à être restées dans leur position d'origine. Les autres blocs doivent donc être considérés avec précaution pour appuyer l'argumentation des restitutions.

La géométrie exacte du couloir permet non seulement de comprendre comment il est positionné dans la masse du cairn, mais aussi de visualiser comment les différentes dalles sont positionnées les unes par rapport aux autres. Le sol du couloir, long de 15,7 mètres, présente une déclivité de 0,9



51. La géométrie du couloir

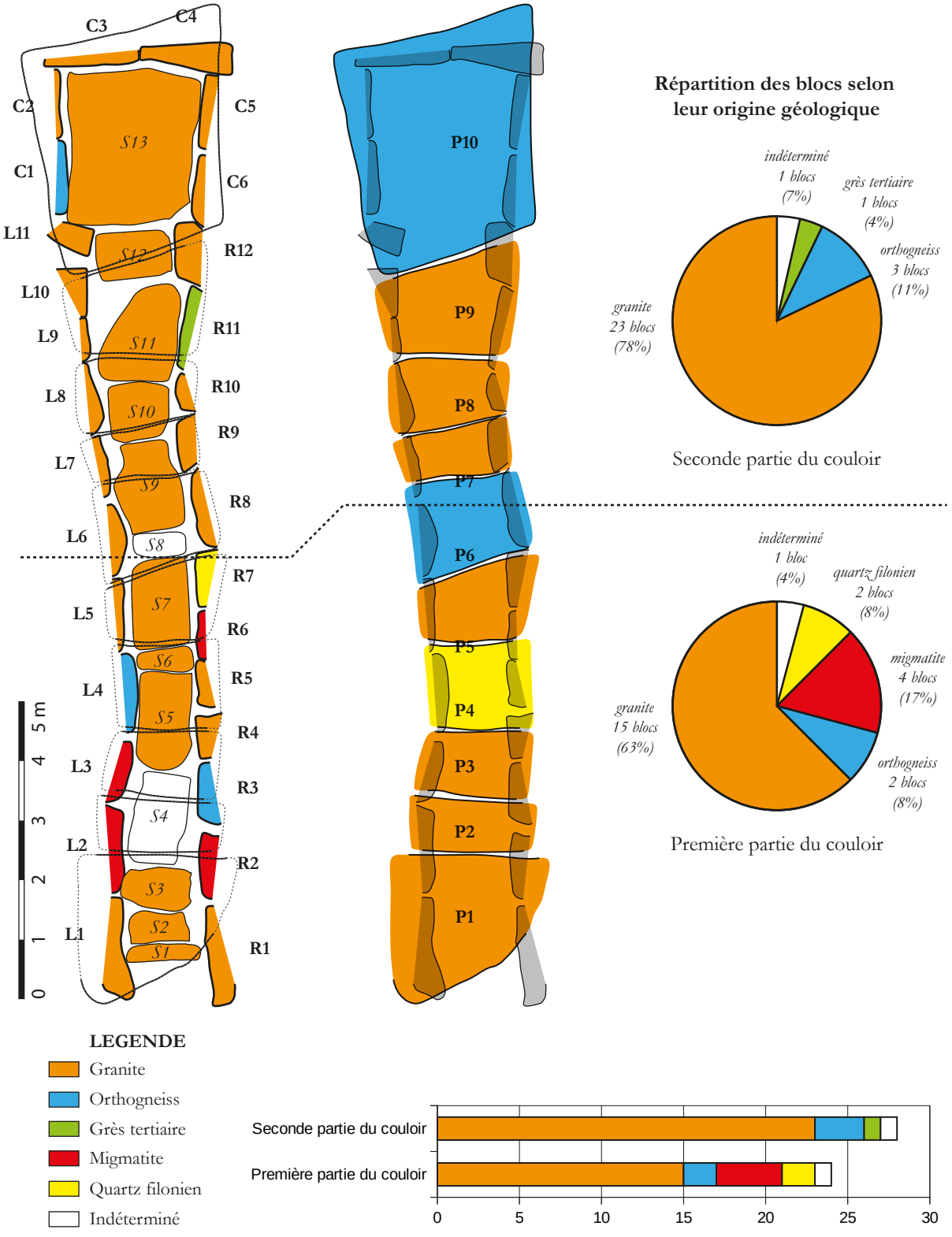
mètre. La hauteur sous plafond oscille entre 1,3 et 1,6 mètres, et exceptionnellement 1,8 mètres en un point dans la chambre. La chambre et le couloir ne se différencient pas sur ce point.

La largeur du couloir varie quant à elle entre 1 mètre autour de la dalle de seuil S6 et 1,4 mètre à l'entrée de la chambre. Celle-ci se différencie nettement du couloir car elle est bien plus large (entre 2,1 et 2,3 mètres pour une longueur de 2,5 mètres). Les tranches des deux orthostates L11 et R12 sont utilisées pour créer cet élargissement.

Le couloir possède des variations d'orientations qui n'avaient jusqu'à maintenant jamais été représentées (Cf. figure 51). Il faut noter que les deux élévations ne suivent pas exactement les mêmes variations en même temps. Cette notion d'alignement est à prendre avec précaution car les orthostates ne sont pas plans et il est facile de prendre d'autres points de repères : un plan de coupe plus ou moins haut produit un profil différent pour chacune des dalles. Tout dépend donc du niveau de détail auquel nous nous attachons. Néanmoins, la paroi gauche ondule beaucoup plus que l'élévation droite, et les parois ne sont parallèles que sur une petite portion du couloir.

Nous constatons que l'orthostate L6 possède un profil largement convexe en plan. Ce profil est mis à contribution grâce aux dalles voisines pour infléchir la direction du couloir. En symétrie de cette dalle, il existe également une variation dans l'alignement des dalles sur l'élévation droite, entre R7 et R8. Ces deux points se situent de part et d'autre de S8. Une dalle assez étroite, comparable en plan à S1 et S6, et nous nous étions déjà demandés si cette dalle ne pouvait pas être une dalle de seuil, même si la tête de la dalle n'émerge pas dans le couloir comme les deux autres.

En progressant vers l'entrée, nous pouvons remarquer qu'il existe une rupture entre L4 et L5.



53. Origine géologique des différents blocs composant le couloir de Gavrinis, d'après G. Querré et F. Pustoc'h (Cassen et al. rapport 2013)

Le pied de L4 émerge dans le couloir et produit cet effet. Cela ne se vérifie pas pour la partie supérieure de la stèle car les deux dalles sont alignées dans le même plan. Cette discontinuité au niveau des pieds de la stèle aurait pu être corrigée grâce à un meilleur positionnement au moment de la construction du cairn, mais ça n'a pas été le cas. Cette rupture intervient au niveau de la dalle de seuil S6, placée sur chant et reposant sur le plancher rocheux de l'île.

Au niveau de l'entrée, une autre variation implique les deux parois en même temps. Ça se passe entre L2 et L3, et entre R2 et R3. Mais contrairement aux deux inflexions présentées précédemment, celle-ci n'est pas en relation avec une éventuelle dalle de seuil.

8.3.2. La géologie des matériaux de construction

Après l'étude pétrographique des dalles (Querré et Pustoc'h 2013), il s'avère que le couloir de Gavrinis est composé de cinq roches (Cf. figure 53). Les matériaux sont :

- le granite (38 dalles, soit 73 % des blocs)
- l'orthogneiss (5 dalles, soit 9 % des blocs)
- la migmatite (4 dalles, soit 8 % des blocs)
- le quartz filonien (2 dalles, soit 4 % des blocs)
- le grès tertiaire (1 dalle, soit 2 % des blocs)
- autres (2 dalles non-identifiées, soit 4 % des blocs)

Les deux éléments qui n'ont pas pu être identifiés sont S8 (dalle encore enfouie et qui n'a pas pu être observée correctement) et S4 (une zone restaurée et fragmentée). S12 n'a pas été identifiée par G. Querré et F. Pustoc'h puisque l'exemplaire dans le couloir est un moulage. La composition granitique de cette dalle a été reconnue par S. Cassen.

La répartition qualitative des blocs montre que presque trois éléments sur quatre sont en granite. C'est assurément la roche la plus présente à Gavrinis. L'orthogneiss et la migmatite forment un bloc sur cinq ; le quartz et le grès sont quant à eux anecdotiques.

La répartition spatiale des blocs en fonction de la nature des matériaux divise le couloir en deux. Malgré la grande homogénéité du sol (toutes les dalles identifiées sont en granite), la première moitié du couloir (vers l'entrée) est beaucoup plus diversifiée que l'autre moitié (vers la chambre). De S8 à la chambre funéraire, trois types de blocs sont rencontrés : l'orthogneiss, l'unique bloc de grès et surtout le granite qui domine nettement les deux autres types de roches. Mais de l'entrée à S8, tous les types de roche sont rencontrés (excepté le grès tertiaire) et le granite toujours très présent est un peu moins dominant que dans la seconde partie du couloir.

8.3.3. La géomorphologie des matériaux de construction

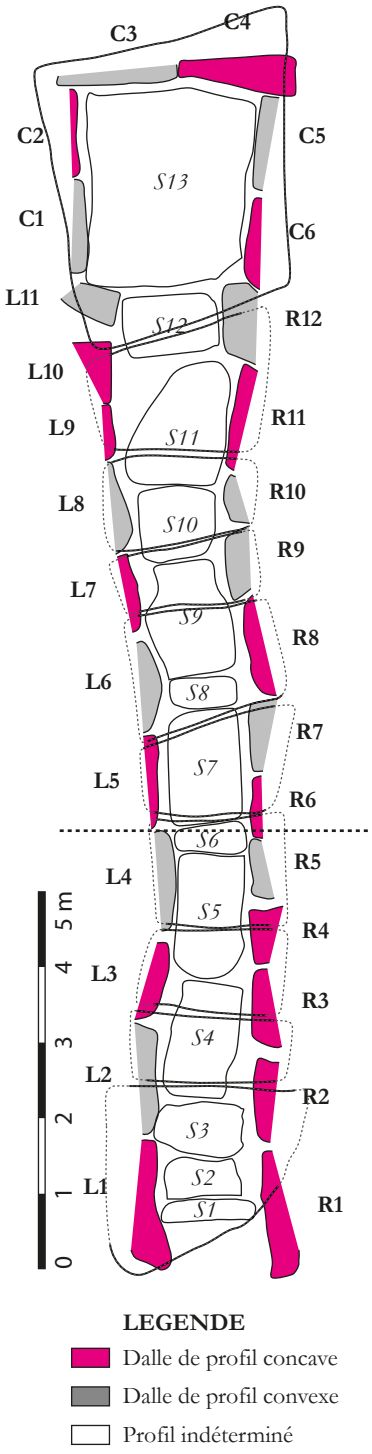
Une étude géomorphologique des blocs formant le couloir de Gavrinis a été conduite par D. Sellier dans le cadre du programme de recherche concernant Gavrinis (Cassen et al. rapport 2013). Une

définition de la géomorphologie consiste à la présenter comme :

> *« la branche de la géographie physique qui traite de la description et de l'explication des reliefs à partir de facteurs structuraux (les roches et leurs déformations) et de facteurs morphogéniques (dus à l'érosion), eux-mêmes déterminés par les climats et l'environnement. Elle vise à connaître l'évolution des reliefs par les climats et par les paléo-environnements. Cette démarche s'applique à tous les niveaux d'échelle y compris celui de reliefs mineurs tels que les reliefs rocheux et affleurements rocheux élémentaires » (Cassen et al. rapport 2013, p. 83).*

Les dalles (ou les stèles) composant une sépulture ont vu leurs formes évoluer en fonction des milieux dans lesquels elles se sont retrouvés. Elles ont ainsi connu une histoire pré-mégalithique, éventuellement une mise en forme des surfaces, et une histoire post-mégalithique. Toutes ces informations peuvent aider à déterminer la provenance du bloc et à les dater (en fonction des processus et de l'importance de l'érosion).

S'appuyant sur l'expérience menée sur les alignements de Kerlescan à Carnac (Sellier 1991), la grille d'analyse a été appliquée à Gavrinis après quelques adaptations. En effet, les conditions d'observation sont plus difficiles dans le couloir qu'en extérieur. Il n'est pas possible d'ausculter toutes les faces car seulement une d'entre elles est visible (à l'exception de C4 grâce au sondage pratiqué en 1979 et l'aménagement d'un accès) ; les conclusions sont par conséquent plus incertaines. Il faut aussi mettre l'accent sur le fait que les dalles sont employées dans un contexte les préservant de tout agent érosif pouvant produire des cannelures par exemple. Par conséquent les observations peuvent être incomplètes.



55. Géomorphologie des blocs constituants le couloir, d'après D. Sellier (Cassen et al. rapport 2013)

La méthode employée s'appuie sur trois points :

- l'établissement préalable d'une fiche de relevé des caractères morphologiques, situationnels, dimensionnels et autres – par pierre – afin d'obtenir des données homogènes à défaut d'être exhaustives ;
- la description géomorphologique des 29 orthostates et 10 dalles de couverture et l'enregistrement des données – pour chaque pierre – à partir de cette fiche ;
- le traitement statistique et l'interprétation des données qualitatives et quantitatives.

Parmi l'ensemble des observations rapportées, nous ne considérerons pas les processus d'érosions pré- et post-mégalithiques car ils ne renseignent pas sur une intention et une conception de l'architecture du couloir. Deux facteurs sont intéressants à noter : la reconnaissance des faces d'arrachement et d'effleurement, et l'identification des profils (concaves ou convexes) des dalles.

Il est difficile de conclure fermement sur la nature de la face (arrachement ou affleurement) car il est impossible de comparer avec la paroi opposée. L'ensemble des observations est reporté dans un schéma (Cf. figure 55). Seulement dix-huit dalles ont pu être déterminées, soit un tiers du corpus, et il ne s'agit que d'hypothèses puisque ce sont des déductions issues de plusieurs indices. Il est intéressant de noter que la face visible (inférieure) de la plupart des dalles de couverture soient des faces d'arrachement :

- face d'arrachement : 6 blocs
- face d'affleurement : 3 blocs
- indéterminé : 1 bloc

Avec un taux d'identification de 90 %, il est possible de conclure que les blocs conservent dans la plupart des cas leur orientation initiale quand ils sont employés en couverture. Les résultats sont en revanche plus parcimonieux pour les orthostates : des conclusions ont pu être produites pour seulement un tiers des dalles (9 sur 29), et il est par conséquent impossible de conclure à partir de statistiques aussi lacunaires...

En revanche, le profil géométrique (concave ou convexe) a pu être apprécié pour presque la quasi-totalité des dalles de paroi. Il est absolument remarquable que les dalles de profil convexe sont employées en alternance avec des dalles de profil concave ou plat le long du couloir et autour de la chambre. Quelques exceptions sont à noter cependant :

- L9 et L10, de profil concave ou plat ;
- R9 et R10, de profil convexe ;
- les quatre premières dalles de l'élévation droite (de R1 à R4) à l'entrée sont concaves ou plates.

Ces premiers résultats nécessitent des observations complémentaires, mais il est déjà possible de reconnaître un motif de composition. L'association des dalles L9-L10 et R9-R10 peut s'expliquer par l'étroitesse des orthostates. De cette manière, les dalles de même profil se font face dans le couloir,

mais sont disposées en quinconce dans la chambre. Les quatre dalles de profil concave situées à l'entrée brisent en revanche la logique de composition.

8.4. Observations à l'échelle du projet iconographique

L'objectif ici n'est pas de décrire l'ensemble des tracés et de reconstituer le sens qu'ils produisent, mais d'extraire les informations qui peuvent aider à comprendre l'histoire du monument. Pour cela, nous nous appuierons sur le corpus de représentation des dalles de sol, de paroi et de couverture actualisé selon nos modes de représentation. Toutes les dalles sont représentées en occlusion ambiante et en *normal map* convertie en niveau de gris. Pour les dalles gravées, la méthode de détection à partir des cartes des écarts décrite précédemment est systématiquement appliquée. Une synthèse des tracés est ensuite proposée à partir de la carte des écarts. Cette synthèse a été réalisée par trois étudiants de licence, puis reprise et corrigée par S. Cassen. Le code couleur utilisé permet d'obtenir un premier niveau de lecture des orthostates. Cela ne constitue pas le relevé définitif car la méthode de détection des gravures à partir des cartes d'écart n'est pas suffisamment précise : certains tracés ne sont pas continus, et il est rare de pouvoir distinguer comment les motifs se superposent. Les motifs de deux orthostates n'ont pas été relevés de cette manière. Il s'agit de R7 et de R11 car la nature de la roche (respectivement du quartz filonien et du grès tertiaire) n'a pas permis la même exécution du projet iconographique que sur les autres dalles. Les motifs ont été détectés grâce à une analyse des nuances de couleurs dans d'autres espaces de couleurs que le RGB et CMJN (plugin Dstretch dans ImageJ) (Cassen et al. rapport 2012).

En plus de ce corpus actualisé, le corpus établi par E. Shee-Twohig est repris afin de comparer les résultats obtenus. Quand ils existent, les relevés de M. Lucas et du binôme sir H. Dryden et W.C. Lukis ont été ajoutés.

8.4.1. Répartition des gravures dans le couloir

La répartition des gravures présentes sur les orthostates est schématisée à travers un graphique (Cf. figure 56). L'objectif de ce graphique est d'identifier les orthostates qui ont reçu le plus d'attention à travers un temps de préparation plus long. Chaque gravure relevée dans la synthèse des tracés est alors mesurée et toutes les valeurs sont cumulées pour obtenir le développé en mètre des tracés. Seuls les motifs linéaires sont concernés par ce tableau ; les surfaces travaillées en champlevé ne sont pas prises en compte. Or, c'est un paramètre important dans le temps de préparation du projet iconographique et indique donc la valeur accordée à l'objet. Cette information n'a pas été traitée pour plusieurs raisons. Il n'était pas facile d'identifier exactement l'aire préparée selon cette technique. Si le bord délimitant le motif en relief ne posait pas de problème d'identification, le second meurt sans marquer de frontière nette. Il faut pour l'identifier de manière certaine d'autres techniques de relevé plus précises. Un autre argument pour ne pas avoir inclus ce mode de réalisation des motifs est la profondeur d'exécution des surfaces en champlevé. Cet enlèvement de matière n'est pas identique sur tous les orthostates, et il est alors compliqué de les comparer. Par exemple, il est difficile de rapprocher

la préparation de l'orthostate L9 avec ces dix-huit lames de hache à l'exécution des deux « anneaux » et surtout les trois cavités d'une douzaine de centimètres les formant. C'est aussi sans compter la protubérance des anneaux à la surface de C1 ; même si les artistes ont bénéficié d'un ressaut naturel, leur mise en forme a assurément demandé un long travail d'enlèvement de matériau. Quoiqu'il en soi, le temps de préparation de ces surfaces en champlevé ne doit pas être sous-estimé par rapport à l'exécution des gravures car l'enlèvement de matière y est bien plus important. La valeur accordée aux orthostates L9, L10, C1, C2, et R8 est donc minimisée dans ce graphique.

Les orthostates ne sont pas uniquement ornés sur leurs faces visibles. Deux orthostates sont concernés : les dos de C4 et de L11. Les motifs ont été découverts lors des deux sondages réalisés en 1979 (Cf. les chapitres [3.3.1.2.] et [3.3.1.3.]). Les surfaces ornées mais invisibles depuis le couloir ne sont pas prises en compte. De la même manière, les dalles de sol et les dalles de couverture ne sont pas comptabilisées dans ce graphique, malgré les gravures présentes sur S9, S12, P2 et P10.

Après avoir présenté la manière de constituer ce document, le premier résultat révèle que la longueur totale des tracés visibles sur les parois de la tombe atteint 898,3 mètres. C'est un travail considérable qui n'est pas réparti de manière égale dans toute la tombe. Déjà, nous remarquons que les trois premiers orthostates à gauche et les deux premiers à droite ne sont pas gravés – mais cela ne signifie pas que les surfaces ne sont pas préparées. Une analyse par secteur montre une autre répartition du programme iconographique :

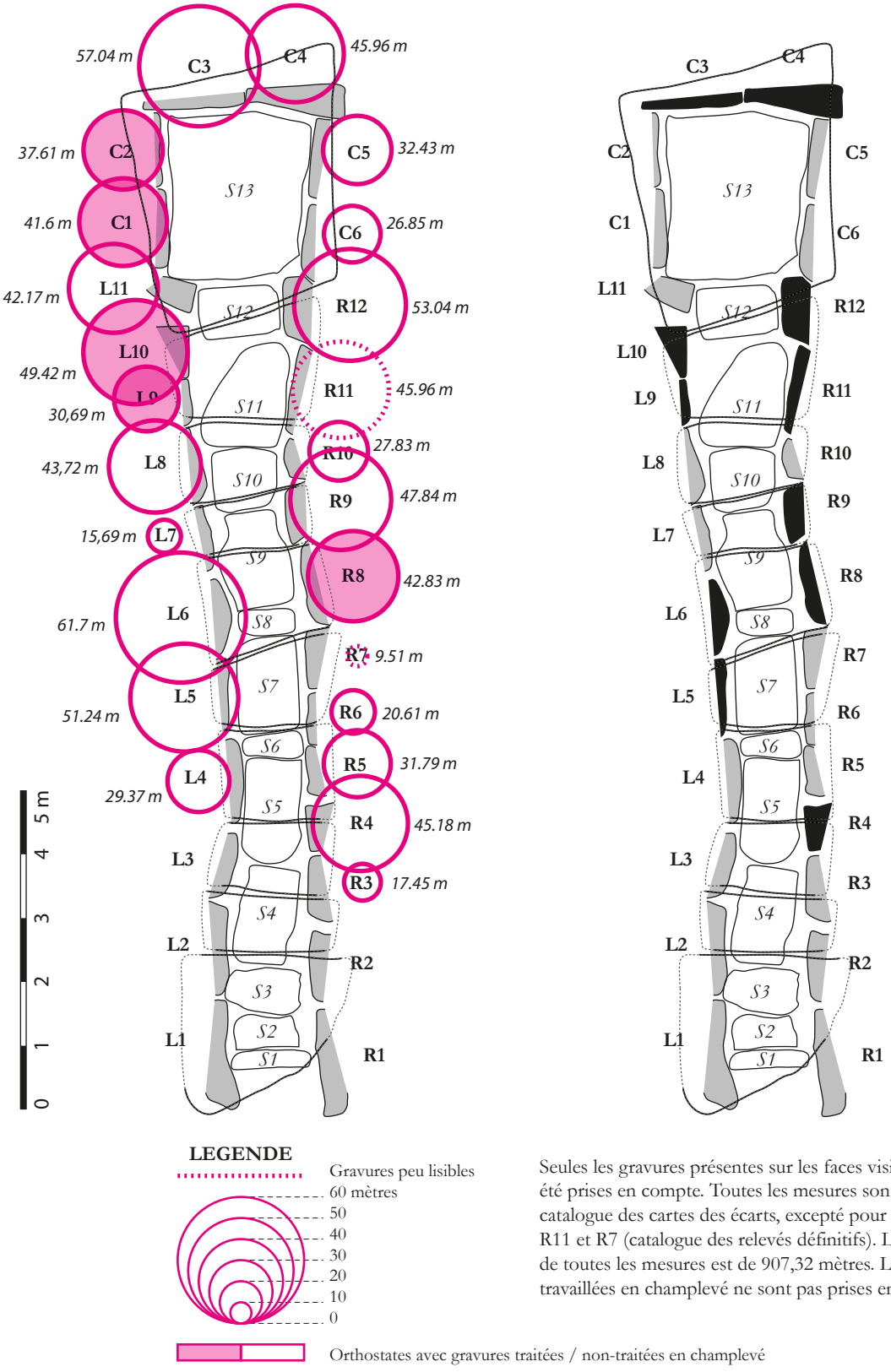
- Élévation gauche : 8 dalles 315 m (35,1 %) 39,4 mètres en moyenne par dalle
- Chambre : 6 dalles 241,5 m (26,9 %) 40,2 mètres en moyenne par dalle
- Élévation droite : 10 dalles 341,8 m (38,1 %) 34,2 mètres en moyenne par dalle

L'élévation droite du couloir comporte le plus grand nombre de dalles ornées, et recueille de cette manière la part la plus importante du programme iconographique de la tombe. En revanche, la densité moyenne de ces motifs y est la plus faible. Le projet est beaucoup plus dense pour la chambre funéraire. Le résultat est en réalité plus important car les tranches de L11 et R12 appartenant à la chambre sont gravées, mais les motifs sont comptabilisés pour le couloir. À cela doit aussi s'ajouter les surfaces travaillées en champlevé. Les dalles L9 et C1 sont celles qui ont été le plus façonnées selon cette technique. Bien qu'il soit difficile de juger au premier abord de l'aire concerné, il semble que L10, C2 et R8 aient demandé un peu moins d'effort. Le déséquilibre du temps consacré à la mise en forme des dalles entre la chambre et le couloir est donc renforcé.

Parmi les orthostates, les plus décorés, nous trouvons L6 avec plus de 61 mètres. L6 est situé à peu près au milieu du couloir, à un endroit où l'orientation semble s'infléchir.

Le deuxième orthostate le plus décoré est C3. Il s'agit d'une dalle de chevet et elle n'est pas complète depuis qu'une écaille est partie, emportant avec elle quelques décimètres de motifs (Cf. figure 112.).

La troisième dalle la plus ornée est R12. Elle termine le couloir à droite et contribue à donner de l'ampleur au volume de la chambre.



Seules les gravures présentes sur les faces visibles ont été prises en compte. Toutes les mesures sont issues du catalogue des cartes des écarts, excepté pour L6, L11, R11 et R7 (catalogue des relevés définitifs). La somme de toutes les mesures est de 907,32 mètres. Les surfaces travaillées en champlevé ne sont pas prises en compte.

56. Répartition du programme iconographique sur les parties visibles du couloir

En terme d'intensité, nous pouvons distinguer plusieurs pôles que nous présenterons dans une progression allant de l'entrée vers la chambre :

- R4 (45,2 m) ;
- autour de L5 (51,3 m) et L6 (61,7 m) ;
- R8 (42,8 m) et R9 (47,8 m) ;
- L10 (49,4 plus la préparation de surfaces en champlevé) ;
- autour de R11 (45,75 m) et R12 (53,04 m) ;
- autour du chevet C3 (57,04 m) et C4 (46 m).

Le pôle dans lequel est inclus R11 doit être un peu nuancé dans le sens où il a été presque impossible pour les artistes d'exécuter le programme visiblement sur cette dalle. Les motifs sont difficiles à percevoir ; c'est pour cela qu'ils ont été détectés à partir de la texture et non pas en éclairages rasants comme les motifs des autres dalles. Les autres orthostates sont effectivement gravés, mais leur composition est beaucoup moins riche et ils souffrent de la comparaison.

Si nous nous penchons maintenant sur leur répartition spatiale, nous remarquons que ces pôles ne se font pas face, mais décrivent un parcours alternant entre les deux élévations du couloir. Avant de pénétrer dans la chambre, les couples R11-R12 et L9-L10-L11 (la face de cette dernière orientée vers le couloir possède une composition assez dense aussi) se font face, mais la dalle S12 – ornée également – se situe exactement à ce niveau. De cette sorte, l'entrée de la chambre se distingue du reste du couloir par une forte concentration du temps passé à préparer les surfaces. Enfin, le parcours se termine par les deux dalles de chevet.

Pour conclure sur la répartition des gravures au sein du couloir, toutes ne sont pas (clairement) visibles. La dalle de couverture P2 est gravée sur sa tranche orientée vers l'extérieur de telle sorte que si P1 est absente, les motifs deviennent clairement visibles. D'un point de vue architectonique, P2 doit nécessairement être supportée par L2 et éventuellement R2. L'incertitude pour R2 réside dans le fait qu'elle ne supporte pas directement la dalle de couverture ; des moellons servent d'intermédiaire.

La dalle de couverture P10 est ornée sur sa face supérieure et les gravures n'ont été découvertes qu'en 1984 lors du nettoyage de cette surface.

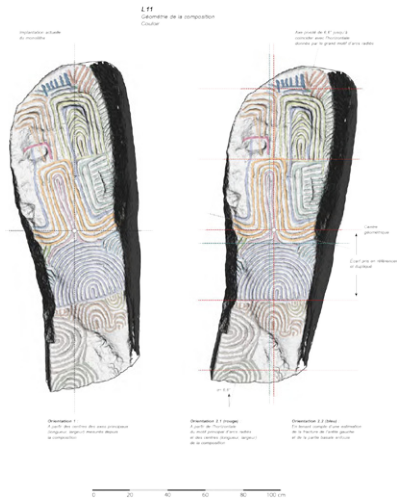
Dès 1979, les deux sondages pratiqués au dos de L11 et C4 ont mis au jour des gravures totalement invisibles depuis le couloir. Par conséquent il est légitime de penser que d'autres dalles soient ornées sur leurs faces masquées.

8.4.2. L'agencement iconographique

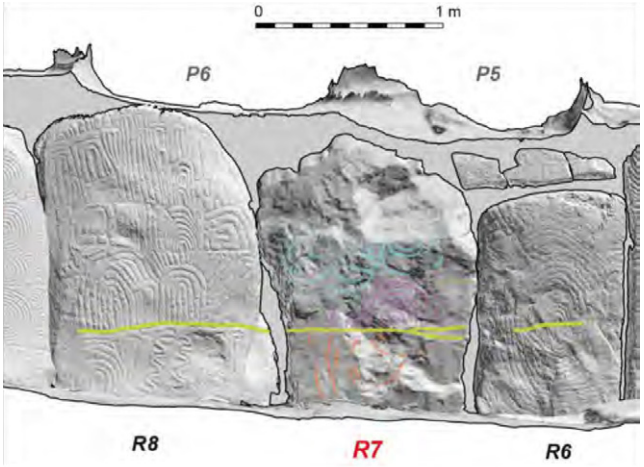
La composition de L11 (Cassen et al. rapport 2013, pp. 38-56) montre qu'elle ne se situe plus dans sa position initiale puisque la composition des motifs est désormais désaxée (Cf. figure 57). Cela conforte la lecture des archives qui indique que la dalle avait déjà basculé quand la tombe a été déblayée des matériaux de remplissage. Cependant, L11 n'est pas le seul exemple de désaxement de la composition.

L'orthostate C4 a également un agencement qui n'est pas en cohérence avec son implantation. Aucun mouvement postérieur à son installation ne peut être avancé ici. Cela relève donc d'un choix opéré par les constructeurs. Ils se sont éloignés de l'orientation voulue par le sculpteur, soit par une mauvaise implantation, soit par réemploi d'une stèle.

Les motifs identifiés à l'issu du premier travail de synthèse permettent parfois de reconnaître des agencements s'étalant sur plusieurs dalles. C'est notamment le cas pour R6, R7 et R8 (Cassen et al. rapport 2013, pp. 56-62) (Cf. figure 58) puisqu'une ligne parcourt les trois supports. Elle est clairement inscrite pour associer et lier les trois orthostates. Cependant, les gravures sur R7 n'ont pas pu être profondément inscrites car le quartz est une roche très résistante, et personne ne les avait perçues avant notre inspection des surfaces. Plutôt que le résultat, c'est l'intention du geste qui explique l'exécution de ce motif.



57. Le désaxement du programme iconographique de L11 (d'après S. Cassen)



58. Propagation d'un motif sur R6, R7 et R8 (d'après S. Cassen)

8.5. Synthèse des observations

Grâce à l'enregistrement tridimensionnel du site, une série d'observations vient compléter la lecture des archives.

Dans un premier temps, les travaux de restauration qui n'étaient pas réellement documentés le sont désormais un peu plus. Il a été possible de déterminer l'impact des travaux sur la façade Sud. La limite de comblement du cratère reste difficile à déterminer exactement, mais nous pouvons croire que le remplissage s'est arrêté à la même altitude que le point le plus haut. Le modèle établi par J. L'Helgouac'h et P.-R. Giot pour la restauration du cairn de Barnenez serait donc celui suivi pour le comblement du cratère.

Il a également été possible d'établir une relation entre les parements internes découverts lors de la campagne de fouille et le couloir puisque cela n'avait jamais été évalué jusqu'à maintenant. Celui-ci est découpé entre L2-L3 et R2-R3. Cela coïncide avec le fait que les dalles L1, L2, L3, R1 et R2 ne sont pas gravées.

Le couloir a été construit de manière homogène au premier abord. Cependant, une lecture attentive des dalles de sol permet de révéler des scansions. La première dalle S1 est posée sur le chant et forme de cette manière un seuil. Mais elle n'est pas la seule dans cette situation : S6 est également installée dans cette position. Au-delà de ce premier point commun, les deux forment une marche en émergeant du sol. Une incertitude réside toujours au sujet de S8 car elle présente également en plan une forme assez étroite, mais elle ne ressort pas de la même façon que les deux premières. Elle n'a jamais été fouillée de part et d'autre ce qui empêche de conclure de manière définitive.

Malgré cette dernière indétermination, plusieurs changements apparaissent autour de S6 et S8 :

- la géologie des dalles de la partie comprenant la chambre funéraire est bien plus homogène que celle de l'entrée ;
- l'étude géomorphologique des orthostates révèle un motif alternant dalle concave et convexe, mais celui-ci est rompu au niveau de l'entrée (de R1 à R4) ;
- une rupture géométrique apparaît enfin au niveau de L4.

Enfin, la répartition du programme iconographique dans le couloir montre six points de concentration. À l'exception de R4, ces pôles fonctionnent toujours par couple d'orthostates et associent la plupart du temps une dalle convexe et concave (à l'exception de L9-L10). R4 se situe dans la première partie du couloir et se différencie également de la cohérence trouvée entre S6 et la chambre funéraire.

L'ensemble de ces observations sera nécessaire pour manipuler les modèles tridimensionnels de restitution afin d'opérer les choix les plus pertinents.

Chapitre 9. Restitutions des différentes phases d'occupation de Gavrinis

9.1. Identification des différentes phases de construction

Au cours des chapitres précédents, nous avons analysé les vestiges du site de Gavrinis et reconstitué ainsi le fil de l'histoire du site. Les événements ont été décrits secteur par secteur, puis chronologiquement. Bien que des faits ont pu être mis en évidence pour l'âge du Bronze et l'occupation gallo-romaine, l'accumulation des observations n'a pas encore permis de restituer la morphologie du monument au-delà du Moyen Âge. Les différentes fouilles (en puits et en cratère) ont grandement altéré les parements découverts entre 1980 et 1983, et leurs états de conservation ne permettent pas de simuler intuitivement des restitutions néolithiques du monument.

Après la lecture des archives, un relevé architectural complété par les observations géologiques et morphologiques a permis de mettre en évidence des faits qui n'avaient jusqu'à maintenant pas été perçus. Ces différentes observations indiquent que le couloir aurait connu deux phases de construction. Les différences sont trop nombreuses de part et d'autre des dalles de sol S6 et S8 pour conclure à une conception unique de cette architecture.

Mais avant de reconstituer ces deux phases de construction du cairn de Gavrinis, nous nous interrogerons sur la présence d'un monument antérieur puisque cette hypothèse a été formulée (Boujot et Cassen 2000a, p. 155).

9.2. Le site de Gavrinis a-t-il été occupé avant la construction de la sépulture collective ?

9.2.1. Les indices suggérant la présence d'un tertre à Gavrinis

En 2000, l'idée d'un tertre sous-jacent à la chambre funéraire de Gavrinis est émise (Boujot et Cassen 2000a, p. 155). L'hypothèse se fonde sur le fait que le plancher composé de dalles ne repose pas directement sur le plancher rocheux de l'île, mais est distant d'environ un mètre (par rapport à la face supérieure de la dalle de sol). P. Mérimée notera d'ailleurs dès 1836 cette disposition en rapportant qu'il est possible d'enfoncer « un bâton à une assez grande profondeur » (Mérimée 1836, p. 270).

Lorsque G. de Closmadeuc entreprend l'exploration de cet espace sous-dallaire, il remarque que :

> *« le remplissage était partout composé de pierrailles, de terre et de sable, d'où nous n'avons extrait que quelques fragments de poteries celtiques, deux ou trois éclats de silex et des débris de coquillages » (de Closmadeuc 1884, p. 182).*

En 1886, il s'attache à examiner le volume sous la dalle S13 de la chambre :

> *« Cet espace sous-dallaire n'était rempli que de terre noirâtre, de pierres tassées, parsemées de quelques débris de poterie, de parcelles de charbon, de petits cailloux roulés, de fragments de quartzite rosé et de cinq ou six coquilles d'huîtres et de buccins » (de Closmadeuc 1886, p. 66).*

Malheureusement ni la stratigraphie, ni la proportion de ces matériaux ne seront rapportées...

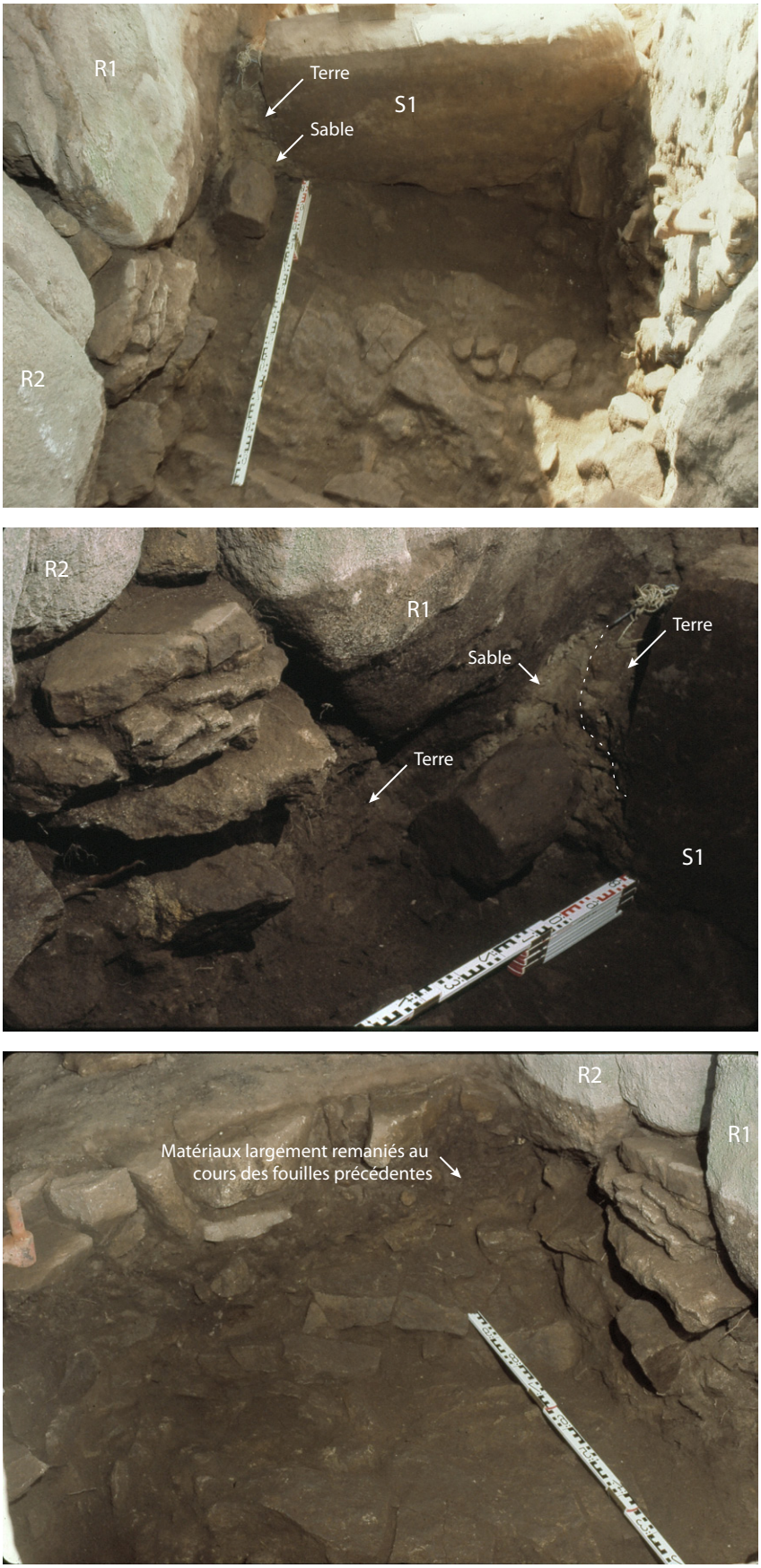
Les publications de C.-T. Le Roux, relativement floues au sujet des matériaux rencontrés lors des sondages de 1979, indiquent que le massif de contrefort au dos de C4 « reposait sur un lit de sable » (Le Roux 1981, p. 420). Mais ce n'est que dans le rapport non publié de 1979 que nous apprenons la puissance de ces sédiments (Cf. figure 89.21) (Cf. le chapitre [3.2.4.3.]). La coupe produite à l'occasion de ce sondage montre effectivement un massif construit en pierres sèches reposant sur le vieux sol par l'intermédiaire d'un lit de « beau sable blanc à grain moyen » (Le Roux rapport 1979, p. 4). La stratigraphie met en évidence une « tranchée de fondation » dans laquelle est installée C4. Profonde de quarante centimètres et large de cinquante centimètres, elle est entièrement remplie de ce sable marin avec quelques pierres flottantes. En dehors de la rigole, les sédiments ont une puissance d'une dizaine de centimètres et ils reposent sur un vieux sol (terres) de quelques centimètres. La combinaison de l'ensemble des observations permet de comprendre la relation entre les différents matériaux.

Le sondage réalisé au dos de L11 n'a pas permis d'établir de nouvelles observations car la zone a été trop perturbée sur toute la hauteur. En outre, l'objectif a semble-t-il été de consolider l'assise de la voûte de décharge sans chercher la stratigraphie de ce secteur.

Malgré les fouilles engagées par G. de Closmadeuc, ce même sable a pu être retrouvé également au niveau de l'entrée. Les textes produits mentionnent :

> *« de légères infiltrations d'un beau sable meuble très blanc, analogue à celui qui avait été rencontré derrière les dalles de chevet de la chambre en 1979, [et] reposant sur le vieux sol et garnissant la rigole de calage des piliers. On peut donc penser que ce « lit de sable » fait le tour du dolmen par l'extérieur. Le remplissage encore en place était sensiblement conforme à la description de Closmadeuc : pierres, pierrailles emballées dans une argile granuleuse sombre, chargée par endroits de particules de charbon de bois et de menus débris de poterie » (Le Roux rapport 1984, p. 4).*

Parmi les photographies prises lors de la campagne de fouilles, trois concernent le sondage au niveau de l'entrée (Cf. figure 59). Les fouilles de Closmadeuc ont épargné S1 et C.-T. Le Roux identifiera le sable et la terre évoqués par G. de Closmadeuc un siècle plus tôt. Les clichés montrent qu'entre S1 et R1, le sable est en contact avec le vieux sol et que la terre compacte l'ensemble. Cependant, les enregistrements lacunaires ne permettent pas de connaître les proportions et l'agencement entre les matériaux au-delà de cette zone.

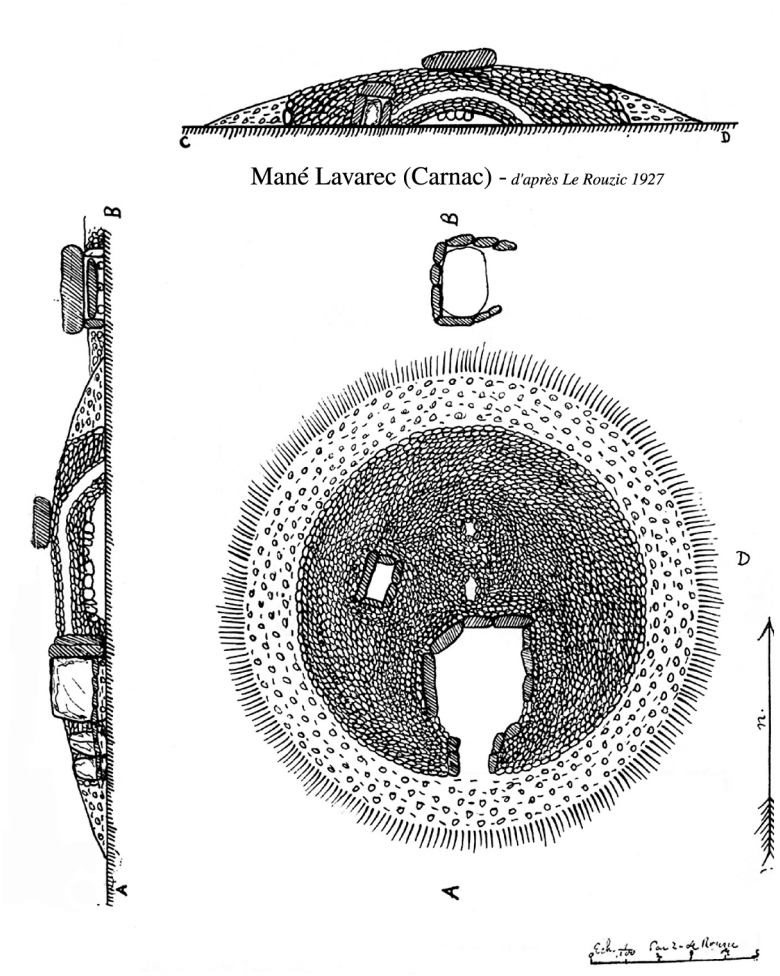


59. Sondage réalisé à l'emplacement de S2 et S3 à Gavrinis (photos d'archive de C.-T. Le Roux)

C'est la présence de ce sable qui permet en partie de supposer l'existence d'un tertre. De nombreux exemples de tertres dans le Morbihan montrent une composition sédimentaire incluant du sable. Cela a été notamment clairement identifié pour le tertre 2 du Moustoir (Boujot & Cassen 2000a, p. 155). Les sédiments hydromorphes qui constituent la majorité du volume de ce tertre reposent sur un lit d'une trentaine de centimètres de sable rempli de charbons. En outre, une comparaison étendue des observations faites lors des fouilles anciennes dans la région de Carnac révèle que les tertres néolithiques de l'Ouest de la France témoignent de « phases de constructions n'excédant pas deux apports contrastés de sédiments, et d'un choix répété en faveur de limons hydromorphes » (Boujot et Cassen 2000a, p. 158). La composition de ces tertres n'est peut-être pas anodine puisque l'apport d'éléments carbonatés permet – en neutralisant le PH des sols acides – de favoriser la conservations des ossements (Boujot et Cassen 2000a, p. 157).

9.2.2. Exemples de tertres sous-jacents à une sépulture collective

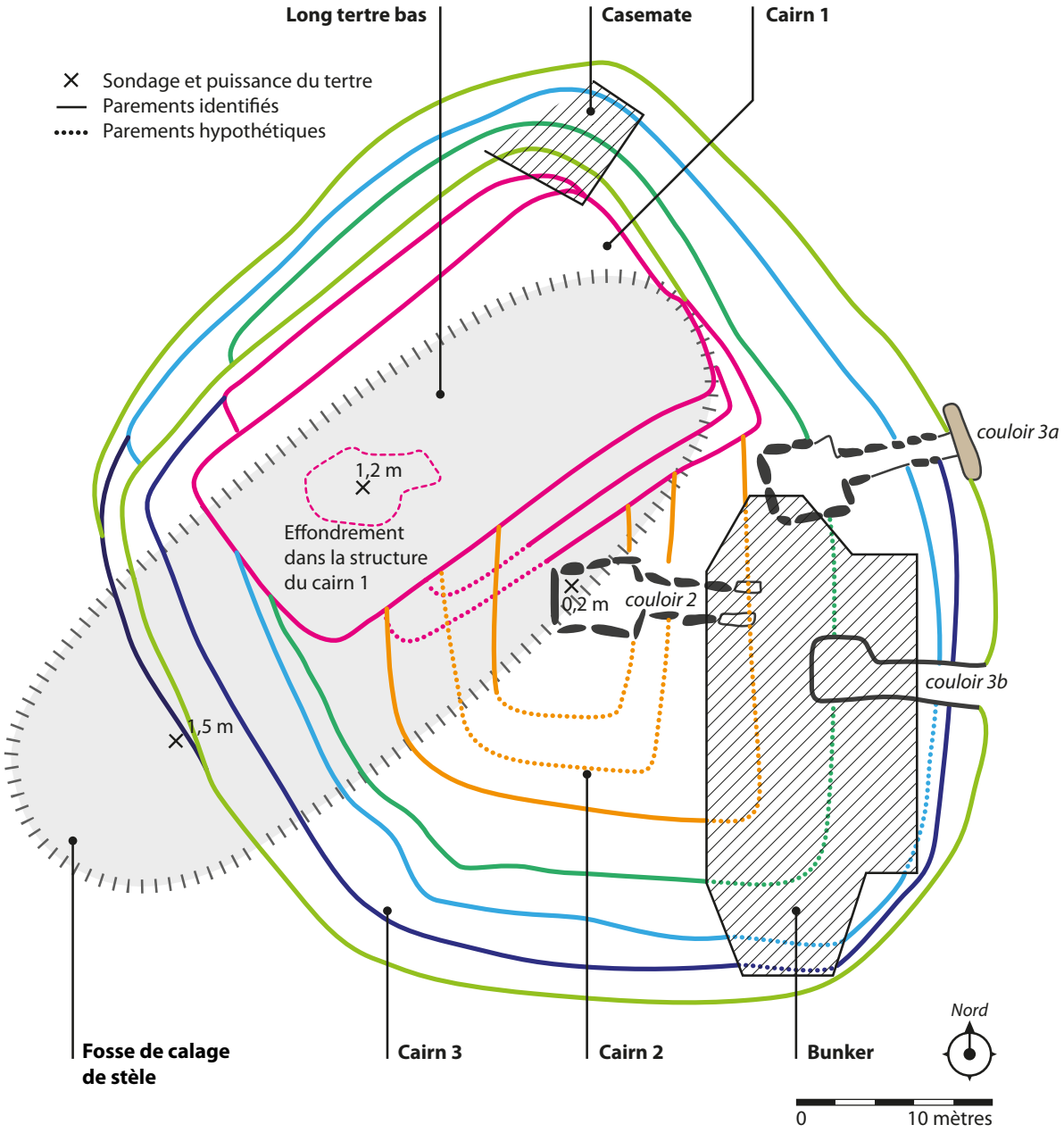
La réoccupation du même site par plusieurs sépultures n'est pas un cas isolé dans l'histoire, quelle que soit la période et la région concernées. Cela se manifeste par l'accrétion de matériaux sur une sépulture existante. Ces processus se retrouvent notamment dans la région de Carnac sous la forme de juxtaposition ou de superposition des structures.



60. Description du tertre de Mané Lavarec (Carnac, d'après Z. Le Rouzic 1927)

Le tertre de Mané Lavarec à Carnac fouillé entre 1897 et 1898 par Z. Le Rouzic (Boujot & Cassen 2000a, p. 156) montre que la tombe à très court couloir et à chambre circulaire n'est pas située au centre de la masse tumulaire (Cf. figure 60). La stratigraphie indique que cet emplacement est occupé par deux petits coffres enveloppés de sédiments jaunâtres. C'est sur ce premier tertre que la tombe à couloir a été adossée.

Le dolmen de Mané Gardreine à Carnac, toujours fouillé par Z. Le Rouzic, ne sera pas très bien décrit (Boujot & Cassen 2000a, p. 155). En revanche, le court couloir (1,2 mètres) conduit à une chambre de deux mètres de diamètre. Le sol est constitué par un dallage qui ne repose pas sur le sol naturel, mais sur une quarantaine de centimètres de limons hydromorphes. Bien qu'aucune interprétation ne soit fournie par le fouilleur, la présence de ces « vases » pourrait trahir la présence d'un tertre.



61. Plan schématique des structures découvertes à Petit Mont entre 1979 et 1990, d'après Lecornec, 1994

Le tertre Saint-Germain à Erdeven est aujourd'hui détruit. Mais il a été observé qu'il était effectivement composé « d'une ciste sur laquelle est venue se superposer un dolmen à couloir court » (Arnal 1956, p. 522).

L'exemple certainement le plus démonstratif concernant ces accumulations de sépultures est le site de Petit Mont (Arzon) fouillé par J. Lecornec entre 1979 et 1990. Plusieurs phases de construction de l'ensemble ont été mises en évidence (Cf. figure 61). La première étape correspond au tertre identifié lors de la recherche du paléosol en périphérie du parement externe. Une anomalie sur la façade Ouest a attiré l'attention. L'ensemble du parement externe repose sur « un lit de cailloutis régulier en épaisseur [...]. Les constructeurs ont semble-t-il voulu rattraper un sol inégalement plan, réalisant ainsi une plate-forme qui pouvait recevoir des parements dont la base s'est calée dans les cailloutis au fur et à mesure de leur élévation » de manière à ce que « la première assise des parements repose sur ce lit de cailloutis horizontal ». Mais ce principe constructif n'est pas appliqué pour une partie de la façade Ouest : « les deux parements les plus externes passent par-dessus un tertre que la plate-forme épouse ». (Lecornec 1985, p. 57). Ces observations ont été consignées dans un plan schématique daté de 1983. Cependant, les contours exacts de ce tertre n'ont pas été cherchés.

Le tertre est en partie recouvert par le cairn I. Il « a été sondé sérieusement » grâce à des « dégradations anciennes dues à une exploitation des pierres du cairn » (Lecornec 1987, p. 39). Le sondage a été réalisé jusqu'au pied du quatrième parement sur une profondeur de 1,50 mètre. La stratigraphie composant le tertre est ainsi décrite (de haut en bas) : base des parements – lit de cailloutis – hérisson de pierres – terre noire rapportée – substratum granito-gneissique. La terre noire composant ce tertre a également été identifiée en deux autres endroits. D'abord en 1983 quand le sondage dans la zone d'effondrement du cairn I a été réalisé. Cette couche n'a pas été traversée et le paléosol est estimé être à 1,20 mètre sous la surface de cette terre noire. La seconde zone concernée est située sous la dalle de sol de la chambre du cairn II et sur une épaisseur de 0,20 mètre.

Ces multiples présences de terre noire laissent présager un tertre long orienté Est-Ouest, la partie la plus haute étant orientée à l'Ouest. Le cairn I, parallèle au tertre, est légèrement décalé vers le Nord-Est de manière à ne pas le recouvrir entièrement : la partie Sud du tertre reste donc encore entièrement visible. Le cairn II vient s'appuyer sur le cairn I par le sud et ne laisse visible ainsi que l'extrémité occidentale du tertre. La dernière phase de construction englobera les structures des deux premiers cairns, mais le tertre ne sera toujours pas complètement recouvert. Il faut noter que les parements de ce dernier cairn sont particulièrement difficiles à mettre en cohérence depuis que le bunker en a détruit une bonne partie.

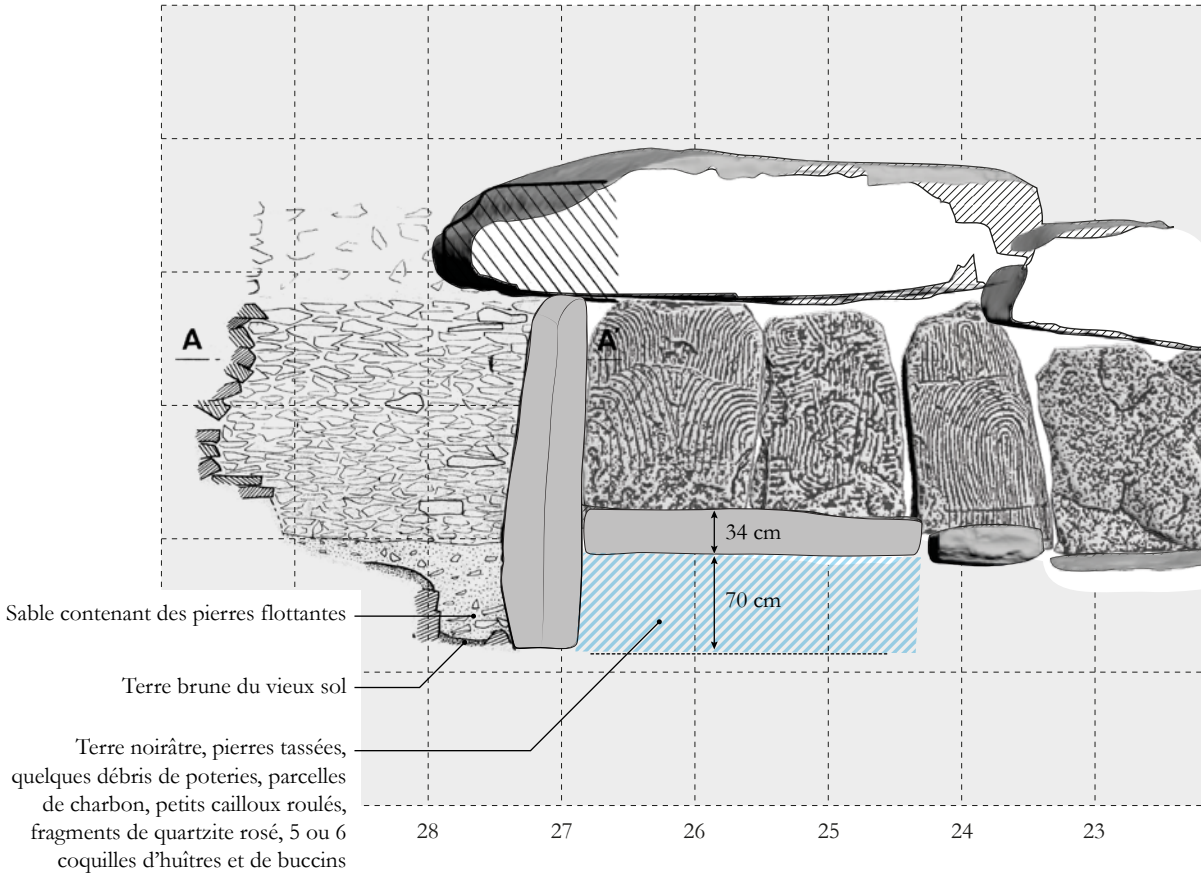
Pour terminer sur ces exemples de tertres inclus dans une autre sépulture postérieure, nous remarquerons qu'aucun cas de destruction de tombe n'a été identifié jusqu'à maintenant. Le projet d'extension respecte l'intégrité de l'espace funéraire existant (coffre ou ciste). En revanche, de rares exemples indiquent qu'il est possible que la masse des sédiments puisse être altérée. Cela a été observé lors de la fouille du tumulus du Notério à Carnac par Z. Le Rouzic. Les fondations des orthostates constituant le dolmen sont creusées dans une tumulation de terres jaunes compactes : un tertre (Boujot et Cassen 2000a, p. 156).

9.2.3. Les interactions entre l'hypothétique tertre et le couloir de Gavrinis

Le sondage au dos de C4 en 1979 a montré que la dalle est installée dans une « tranchée de fondation ». Cependant, la mise en relation des différents relevés et des différentes observations indique qu'il manque le symétrique de la fondation. Après le décroché de quarante centimètres, le sol naturel ne retrouve pas sous la chambre une altitude identique à celle connue à l'extérieur de l'emprise du couloir (Cf. figure 62).

La même configuration se retrouve au niveau de l'entrée – si tant est que nous pouvons extrapoler à partir d'informations aussi parcimonieuses. Nous ne savons pas si un décroché similaire à celui situé au dos de C4 existe à l'extérieur du couloir, mais les dalles ne semblent pas être en contact avec le plancher granitique de l'île. Les clichés du sondage montrent que des pierres de calages forment des murets particulièrement bien construits (Cf. figure 59). Les relevés établis sur cette portion du couloir n'indiquent pas de contact avec le sol, sans préciser la nature de l'interface (Cf. figure 89.22)

La stratigraphie de part et d'autre de C4 est totalement différente puisque le sable est absent de la description de G. de Closmadeuc sous S13, alors que – mélangé à quelques pierres – il atteint la même altitude que la sous-face de la dalle de sol S13. Cette rupture stratigraphique pourrait s'expliquer par la nécessité de verticaliser les orthostates en appui contre S13 : l'agencement est tellement précis entre S13 et les dalles de paroi qu'il est impossible que la dalle de sol soit installée *a posteriori*. La construction du couloir devait débuter par S13, et sa pose devait être suffisamment stable. Cette



62. Synthèse des archives pour déterminer la relation entre le plancher granitique de l'île et les éléments du couloir

condition ne pouvait pas être atteinte avec une fondation en sable. Le secteur nettoyé serait remplacé par un lit de pierre, la dalle S13 positionnée, les orthostates verticalisés (en terminant par le chevet), puis le pied des orthostates recouvert par du sable mélangé à des pierres.

Au niveau de l'entrée, du sable est également retrouvé en contact avec le vieux sol et recouvert par de la terre (Cf. figure 59). Cependant, le sable n'est pas mélangé ici, et G. de Closmadeuc mentionne le fait que le remplissage est aussi constitué de pierraille. Le sondage de 1984 ne permet pas de déduire les proportions et la stratigraphie de ces matériaux. Le sable et la terre étaient-ils en contact avec les parois, et les pierres au centre de manière à supporter les dalles de sol ? Il est aujourd'hui impossible d'apporter une réponse ferme à cette question.

Enfin, si nous cherchons une forme à ce tertre, il devient impossible de mettre en cohérence les observations avec les typologies connues. Il existe deux types de tertres néolithiques formellement identifiés dans la région carnacoise : les tertres ronds et les tertres bas allongés.

De nombreux exemples de tertres ronds possèdent un diamètre oscillant entre 10 et 12 mètres dans la région de Carnac (Boujot et Cassen 2000a). Citons par exemple le tertre de Kerbois (Carnac), de Mané Lavarec (Carnac), Saint-Germain (Erdeven), ou encore les tertres de Kernavest (Saint-Philibert).

Les recherches menées au cours des années 1990 montrent que les tertres allongés de la région carnacoise (Cassen 2000) présentent un plan trapézoïdal. Le coffre est situé dans la partie la plus étroite, qui est également la plus haute. C'est typiquement le modèle des tertres de Lann Granvillarec (Carnac) ou celui de Lannec er Gadouer (Erdeven).

Certains tertres sont représentés sous la forme de patatoïde, mais c'est parce que leurs contours exacts n'ont pas été recherchés, à l'instar du tertre de Petit Mont (fouillé avant que la connaissance de ces monuments soient beaucoup plus précise suite à la fouille de Lannec er Gadouer).

9.2.4. Conclusion

Seule la présence de sable permettait de suggérer la présence d'un tertre. Cette hypothèse avait été confortée par les relevés de sir H. Dryden et W.C. Lukis qui – faute de description de leur part – laissaient suggérer la présence d'une structure sous-jacente au cairn.

Depuis la formulation de l'hypothèse concernant ce tertre, de nouveaux documents relatifs aux dernières campagnes de fouilles (non-publiés et issus des archives de la DRAC Bretagne) permettent de mieux visualiser les matériaux et la stratigraphie. Les observations ne permettent pas de mettre en cohérence la stratigraphie d'un tertre à Gavrinis, mais il n'est pas possible avec ces seuls matériaux de déterminer la raison de ces aménagements.

De nouveaux sondages pourraient apporter des réponses aux interrogations soulevées par l'hypothèse d'un tertre antérieur au couloir de Gavrinis. Heureusement, il existe des réserves archéologiques sous les dalles du sol (Cf. figure 12).

9.3. La première phase de construction du couloir et le cairn associé

9.3.1. Le couloir comme seule source directe d'informations

9.3.1.1. Détermination de la portion de couloir

Nous avons déjà évoqué dans le chapitre [8.3.] un ensemble de différences entre l'entrée et le fond du couloir. Ces distinctions concernent la géométrie de l'architecture (au niveau de S6 et S8), la nature géologique (au niveau de S8) et la morphologie des blocs, et la répartition des gravures. Pour déterminer où se situe la césure dans la conception et la construction du couloir, nous nous appuierons sur une analyse structurelle.

Lors de la fouille de G. de Closmadeuc en 1884, il s'est avéré que la dalle de sol S6 est posée sur le chant et plonge jusqu'au plancher granitique de l'île, de la même manière que S1. Il est probable que S6 – posée dans la même configuration – a eu la même fonction, à savoir celle de matérialiser l'entrée du couloir. Une incertitude existe cependant au sujet de S8 puisqu'à l'instar des deux dalles citées précédemment, elle présente aussi un profil étroit en plan. Recouverte jusqu'en 1884 par sa voisine S9, elle n'a jamais été déplacée. Le sondage sous S9 n'a pas été complet, et celui de S7 n'a pas invité G. de Closmadeuc à des remarques particulières au sujet de S8. À vrai dire, le plan qu'il établira ne mentionne pas S8... Ainsi ne savons-nous pas si elle est également posée sur son chant.

Si nous tentons de considérer S8 comme une dalle de seuil et la fin du premier couloir, nous constatons une incohérence structurelle. Elle est située au milieu de l'orthostate L6, et exactement à la jonction entre R7 et R8. Mais en considérant les dalles de couverture, P6 est censée terminer le couloir. Si ce bloc repose de manière stable sur L6, il se retrouve en porte-à-faux sur R8 de sorte que nous pouvons estimer que l'entrée ne pouvait pas se situer sur cette portion du couloir. Bien entendu, nous ne considérons pas ici les structures arrières ou le comblement pouvant permettre de supporter autrement la couverture que par l'entremise de l'orthostate. Cependant, si ce mode constructif avait été utilisé, l'installation de R7 aurait été impossible. Or, nous avons précédemment vu que les accrétions de sépultures étaient réalisées sans détruire ce qui a précédemment été construit. De cette manière, il est possible d'exclure l'hypothèse d'un premier couloir se terminant au niveau de S8.

Appliquons maintenant la même analyse autour de S6. Elle est située devant L4, mais de manière à ce que son bord soit aligné sur la jonction entre L4 et L5, la plaçant *de facto* à l'extérieur du couloir. Pour l'élévation droite, elle est positionnée exactement à la jonction entre R5 et R6. En ce qui concerne les dalles de couverture, P5 repose de manière stable aussi bien sur L5 que sur R6. Aucun problème de stabilité ne peut être mis en avant ici.

Nous considérerons pour la suite de l'étude que S6 a formé l'entrée du couloir lors de la première phase de construction de la tombe à couloir.

9.3.1.2. Établissement d'une relation chronologique entre les dalles du couloir

Le relevé tridimensionnel a permis d'établir une relation précise entre les différentes dalles du couloir. Sans interroger le mode de manipulation des différents blocs, ni leur relation avec le plancher granitique de l'île, nous nous efforcerons de comprendre la dynamique suivie pour la construction de ce premier couloir. Il semble à première vue que tous les blocs soient juxtaposés par leur tranche et qu'il soit par conséquent impossible d'établir un lien chronologique. Or, une observation plus minutieuse permet de constater sur deux points qu'il n'en est rien.

D'abord, nous constaterons que les dalles C3 et C4 viennent s'appuyer respectivement contre C2 et C5. Le chevet apparaît ainsi avoir été installé après l'érection des dalles latérales de la chambre.

Si nous portons le regard ensuite sur l'articulation entre L11 et C1, il est difficile d'établir un lien chronologique puisque les dalles sont juxtaposées par leur tranche. En revanche, R12 est au premier plan et C6 est légèrement appuyée sur la dernière dalle du couloir. À moins que R12 ait été installée en pivotant dans l'axe du couloir – ce qui ne semble pas être probable –, l'orthostate de la chambre a bien été mis en place ultérieurement au couloir.

Le couloir apparaît donc avoir été le premier élément construit. Les dalles de la chambre dans le prolongement du couloir ont ensuite été installées, et enfin les dalles de chevet. Mais il faut noter que rien n'indique que la construction ait effectivement commencé des premiers orthostates de l'entrée (L5 et R6) vers la chambre. Les premiers blocs érigés peuvent très bien avoir été L11 et R12, puis les éléments du couloir et de la chambre sur une temporalité simultanée ou indépendante. La première option serait ainsi le reflet d'une organisation du chantier de construction permettant d'installer plusieurs blocs en même temps (de part et d'autre de R12 / L11).

Mais il faut aussi interroger la place des dalles de sol dans l'ordre de construction du couloir. Le bloc S13 formant le sol de la chambre funéraire questionne puisque les orthostates de la chambre bordent parfaitement cet élément de manière qu'il semble impossible de positionner la dalle de sol après l'érection des orthostates. D'ailleurs, G. de Closmadeuc s'est bien gardé de déplacer cet élément lors de son entreprise d'exploration du sous-sol du couloir (de Closmadeuc 1886). Pour la chambre, il apparaît évident que la dalle S13 ait été positionnée antérieurement aux orthostates. La même stratégie a par conséquent très bien pu être adoptée pour la construction du couloir. Cela aurait permis d'éviter par exemple un positionnement trop proche des dalles de paroi et donc d'échouer lors de la pose des éléments au sol.

9.3.2. Le plan du cairn I

9.3.2.1. Les structures internes connues

Le sondage de 1979 au chevet de C4 a permis de découvrir « un «parement» en secteur de sphère paraissant ceindre tout le chevet de la chambre en s'appuyant sur ses angles en-dessous au niveau de la table » (Le Roux rapport 1979, p. 3). Cette même structure sera décrite une autre fois comme « un massif de contrefort en « demi-ruche », fait d'un empilement soigné de grandes pierres plates » (Le Roux 1981, p. 420).

La première description est bien plus évocatrice que la seconde. Les relevés réalisés sur ce sondage (Cf. figure 89.21) ne permettent pas malheureusement de mieux comprendre l'agencement entre les différents éléments que ce qui est décrit dans les deux extraits précédemment cités.

9.3.2.2. Déterminer le plan par induction

Parmi tous les blocs formant le premier couloir de Gavrinis, un seul a une origine précisément connue. Il s'agit de la dalle de couverture P10 (Le Roux 1985). L'étude des cassures et les gravures découvertes sur la face supérieure permet de déduire qu'elle se raccorde parfaitement à la dalle de couverture de la chambre funéraire de la Table des Marchands (Locmariaquer). Ces deux éléments se raccordant parfaitement par leurs gravures permettent de reconstituer une stèle appartenant à un alignement sur le même site et dont le Grand Menhir Brisé était l'élément le plus imposant. Probablement détruit à la suite d'un séisme (Boujot et Cassen 2000b, p. 201), les stèles sont tombées et se sont brisées en plusieurs fragments (Cassen 2009c). Cet alignement brisé a alors servi de carrière pour la construction de la Table des Marchands et Gavrinis pour la dalle de couverture de leur chambre funéraire.

Les deux monuments ont été construits à la suite de cet accident et peuvent être considérés comme contemporains. Cette observation est vérifiée grâce aux datations radiocarbones exposées au chapitre [4.1.] en ce qui concerne Gavrinis, et celles obtenues pour la Table des Marchands (Cassen et al. 2009).

À la Table des Marchands, une modélisation chronologique des faits permet d'identifier trois dates correspondant au cairn (Cassen et al. 2009, pp. 747-757).

- Foyer 3 (GIF 7555 : 5040 ±70 BP), soit entre -3 950 et -3 660 ;
- Fosse 50 (LY 12312 : 4025 ±40 BP), soit entre -2 656 et -2 467 ;
- Base éboulis S2/T3 (LGQ 557 : ±120 BP), soit entre -1 860 et -1 260.

Le Foyer 3 se situe sous l'emprise du cairn mais est contemporain à la construction de la structure tumulaire : ce foyer en activité a été immédiatement recouvert par les pierres du cairn qui ont alors chauffé. Les deux autres prélèvements se situent devant l'entrée et sont postérieurs à l'édification. Pour Gavrinis, nous ne reprendrons que la date la plus ancienne et correspondant à la construction du couloir :

- Dalle S12 (Lyon-10785 : 5305 ±35 BP), soit entre -4 241 et -4 005.

Il apparaît que la première phase de construction de Gavrinis est un peu plus ancienne que celle de la Table des Marchands, mais les deux tombes se placent sur le même horizon chronologique (fin du Ve et du début du IVe millénaire). Cette contemporanéité et l'utilisation des mêmes éléments d'architecture permettent d'induire que les deux monuments partageraient la même conception. Cette idée est renforcée par le fait que les couloirs partagent exactement la même longueur, à savoir dix mètres. Nous pouvons alors supposer que la même enveloppe tumulaire habillait le couloir.

9.3.2.3. Déterminer le plan par déduction

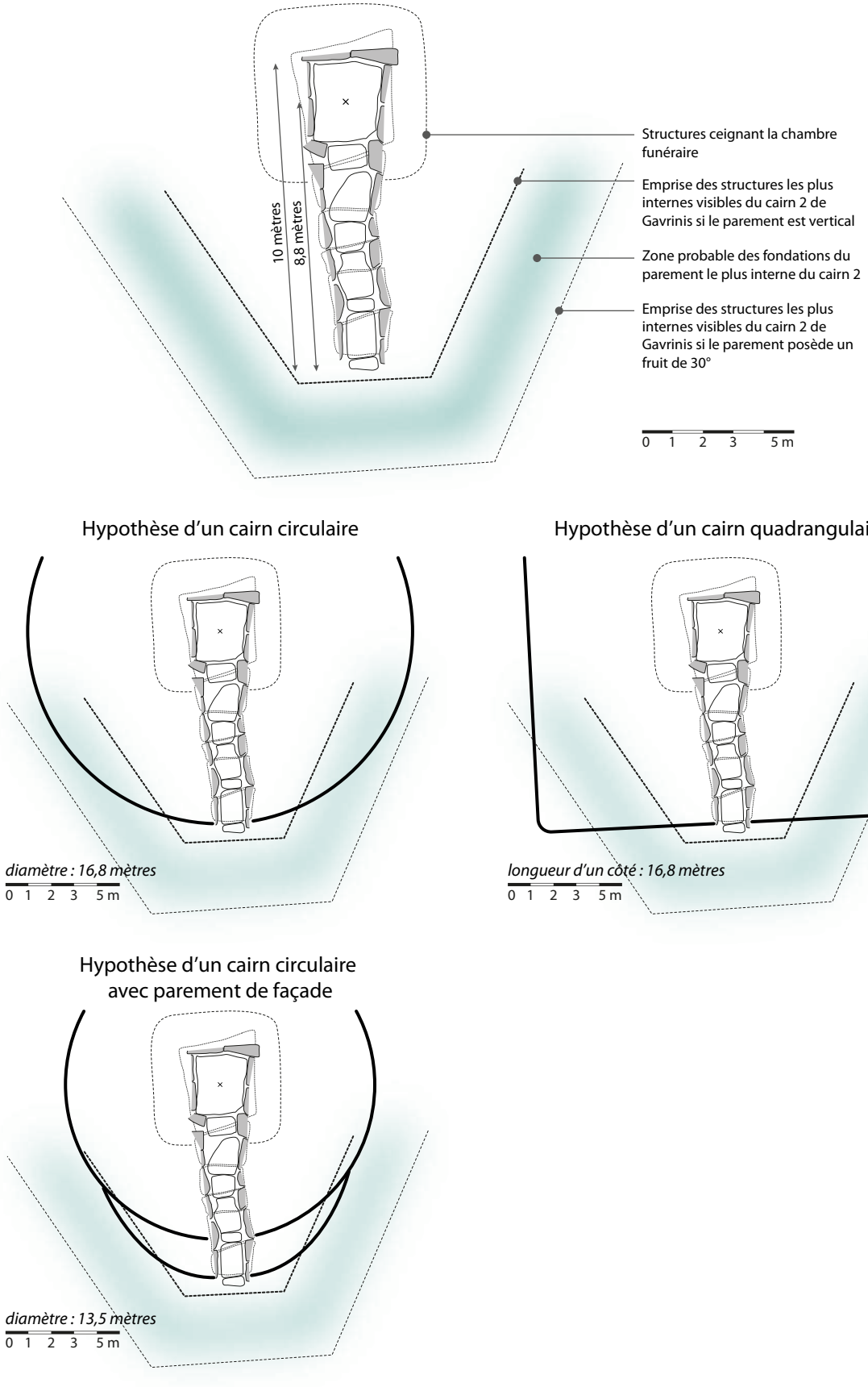
Le principal paramètre influant la conception de la structure tumulaire est la position de la chambre au sein du volume. Dans le cas d'une tombe à couloir unique, il n'existe *a priori* pas d'exemple montrant un décentrement entre la sépulture et l'enveloppe. Par conséquent, nous devrions obtenir un cairn ayant un rayon égal à la longueur du couloir de 8,8 mètres depuis le centre de la chambre (et non pas 10 mètres de l'entrée au chevet – Cf. figure 63). Nous réduirons les hypothèses de plans à deux cas de figure : une emprise quadrangulaire et circulaire.

Les dernières campagnes de fouilles ont mis en évidence des parements internes que nous associons à une phase de construction postérieure. Les murs de refends tels que désignés par C.-T. Le Roux s'organisent autour d'un noyau central. Ils ne sont pas cohérents avec le couloir de la phase 1 puisqu'ils outrepassent largement la première entrée. Leur emprise jusqu'au sol n'a jamais été déterminée, mais la numérisation tridimensionnelle du site permet de connaître exactement leur position relative au couloir. À partir de ce qui est connu, les structures sont extrapolées jusqu'au sol de manière à pouvoir déterminer une emprise maximale pour le premier cairn de Gavrinis. Le prolongement des structures internes du second cairn questionne le fruit à suivre. Si nous suivons les observations réalisées sur le parement de façade, le fruit est vertical jusqu'à la hauteur de la dalle de couverture P1, puis s'incline jusqu'à 30° en certains endroits. Il n'est bien sûr pas question d'appliquer *stricto sensu* ces constatations, mais cela donne une idée de ce qui peut être atteint. Une marge de probabilité peut donc être projetée sur le sol afin de visualiser l'emprise du cairn I (Cf. figure 63).

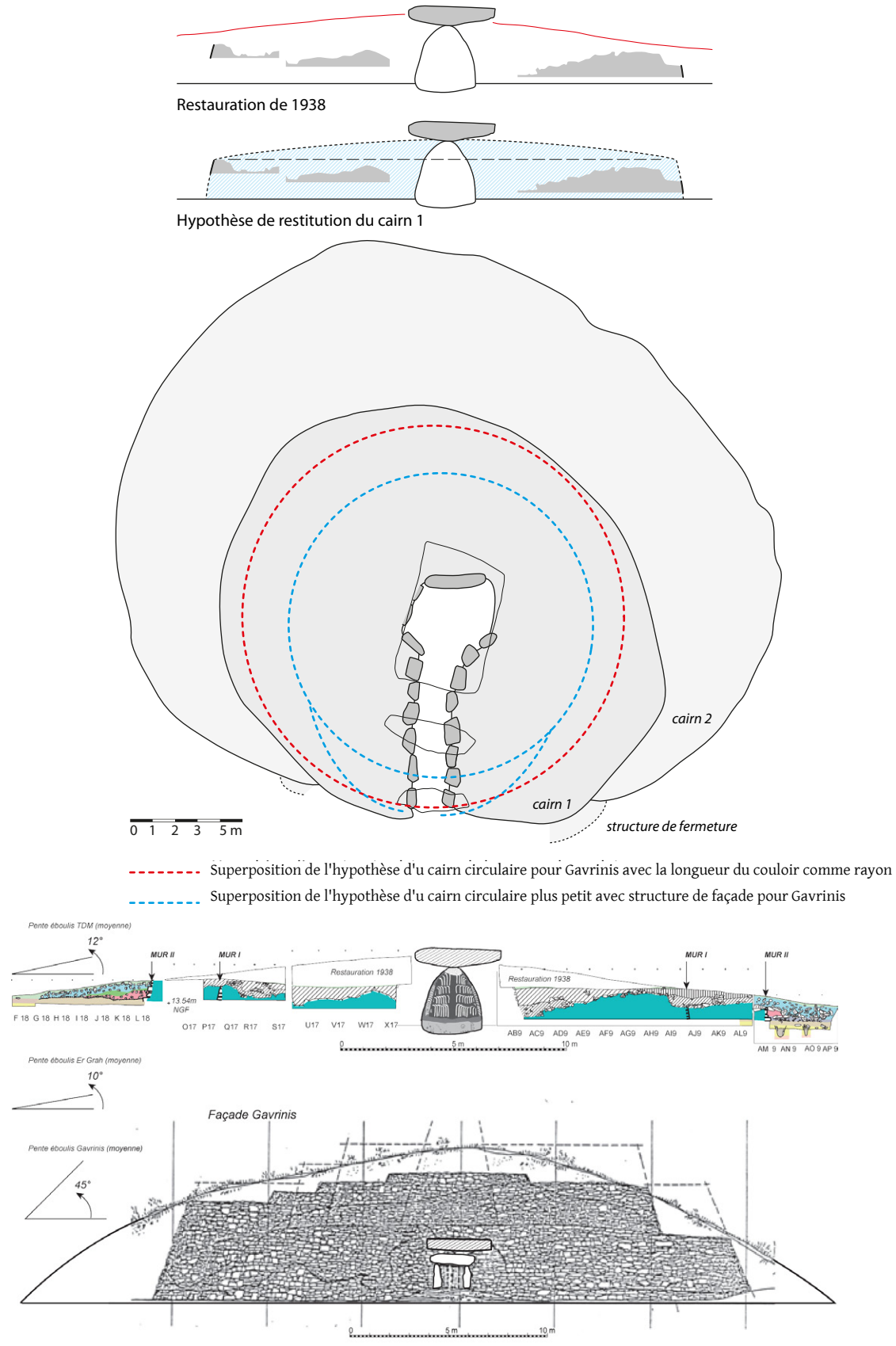
En procédant ainsi, nous pouvons constater qu'il est impossible de positionner une enveloppe quadrangulaire sans que le cairn II ne chevauche le premier. Il semble étrange qu'un tel choix ait été opéré au moment de l'extension du couloir et de la structure tumulaire. Une enveloppe circulaire semble beaucoup plus adaptée aux structures du cairn II. L'idée d'un cairn quadrangulaire peut ainsi être totalement écartée.

Lors de la première phase de travail, une structure circulaire ayant exactement le rayon du couloir semblait difficilement pouvoir être contenue dans les limites fixées par les structures internes du cairn II. C'est pourquoi un diamètre plus petit a été privilégié pour la restitution du cairn. Il s'appuie sur la dalle de sol étroite S8 que nous avons précédemment écartée pour déterminer la longueur du premier couloir. Un diamètre de 13,5 mètres a ainsi été obtenu pour l'enveloppe tumulaire, mais les premières dalles du couloir ne sont pas incluses dans l'architecture. Pour englober entièrement le couloir, un parement peut être accolé en façade – dans le même esprit que celui du cairn II de Gavrinis et que nous définirons dans le chapitre [10.4.3.4.]. Un dispositif de parement en façade a été mis en évidence à la Table des Marchands, mais il s'agissait d'un système permettant de condamner l'entrée du couloir et ne peut donc pas servir de point de comparaison.

Lors d'une seconde séquence de travail, la projection des parements internes du cairn II jusqu'au sol est mieux définie et il s'avère que la première observation doit être nuancée. Les structures du cairn II avec un fruit de 30° laissent encore suffisamment de marge pour l'option d'une enveloppe la plus large. Le diamètre de cette hypothèse atteint alors 16,8 mètres. Cette projection, comparée avec les plans de la Table des Marchands, favoriserait cette option car les deux enveloppes tumulaires



63. Etude pour déterminer l'emprise du cairn I de Gavrinis



64. Comparaison des architecture de la Table des Marchands et de Gavrinis pour montrer les différences d'élévation, d'après (Cassen et al., 2013a)

deviennent comparables (Cf. figure 64). Le cairn de la Table des Marchands a aussi connu deux phases de construction, mais sans allongement du couloir (Cassen et al. 2009, p. 743 ; Cassen 2009c, p. 895). De cette sorte, seule la structure (a) a été conçue en même temps que le couloir. La structure (b) est postérieure et se différencie par un mode constructif moins soigné.

La similarité entre le premier cairn de Gavrinis et celui de la Table des Marchands devient très grande : les couloirs sont de la même longueur, l'emprise tumulaire est analogue, et les dalles de couvertures proviennent de la même stèle brisée. Elles ne sont seulement pas orientées de la même manière : les gravures sont visibles à la Table des Marchands, mais tournées vers le ciel et recouvertes par le tumulus à Gavrinis.

Deux hypothèses de restitution du cairn I de Gavrinis ont été présentées. Si la première semblait s'imposer lors de la première phase de travail, cette assertion est à nuancer après une prise de recul. La deuxième option apparaît aujourd'hui plus cohérente que la première.

Si des fouilles archéologiques devaient être un jour engagées à Gavrinis dans la masse tumulaire et autour du couloir de ce premier monument, il devrait être possible de valider l'une ou l'autre de ces hypothèses car les structures sont probablement simplement recouvertes par le cairn II.

9.3.3. L'élévation du cairn I

Nous avons pu établir que le cairn I de Gavrinis était en tout point semblable en plan à celui de la Table des Marchands dans sa première phase de construction. Malgré le manque d'observation directe à Gavrinis, cela nous autorise malgré tout à formuler des hypothèses de restitution pour imaginer les élévations de cette première tombe.

À Gavrinis, il a été reconnu lors du sondage de 1979 que le massif de contrefort au dos du chevet venait « s'appuyer sur ses angles en-dessous au niveau de la table » (Le Roux rapport 1979, p. 4). La description continue en précisant que :

> *« ce bourrage était fait de beaux moellons généralement de belle qualité et de forme assez plate ; la périphérie étant faite des meilleurs d'entre eux soigneusement appareillés, bien mieux même que le parement qui les moulait extérieurement de sorte que l'on peut penser que la structure originelle était en fait un massif de maçonnerie plaqué contre le chevet de la chambre, habillé ensuite par la masse du cairn ».*

C'est la seule indication directe que nous pourrons obtenir sur le site, mais le cairn de la Table des Marchands nous fournira les informations manquantes.

Le site de Locmariaquer a été restauré deux fois, mais une lecture fine des différentes sources d'informations (vestiges et archives) permettent de déconstruire les deux dernières restaurations menées en 1938 et 1994 (Cassen 2009a). La dernière et celle encore visible suivra le modèle établi par J. L'Helgouac'h et appliqué à Barnenez par P.-R. Giot. Cette formulation est contestée par S. Cassen qui, après comparaison des angulations d'éboulis entre différents sites (Er Grah, et Gavrinis), estime à juste titre qu'il est impossible de restituer un volume recouvrant la dalle de couverture (Cassen 2009c,

p. 904). D'ailleurs, Z. Le Rouzic est celui qui approcha peut-être le plus la forme d'un cairn néolithique pour cette configuration de tombe en « prolongeant par la pensée les pentes des éboulis » (p. 900).

Seul le cairn I de la Table des Marchands nous intéresse afin d'argumenter la restitution de Gavrinis. Le mur 1 conserve des élévations inégales. La structure à gauche du couloir (Cf. figure 64) indique qu'elle arrivait déjà aux trois-quarts de l'élévation du chevet. Si ce « point le plus haut » aujourd'hui était aussi celui de l'élévation initiale, la projection d'un profil passant juste dessous la dalle de couverture est possible. Le profil de la masse tumulaire ne s'aplatit pas complètement entre la périphérie et la



1/ Parements du couloir et de la chambre latérale.



2/ Dalles et table de couverture.



3/ Parement de la ceinture interne du tumulus.



4/ Parement de la ceinture externe formant la façade du monument.



5/ Blocage entre les parements du tumulus.
Restitution hypothétique.



6/ Le sommet du monument n'est pas connu.
Proposition de dalles formant assises de stabilisation.

Extrait du court métrage Dolmen de la Petite Perotte - Fontenille (16230)"
www.youtube.com/watch?v=w24ZgPWNRbE (consulté le 27/06/2015)

Cette restitution a été réalisée par Archéotransfert pour le Projet Collectif de Recherche (2013-2015) « Le Nord-Charente au Néolithique moyen et récent (3500-2900 av J.-C.) : enceintes fossoyées mégalithiques et territoires » (coord. V. Ard, CNRS, UMR 5608 TRACES)

65. Application de ce modèle de cairn à Gradin sur le cairn de la Petite Perotte (Fontenille)

chambre puisqu'il conserve une pente de 6°. Ce pendage formerait alors un cône sur lequel semblerait être posée la dalle de couverture. Une structure similaire peut tout à fait être pensée pour le cairn de Gavrinis (Cf. figure 140).

La question du traitement de la surface ainsi aménagée reste énigmatique à ce jour mais doit être posée. Cette surface globalement plane malgré la légère pente a-t-elle reçu des plaques de pierre afin de conserver un aspect totalement minérale comme le suggère la restitution du dolmen de la petite Perrotte (Fontenille, Charente-Maritime – Cf. figure 65) ? Ou bien un substrat végétal a-t-il pu être volontairement ou naturellement créé de manière à ce qu'une végétation spontanée puisse se développer ? La façade actuelle de Gavrinis connaît à chaque printemps un développement important d'herbes folles dans les interstices du mur en pierres sèches que seul un entretien régulier permet



Clichés : S. Cassen

66. Végétalisation spontannée de la façade restaurée de Gavrinis

de contrôler (Cf. figure 66). Qu'en était-il au Néolithique ? Dans quelle mesure la communauté entretenait-elle les sépultures ? Ce sont autant de questions soulevées et qui ne trouveront pas de réponses ici par défaut de matériaux de discussion.

9.3.4. La question de la préservation des corps des défunts

La disposition architecturale établie pour le cairn I de Gavrinis et consolidée à partir de l'étude de la Table des Marchands indique que la structure tumulaire laissait la dalle de couverture de la chambre funéraire apparente. Par extension, cela implique que tous les blocs couvrant le couloir devaient être apparents. Mais il se pose alors la question de l'usage et de la mission accordée à cet espace funéraire. Un tel dispositif ne permet pas une étanchéité à l'eau de l'espace funéraire. Or il semble paradoxal d'investir autant d'énergie dans la construction de ces tombes sans montrer une quelconque forme de sympathie pour assurer l'intégrité de la dépouille du défunt.

9.3.4.1. Les indices révélant cette préoccupation

Il n'est pas question ici de traiter les questions d'ethnologie des rites funéraires et d'essayer de déterminer la pratique la plus adéquate au Néolithique sur ce type particulier de sépultures collectives. En revanche, des observations issues d'autres sites peuvent nourrir la réflexion.

Au Danemark, les fouilles minutieuses conduites par T. Dehn ont permis d'établir plusieurs faits ayant pour objectif d'étanchéifier l'espace funéraire (Dehn et al. 2002). Les conditions exceptionnelles de conservation des tombes de Maglehøj et de Jordøj notamment ont permis de découvrir que des écorces de bouleau ont été disposées aussi bien entre chaque lit de panneresses qu'entre les pierres de dimension plus importantes et les dalles de couverture. Ces écorces mesurent entre deux et quatre-vingt centimètres de long, et sont placées à force dans les joints, pliées en deux avec la face interne orientée vers la chambre. Bien que ce dispositif ne se soit pas toujours bien conservé en raison de la fragilité du matériau, les indices récoltés sur les différents sites permettraient de généraliser leur présence à toutes les tombes collectives du Danemark. Leur datation permet de placer la construction de ces sépultures entre 3 300 et 3 100 av. J.-C.

Il a été observé qu'en association à ce matériau périssable vient aussi s'ajouter de la boue crayeuse dans les interstices des parois. La même fonction d'étanchéification est associée à ces sédiments, mais l'hypothèse d'un amortissement du poids des superstructures est aussi évoquée. De cette manière les blocs souffriraient moins des fractures par compression. Au sujet de ces panneresses, il faut noter aussi qu'elles sont placées de façon à plonger dans la masse du cairn, à l'instar des ardoises d'un toit qui se chevauchent. L'eau est naturellement évacuée vers la périphérie de la chambre, et la terre ne peut pas entrer dans la chambre par effet d'écoulement.

Autour de la chambre, du silex ou du granite broyé est accumulé. Ce remplissage rempli une fonction de drainage et permet d'éviter la stagnation de l'eau. De plus, sont caractère « autobloquant » permet aux couches supérieures d'être beaucoup plus stables et d'éviter un étalement de la structure.

Un autre aspect fonctionnel de l'étanchéification de l'espace funéraire est pointé par T. Dehn. Il met en avant le fait que « l'hypogée doit être parfaitement étanche. Si l'eau ou les animaux parviennent à y pénétrer, l'érosion entraînera tôt ou tard la déstabilisation des grosses pierres » (Dehn et Hansen 1990, p.13).

Ces exemples scandinaves montrent bien toute l'attention portée à la préservation de la chambre funéraire de toute infiltration d'eau. Bien qu'il ne s'agisse pas de la même aire géographique, moins d'un millénaire séparent les tombes danoises des cairns I de Gavrinis et de la Table des Marchands.

Un autre exemple du Sud de l'Europe fait état du même souci d'évacuation de l'eau de l'espace sépulcral. En Sardaigne, la pratique du Néolithique moyen et début de l'âge du Bronze consiste à déposer le défunt dans des hypogées creusées dans le flanc d'une montagne (Basoli et al. 2014). Les tombes de Monte Acuto (Sardaigne, Italie) sont composées d'une antichambre et de pièces latérales (servant de dépôts) à l'espace principal (§ 17). Afin d'éviter l'inondation du sous-sol, un soin important a été porté sur la canalisation des eaux de pluies permettant leur évacuation rapide (§ 26).

La protection de l'espace funéraire des infiltrations d'eau est donc une préoccupation commune au Néolithique, au Nord comme au Sud de l'Europe.

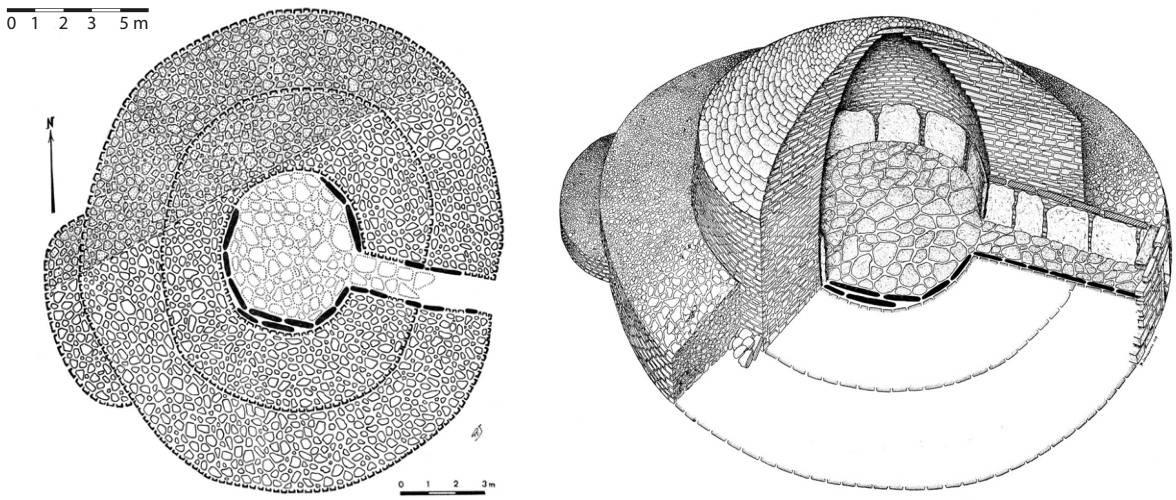
9.3.4.2. Observations issues des tombes à couloir de l'Ouest de la France

Ces deux exemples légèrement postérieurs à Gavrinis et à la Table des Marchands sont révélateurs d'un même souci de préserver les dépouilles de l'eau. Sur la façade Atlantique, il semblerait étonnant que le même soin n'ait pas été porté pour les dolmens avec un volume d'éboulis relativement faible. Le questionnement prend une ampleur plus importante encore pour les tombes à couloir dont les dalles de couverture ont disparu et/ou dont la surface est particulièrement importante.

Les restitutions pour ces monuments sans dalles de couverture proposent encore une fois l'application du modèle de restauration du type Barnenez, comme le montre le travail effectué par R. Joussaume (Joussaume 1978) sur le dolmen dit « la Ciste des Cous » (Bazoges-en-Pareds, Vendée – Cf. figure 67). La couverture en encorbellement est présentée comme la seule alternative possible. Aucune autre solution n'est envisagée dans l'article. Mais il faut reconnaître que non seulement le volume des éboulis n'a pas permis de restaurer très au-delà de la hauteur des dalles de parois comme le suggère les images de la restauration, mais des doutes peuvent aussi être évoqués quant à la stabilité d'une telle couverture. D'après le volume de matériaux restant, le modèle de structure tumulaire déterminé à partir de la Table des Marchands devrait pouvoir être appliqué ici. La différence réside dans l'absence de dalles de couverture. Or, il paraît inconcevable qu'une telle sépulture reste ainsi exposée au ciel et aux intempéries. Un dispositif reste donc à inventer.

La réflexion conduite sur les sépultures à chambres compartimentées interroge aussi les archéologues puisque les matériaux de construction pour former la couverture font défaut. Les commentaires rédigés à la suite de la fouille du cairn de Kerleven (la Forêt-Fouesnant, Finistère – Cf. figure 68) permettent de clarifier la perception de ces architectures (Le Roux et L'Helgouac'h 1967, p. 37) :

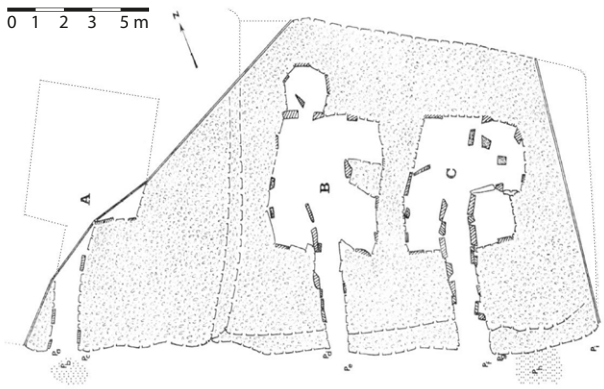
> *« Nous savons déjà qu'une couverture par grande dalle est à exclure. À cela il y a deux raisons : l'absence d'une telle dalle sur le site, et il serait bien étonnant qu'il n'en restât pas la moindre trace si elle avait existé, et aussi l'impossibilité de trouver des grandes pierres dans la région.*



67. Restitution du dolmen à couloir dit « la Ciste des Cous » à Bazoges-en-Pareds (Vendée, d'après R. Joussaume, 1981)

> *La solution d'un encorbellement classique est également à exclure. Sans doute cette possibilité de recouvrement n'aurait-elle pas été impossible, même à partir d'une chambre carrée, mais elle aurait conduit à monter le faîte de cette fausse coupole à une très grande hauteur, sans doute plus de six mètres, et, pour tenir en équilibre cet échafaudage, il aurait fallu un contrepoids puissant. Or la proximité entre les parements intérieurs et les parois de la chambre ne permet pas de soutenir cette hypothèse qui nécessiterait au contraire un étagement de parements successifs, inexistants ici.* »

La comparaison avec d'autres sites aux chambres compartimentées (ceux de Mané Groh et Mané Bras à Erdeven, Morbihan) nuance le propos et montre que des solutions peuvent être trouvées dans certains cas. Il apparaît en effet que la couverture des chambres latérales servait de support pour les dalles couvrant le couloir, et que cette construction étagée permet ainsi de retrouver une image plus conventionnelle du dolmen. Ces dispositifs sont dits se répéter sur les sites de Lesconil et Kervadel (Plobannalec, Finistère). Pour s'approcher de ces observations, un système intermédiaire entre ce qui est décrit précédemment et la voûte à encorbellement est projeté, ce qui nécessite la mobilisation de longues dalles avec des piliers internes comme support de l'ensemble (Cf. figure 68). Cependant, le dispositif restitué peine à convaincre car il implique le report de poids très importants sur des dalles formant des poutres. Il est peu probable que ces éléments transversaux aient pu résister à des charges aussi importantes. Structurellement, il y a peu de chances pour que le mode constructif tel que présenté soit viable.



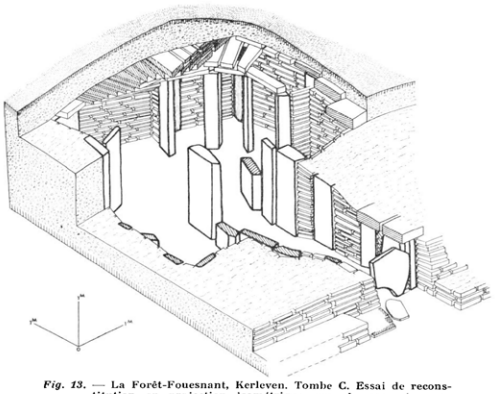


Fig. 13. — La Forêt-Fouesnant, Kerleven. Tombe C. Essai de reconstitution en projection isométrique avec la couverture en encorbellement composé à grands éléments.

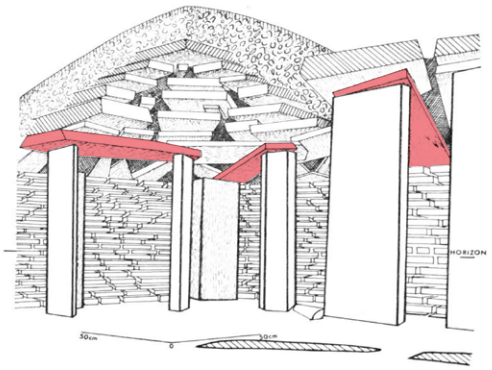


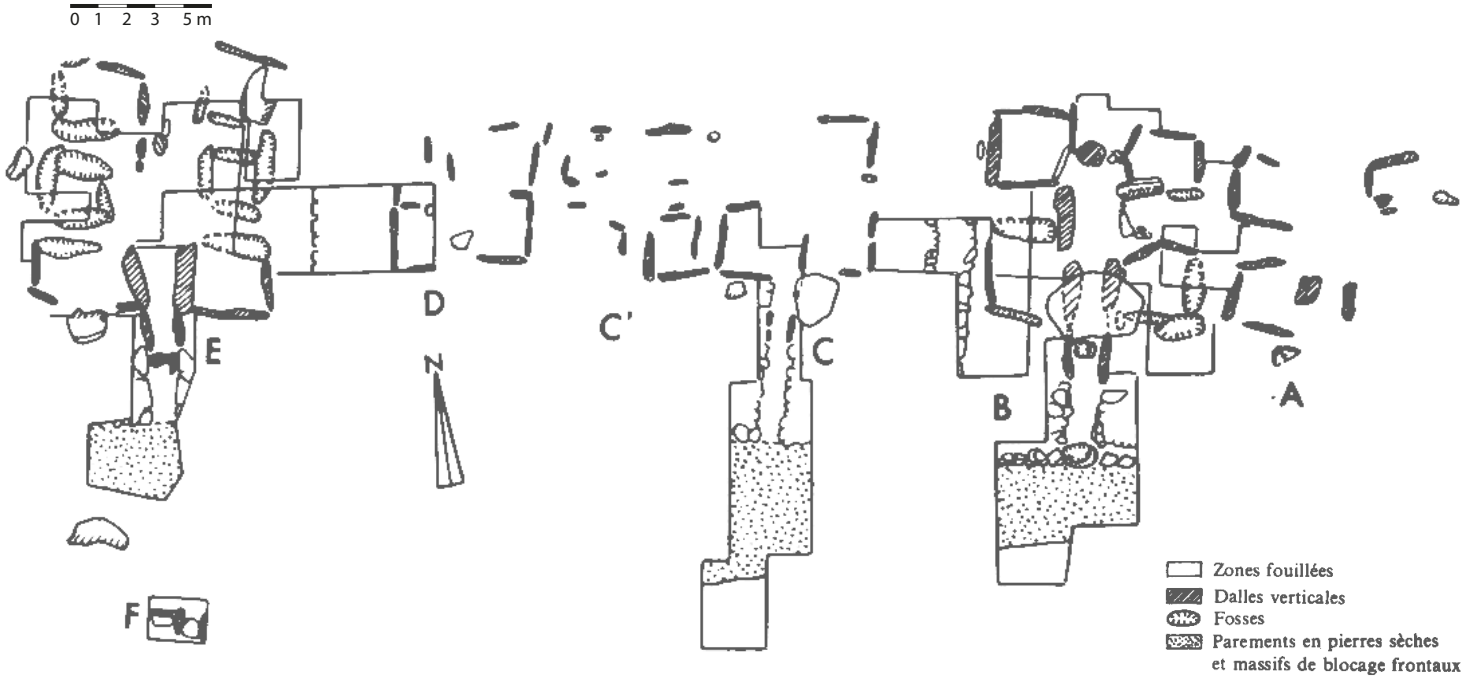
Fig. 14. — La Forêt-Fouesnant, Kerleven. Tombe C. Essai de reconstitution, en perspective, de la couverture du coin N.-E. de la chambre.

En rouge, les éléments pouvant présenter des faiblesses.

68. Plan du dolmen de Kerleven et restitution de couverture pour la chambre C (La Forêt-Fouesnant, Finistère) d'après (C.-T. Le Roux et J. L'Helgouac'h, 1967)

Le sujet est repris en 1983 à l'issu des cinq campagnes de fouilles du site de Quélarn (Plobannalec, Finistère). Le plan (Cf. figure 69) indique la présence de tombes à chambres compartimentées avec des franchissements importants pour la couverture (Giot 1983). L'état de conservation du site ne permet pas de trouver la solution, mais

> *« un des problèmes contrariants qui reste ouvert, c'est celui du mode de couverture de ces chambres compartimentées et même de ces couloirs, en dehors de la première table interne qui subsiste en B [...[1]]. Les anciens archéologues parlaient de sépultures « à ciel découvert », « à couverture ignorée », etc. Il reste de fait étonnant que, malgré les déprédations, qui ont respecté les infrastructures souvent assez complètement, il ne subsiste pas davantage de fragments ou d'indices, révélant s'il y avait eu couverture encorbellée sur chaque compartiment et une série complète de tables d'un bout à l'autre des couloirs. On est conduit à se poser des questions, surtout avec le type de dalles en granite disponibles dans la région. Ou bien, pour couvrir les compartiments et le dégagement central, on avait des échafaudages fragiles de petites pierres s'élevant au-dessus du niveau d'ensemble des cairns, qui ne semblent pas avoir été très élevés, ou bien il aurait fallu des tables considérables, toutes disparues à l'exception de cette première table qui se trouvait toujours sur une paire de piliers massifs que les autres, et au sommet en inclinaison vers l'entrée du monument. Que des tables en position instable aient persisté, et pas les autres, est un fait curieux. Pour les couloirs, on peut imaginer qu'ils étaient très bas de plafond, comme dans beaucoup de monuments des péninsules et des îles, de Quiberon au Nord du Finistère. On a jadis proposé aussi des couvertures en bois pour ces chambres ; il est certain que ce serait plus facile à installer mais de courte durée ; cela expliquerait peut-être pourquoi elles ont été si souvent réutilisées de manière peu orthodoxe à l'âge du Bronze, si ce n'est dès le Néolithique final. Bref elles n'ont pas fini d'intriguer » (p. 13).*



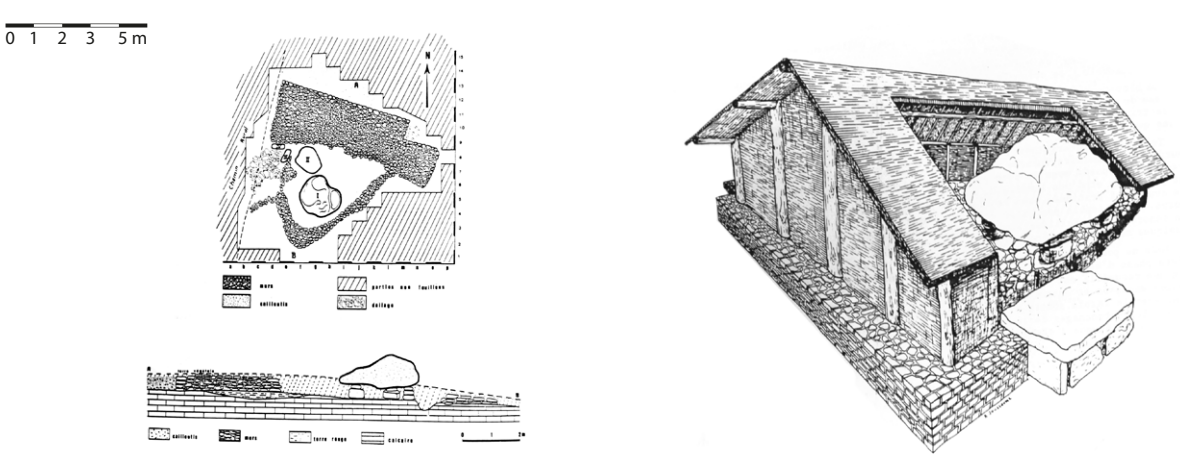
69. Plan du site de Quélarn (Plobannalec, Finistère), P.-R. Giot 1983

1 P.-R. Giot précise que la même observation est faite à Kervadol et à Kervignon, deux tombes situées dans la même commune de Plobannalec.

Des éléments de réponse peuvent en revanche surgir à partir du dolmen de la Pierre Virante (Xanton-Chassenon, Vendée). Fouillé par R. Joussaume, les secteurs Est et Ouest du cairn montrent que :

> *« deux lignes de pierres, formant une murette mal construite, [...] se rejoignent au Sud. À l'Ouest cet alignement est rompu par l'existence d'une cella dallée en opus incertum qui fut en partie détruite par le tracé d'un chemin. La fouille minutieuse de ces lignes de pierres devait nous permettre d'y trouver des trous circulaires que je ne sus pas très bien interpréter à l'époque. Des trous semblables mais plus vastes furent aussi mis en évidence sur la plate-forme. Il ne peut s'agir que de l'emplacement de poteaux en bois qui supportaient la couverture de l'édifice et les deux lignes de pierres n'avaient pour rôle que de maintenir les poteaux latéraux.*
>
> *Il suffit dès lors d'imaginer la toiture du monument à l'intérieur duquel on devait pénétrer par une porte à l'Est » (Joussaume 1982, p. 407).*

La figure 70 est alors donnée en appui à son discours. L'image proposée n'est pas argumentée et il est difficile de comprendre dans quelle mesure elle est fidèle aux observations réalisées sur site. Quoi qu'il en soit, il s'agit d'une structure qui semble hériter d'un important vocabulaire de l'architecture domestique. Certainement ambitieuse par rapport à ce qui a été observé sur le site, la restitution n'ouvre pas moins la voie d'une réflexion concernant le problème évoqué : comment l'espace funéraire était-il préservé des infiltrations d'eau ?



Restitution du dolmen de la pierre virante (Xanton-Chassenon) d'après R. Joussaume

70. Restitution du dolmen de la pierre virante (Xanton-Chassenon) d'après R. Joussaume, 1981

9.3.4.3. Une tentative de réponse

L'association du vocabulaire de l'architecture domestique avec celui d'une sépulture n'est pas un fait exceptionnel au Néolithique. Deux exemples peuvent être cités :

- Les *cult houses* de Scandinavie sont des espaces funéraires construits en pierres sèches et en bois. L'un des exemples les plus célèbres est peut-être le site de Tustrup (Allingåbro, Djursland, Danemark – Cf. figure 71) (Tilley 1996, p. 278). La restitution du monument présente une structure périphérique construite en pierre, alors que le centre est occupé

par un espace couvert par une charpente en bois, les poteaux se situant en contact avec les rocs.

- Les hypogées sardes que nous avons cités précédemment montrent que les tombes creusées dans le roc reprennent parfois les motifs des piliers et des charpentes d'habitat. Cela est particulièrement visible pour la *domus* Chiaramonti de la nécropole de Su Murrone (Cf. figure 72). L'effort consenti à imprimer dans le roc le vocabulaire spécifique des architectures en bois ne peut pas être anodin.



71. Plan et restitution de la *cult house* de Tustrup (Allingåbro, Danemark)

Plan : (Tilley 1996)
Clichés : G. Bachmann



Clichés : G. Careddu

72. Vue intérieur de la domus Chiaramonti (nécropole de Su Murrone)

À travers ces deux exemples, l'idée que les sépultures collectives néolithiques étaient majoritairement, voire exclusivement, conçues en pierres peut être nuancée. Le bois trouve également une place importante. Cependant, ce matériau se conserve mal à travers les siècles s'il n'est pas entretenu régulièrement et il peut être très difficile de le détecter lors des campagnes de fouilles si les conditions de conservation n'ont pas été un minimum favorables. Peut-être qu'une attention plus attentive aux traces caractéristiques de ce type de construction (trous de poteau notamment) pourra aussi mieux mettre en évidence son utilisation dans ce contexte.

Il est aujourd'hui tentant de se livrer à une création architecturale pour couvrir ces tombes avec une structure en bois. Cependant, les données concernant ces sépultures de l'Ouest de la France sont aujourd'hui encore trop lacunaires pour fonder solidement une restitution viable. En effet, les paramètres sont encore trop variables : n'y avait-il que le toit de construit, où les murs l'étaient-ils aussi ? La couverture concernait-elle toute l'emprise du cairn ou seulement celle du couloir ? Enfin ce type de travail inclus toutes les difficultés liées à la restitution d'une architecture en bois car l'emprise au sol (les seules traces qui nous parviennent) ne reflètent pas nécessairement les superstructures et la part créative peut-être très (trop ?) grande pour pouvoir être un jour archéologiquement fondée.

9.4. La seconde phase de construction du couloir et le cairn associé

9.4.1. Introduction

À cette première phase de construction et d'utilisation de l'espace funéraire vient se succéder une seconde architecture. Le couloir a été allongé grâce à la mise en place de dix nouveaux orthostates, cinq dalles de sol et quatre dalles de couverture. Alors qu'il mesurait dans sa première phase 10,2 mètres, il atteint désormais 15,9 mètres. Cette transformation modifiera également profondément l'aspect extérieur de la sépulture suite à l'accrétion de matériaux. L'origine de sa destruction a déjà été discutée (Cf. le chapitre [4.1.1.]). Tous les parements visibles aujourd'hui en façade appartiennent à cette phase de construction. Contrairement à la restitution du cairn I, nous posséderons donc ici de bien plus d'observations directes pour argumenter les hypothèses.

À ce jour, aucun indice ne permet de déterminer le temps écoulé entre ces deux instants. Si nous pouvons annoncer une construction probable du cairn I entre 4 241 et 4 005 avant J.-C. (Cf. le chapitre [4.1.1.]) grâce à une date issue de la mise en forme de S12, nous ne disposons pas d'équivalent pour l'extension du couloir.

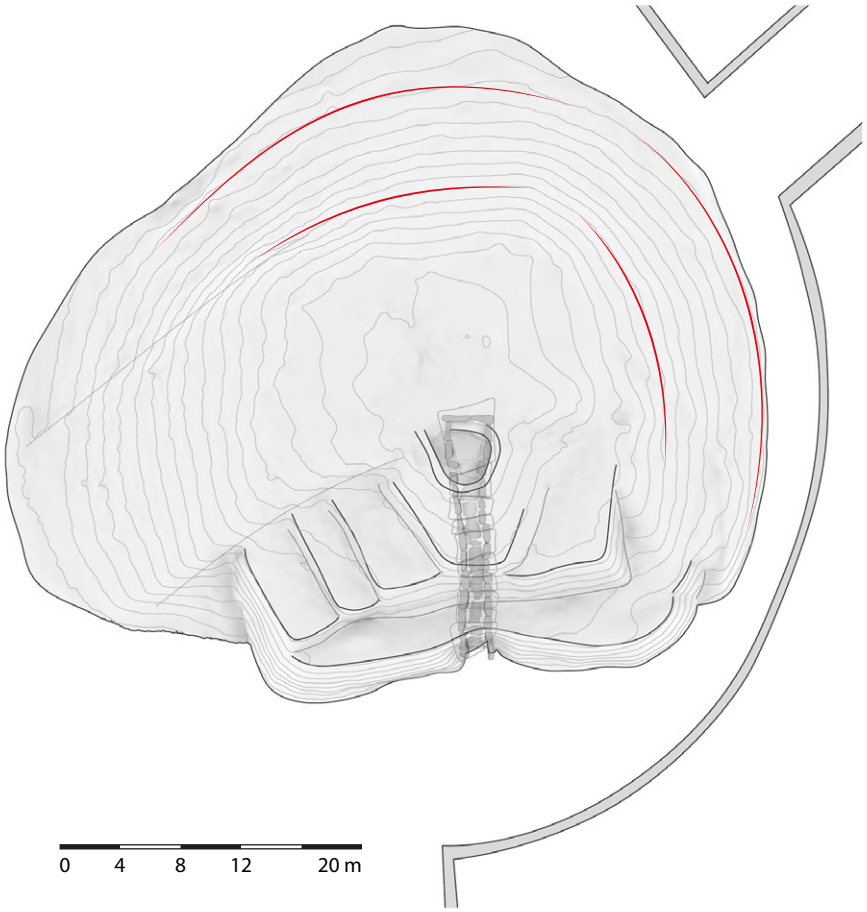
La morphologie actuelle du cairn est principalement le résultat de la destruction naturelle des parements, et de la restauration des années 1980. Les épisodes intermédiaires – *id est* la fouille médiévale en cratère et la tranchée exploratoire de 1885 – ne sont aujourd'hui plus visibles extérieurement. La première étape de l'étude du cairn II de Gavrinis consistera à déterminer son emprise dans la masse actuelle afin de déterminer le volume de matériaux à mobiliser pour retrouver le volume initial de la tombe. Enfin, l'agencement des structures sera analysé pour formuler les hypothèses de restitution.

9.4.2. Sculpter le volume du cairn II dans la masse actuelle

9.4.2.1. Déterminer le plan du cairn

Parmi les rapports publiés par C.-T. Le Roux à l'issu de chacune des campagnes de fouilles, jamais il ne conclura sur la forme du cairn :

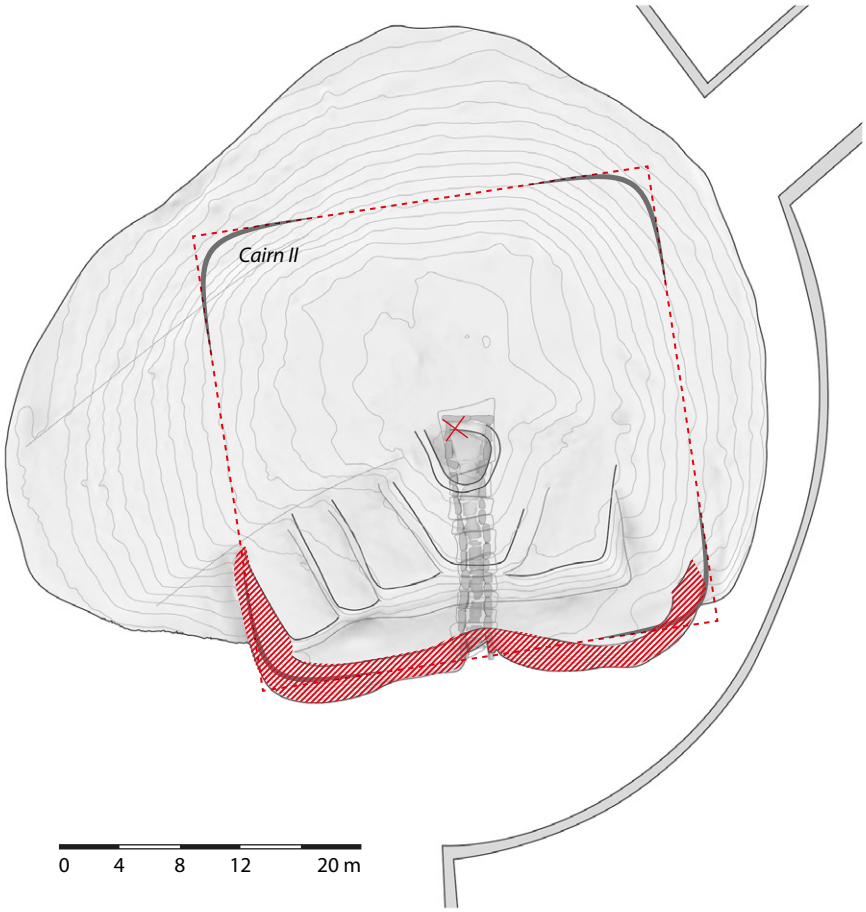
- L'année 1979 se résume à la préparation des interventions à venir, et aucune structure concernant le cairn II n'a été découverte.
- Le dégagement des structures des façades en entrée montre un parement dont le plan reprend la forme d'une « aile de mouette » (Le Roux rapport 1980, p. 12)
- L'unicité de la conception est avancée dès 1981 (Le Roux rapport 1981, p. 17). Il est reconnu que les parements sont continus et contrastes avec les gradins du type Barnenez et qu'il faut chercher des analogies avec « les monuments de L'Île Carn et Saint-Thois ».
- En 1982, l'archéologue est « quasi-certain » de l'architecture du monument. La conception est centrée sur la chambre, mais la forme générale n'est pas explicitée. Quoi qu'il en soit, la connaissance du monument est jugée comme suffisamment fiable pour définir un programme de restauration-consolidation (Le Roux rapport 1982, p. 18).
- En 1983, « le dégagement des structures sur presque la moitié du pourtour du cairn [...] confirme une unité de conception de celui-ci, sans précédent dans le mégalithisme armoricain pour une réalisation de cette envergure », mais le plan n'est toujours pas énoncé (Le Roux rapport 1983, p. 11).
- L'année 1984 se conclue par deux sondages, mais le monument dans sa globalité ne sera pas traité (excepté au sujet de l'organisation du chantier et du temps nécessaire à la construction de la sépulture).



73. Mise en évidence d'un étalement différent des éboulis selon les façades de la réserve archéologique de Gavrinis

Il faut reconnaître que si l'arrière du monument n'a pas été fouillé et reste donc inconnu, des indices sur la structure du cairn II sont mis en évidence grâce aux relevés de 2011. La réserve archéologique conservée n'apparaît pas aussi déstructurée qu'elle est annoncée. Effectivement, les éboulis à l'arrière présentent deux profils (Cf. figure 49). La lecture en plan permet aussi de distinguer un effet de rampe sur le flanc Sud – le reflet d'un remodelage suite à la fouille et de la prise de matériaux pour combler le cratère. Les courbes de niveau à la base semblent plus arrondies que celles au sommet du tumulus (Cf. figure 73). Tout laisse donc à penser que le cairn II était de plan quadrangulaire (Cf. figure 74). Cette idée est confortée par la relation entre la forme en plan de la tombe et la chambre funéraire. Elle se retrouve effectivement centrée dans cette architecture. La deuxième phase de construction projetée est donc parfaitement cohérente avec la première.

Le cairn II de Gavrinis n'est pas le seul monument à présenter des parements formant des « angles droits ». Les sites de Barnenez, Petit-Mont, … fournissent autant d'exemple.

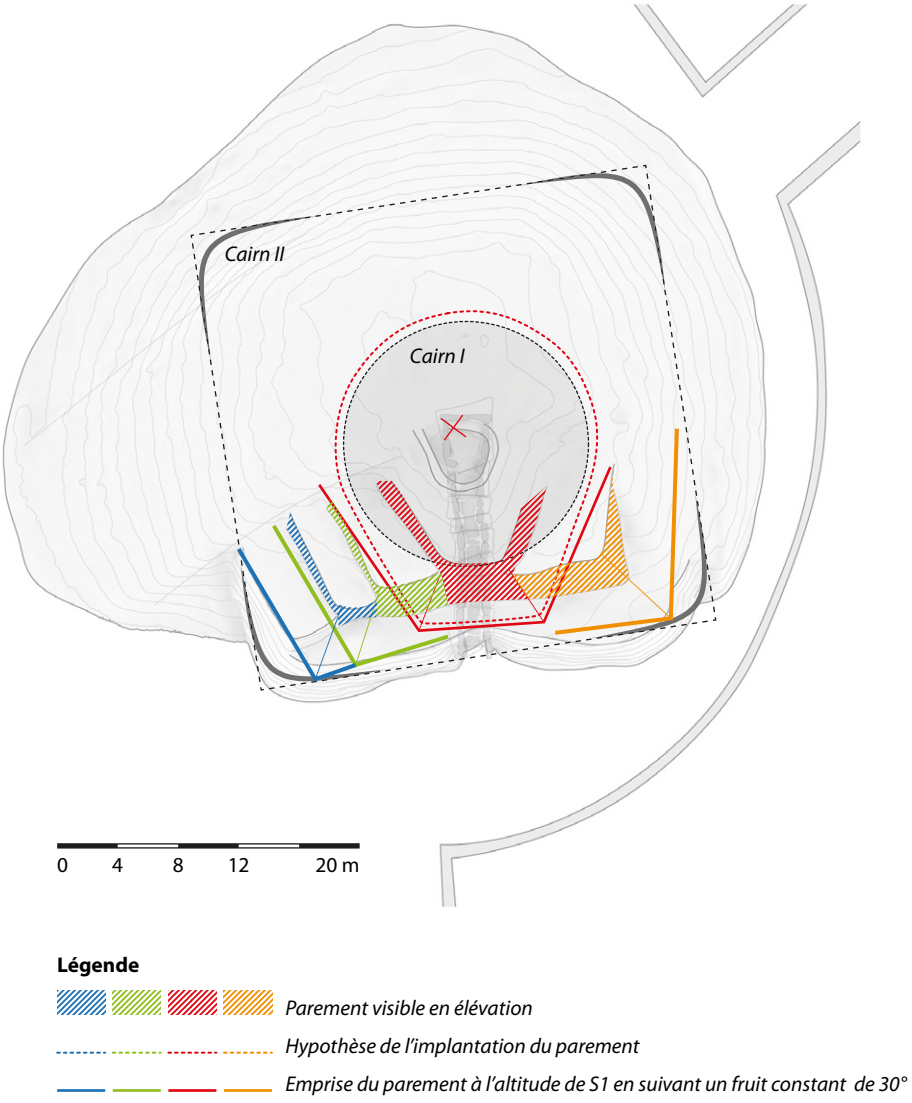


74. Détermination de l'emprise générale du cairn

9.4.2.2. Mettre les structures en cohérence

Les fouilles de C.-T. Le Roux ont permis de mettre en évidence toute une série de structures. Un parement de façade venant s'appuyer sur une organisation « centrale » a été clairement identifié. Au centre, les parements s'accolent les uns contre les autres, mais il manque un parement pour que l'architecture soit symétrique (en nombre pour le moins). Nous allons tenter de mettre en cohérence les structures en suivant une logique déductive.

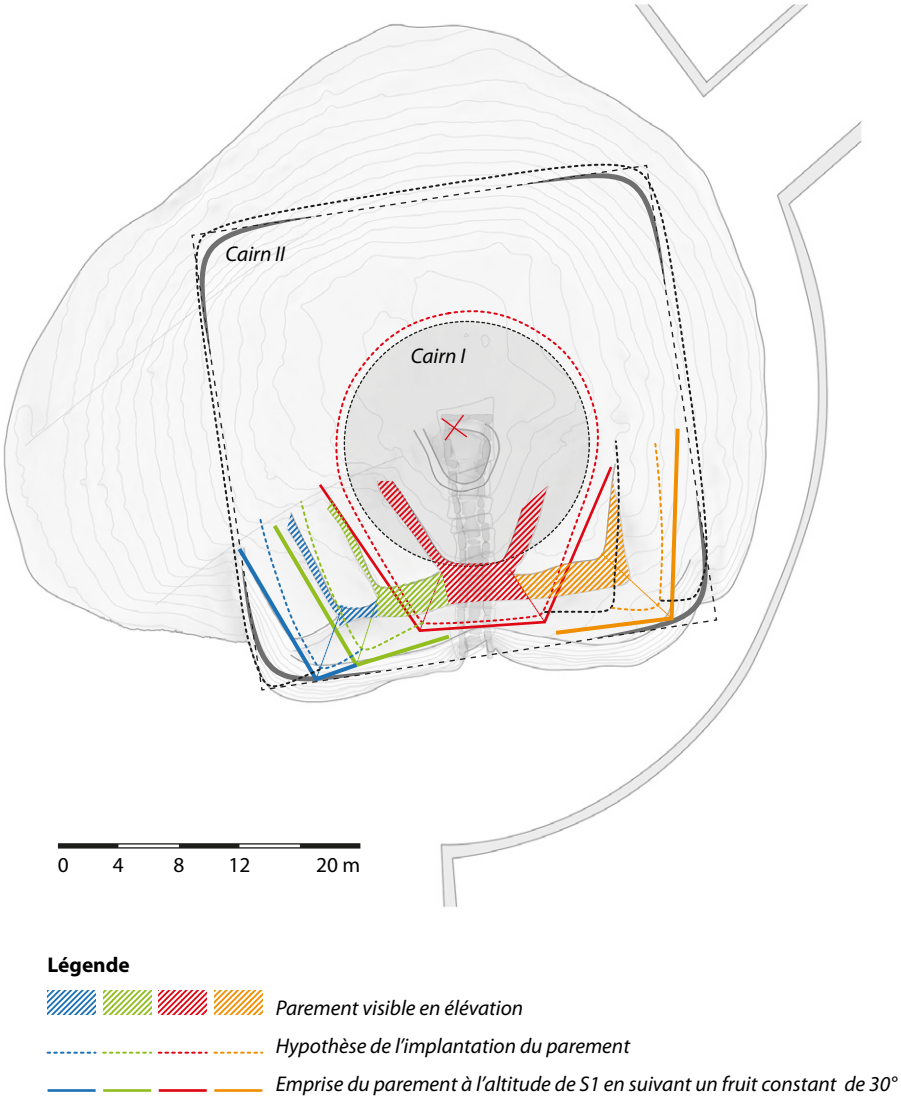
Le parement de façade s'appuie sur les angles des parements les plus externes, de sorte que nous pouvons aisément conclure qu'il est continu puisque le même agencement se retrouve sur les deux angles. De forme quadrangulaire, il doit englober la chambre funéraire de manière à la centrer dans cette nouvelle enveloppe (Cf. figure 75).



75. Identification des différentes structures internes

Le parement le plus central et qui chevauche le couloir présente un développé ininterrompu. Nous l'avons déjà évoqué d'ailleurs pour déterminer le diamètre du cairn I (Cf. chapitre [9.3.2.3.]). Nous savons donc déjà qu'il est supposé envelopper le cairn 2, certainement au plus proche de l'édifice antérieur.

Il reste désormais deux structures à gauche du couloir et une à droite. Ce déséquilibre n'est pas cohérent par rapport au soin apporté à la cohérence qui semble malgré tout émerger des vestiges. Le même rapport semble exister entre les parements les plus externes (emprise du cairn II, parement bleu et parement orange). En revanche, la structure verte ne semble pas trouver son symétrique sur le côté à droite du couloir alors que la distance entre les parois le permettrait. Coïncidence ou non, une vue aérienne de l'édifice restauré montre deux textures différentes pour cet endroit précis, et la limite est parallèle aux parements. La moitié la plus proche du couloir est enrochée ; l'autre partie est enherbée. S'agit-il d'une pure coïncidence ou est-ce le reflet d'une observation faite au moment de la fouille qui aura conduit à une différenciation au moment de la restauration ? La question est encore ouverte, mais il faut souligner que les premières opérations de 1980 consistaient à réaliser une tranchée

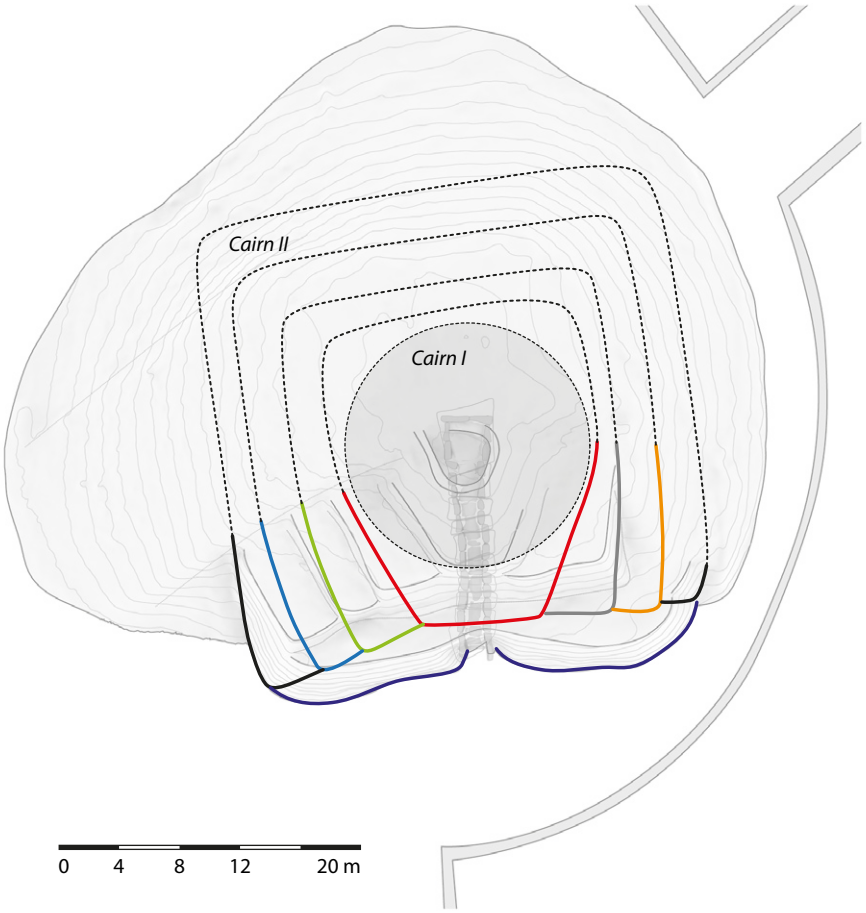


76. Identification des différentes structures internes et leur projection au sol

exploratoire parallèle à l'entrée (Cf. figure 87.2), et celle-ci se situait exactement sur cette portion du cairn. La difficulté de reconnaître des parements en ne les attaquants pas perpendiculairement peut être assez grande ; il est donc probable qu'un parement interne ait été démonté par inadvertance lors de la première tranchée exploratoire. Il faut remarquer que les conditions d'observation que la figure 88.1 laisse présager étaient particulièrement difficiles pour identifier un tel parement. Si cela venait à être confirmé dans une éventuelle future exploration du monument, les deux parements à gauche du couloir trouveraient alors exactement leur symétrique à droite. Nous retiendrons cette hypothèse pour avancer la restitution du cairn II de Gavrinis.

9.4.2.3. Les élévations possiblement intactes du cairn

Des structures découvertes lors des dernières campagnes de fouilles, toutes ne sont pas visibles. Pour les parements internes, seul leur sommet est visible, et il s'avère que la plupart des élévations actuelles sont issues de la restauration. Les seules indications concernant leur fruit (Cf. le chapitre [3.2.4.2.] et [3.2.4.3.]) s'intéressent au parement de façade et au sommet des parements internes.



77. Mise en cohérence des structures internes



Clichés : J. Lecornec

78. Les élévations intactes découvertes à Petit-Mont (Arzon)

Pour le premier, les élévations sont verticales jusqu'à la table de couverture P1, puis l'angulation change brusquement pour atteindre jusqu'à 30°[1] ; le raccord entre ces deux angles étant vif. La seconde observation indique un fruit pouvant aussi égaler 30°.

Cependant, il faut noter que le parement de façade semble se distinguer des autres structures car selon les clichés réalisés lors des campagnes de fouille et de restauration, la façade latérale Sud a été restaurée en suivant le même fruit de 30° des fondations jusqu'au sommet (Cf. figure 50). C'est ce que nous pouvons mesurer sur le relevé de la fraction de parement encore visible.

En accord avec ces observations, le but de l'exercice consiste à prolonger ces structures jusqu'au sol afin de déterminer leur emprise. Un fruit de 30° sera projeté à la même altitude que S1 afin de pouvoir comparer les emprises de chaque parement. Il s'avère que si tous les parements sont parallèles entre eux, ils ne le sont pas par rapport au couloir, ce qui conduit à une interception entre les structures internes et la morphologie théorique en plan. À la vue des éboulis de la façade Nord, il semble peu probable que la conception initiale du cairn s'éloigne considérablement du plan quadrangulaire évoqué précédemment. Par conséquent, notre restitution des structures internes s'éloignera volontairement du fruit de 30° observé en façade. Il s'agissait de toute manière de l'angle maximal, et des élévations verticales sont encore observables au niveau de l'entrée de Gavrinis. La fouille du site de Petit Mont (Arzon) par J. Lecornec aura permis de retrouver des élévations de parements internes parfaitement conservées. La similarité entre Gavrinis II et la structure des cairns I et II de Petit Mont autorise des comparaisons et la reprise de détails constructifs.

En l'occurrence, les parements internes retrouvés à Petit Mont montrent que tous les fruits ne sont pas identiques. Si certaines angulations semblent se rapprocher de ceux de Gavrinis, d'autres parements sont quasiment verticaux, notamment à leur base (Cf. figure 78).

La synthèse de toutes ces observations et la projection des structures dans la masse du cairn qui n'a pas encore été fouillée permettent d'obtenir un plan parfaitement cohérent. Tous les parements internes se rejoignent par leurs angles et se situent à peu près à équidistance les uns des autres (Cf. figure 77).

Afin de parvenir à ces résultats, du temps a été nécessaire pour obtenir suffisamment de recul dans le projet de restitution des architectures. Dix mois ont séparé la première phase de réflexion de la reprise, et l'organisation des parements s'est considérablement affinée. La première approche ne mobilisait que les outils 3D, et la modélisation avançait avec la prise en compte au fur et à mesure des éléments découverts. La seconde approche consiste à produire des schémas pour appuyer l'argumentation développée ici. De plus, les archives concernant les fouilles de Petit Mont n'avaient pas encore été consultées. Les éléments découverts entre ces deux phases de travail enrichissent les hypothèses de restitution et permettent de clarifier un point resté incohérent à l'issu du premier travail.

1 Comme nous l'avons déjà observé, ce fruit n'a pas été suivi sur tout le développé de la façade lors de la restauration. Cela ne concerne que la moitié de la façade située à gauche de l'entrée du couloir, soit un quart du parement de façade. Il n'est pas possible de savoir à partir des documents à notre disposition si cette disposition était effectivement suivie sur tout ce parement ou non. Il est effectivement possible que pour des aspects de stabilité, la restauration se soit éloignée des faits archéologiques.

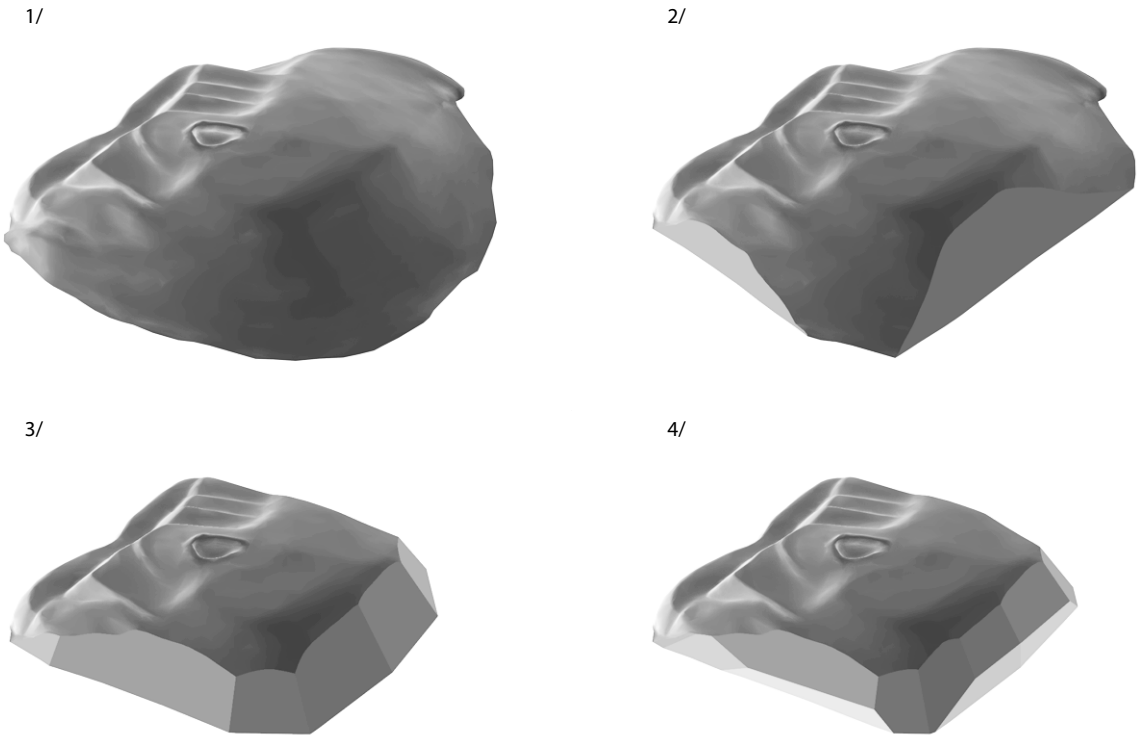
9.4.3. Estimer les élévations détruites du cairn II

9.4.3.1. Évaluer l'évolution du volume du cairn II

Le cairn actuel est le résultat de plusieurs transformations : la ruine de la tombe dès le Néolithique et la formation des éboulis en périphérie, les explorations en puits durant l'Antiquité (au moins sur la façade fouillée), l'exploration médiévale en cratère, la tranchée exploratoire de G. de Closmadeuc en 1885 qui ouvrira ce même cratère, et la campagne de fouille qui se terminera par la restauration du monument et effacera la plupart des interventions précédentes...

À la suite de tous ces événements, il semble que l'édifice n'ait pas perdu une grande quantité de matériaux car son exploitation sous la forme de carrière semble minime. Les puits d'exploration antiques ont certainement rejeté les déblais sur le côté, tout comme à l'issu de la fouille médiévale. Le comblement du couloir a pu être réalisé en prélevant les matériaux directement sur le cairn. Il est difficile d'imaginer G. de Closmadeuc déplacer sur une grande distance et en dehors du site les moellons lors de sa tranchée exploratoire. Enfin, la restauration s'est attachée à prendre en compte le volume des éboulis, donc peu de matériaux semblent avoir été importés pour accomplir la mission.

Tout au plus pouvons-nous supposer que des matériaux ont été prélevés au Moyen Âge par les moines installés sur l'île afin de construire le corps de ferme sur le littoral Ouest. Mais cette information n'a pas été corrélée par G. de Closmadeuc qui fouillera pourtant cette partie de l'île en 1885 suite à l'abandon de sa tranchée exploratoire qui n'aura pas permis de découvrir le couloir parallèle



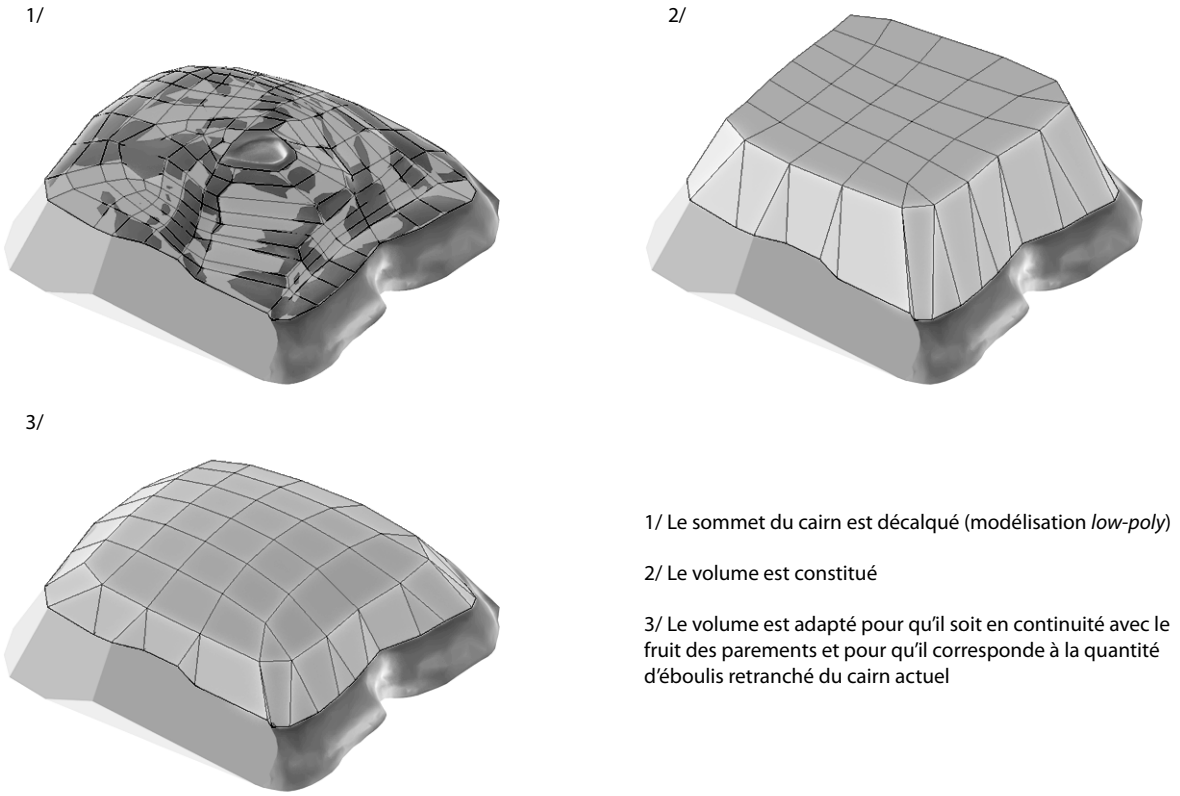
79. Les différentes phases de sculpture du cairn actuel pour « enlever » les éboulis

escompté (de Closmadeuc 1885). Nous possédons un cliché de 1969 qui montre en revanche un apport de gravier sur le parvis pour faciliter le cheminement des visiteurs jusqu'à l'entrée de la tombe. De cette manière, nous pouvons considérer que la quasi-totalité des matériaux constituant le cairn II est encore présente sur le site, les apports et les éventuels prélèvements s'annulant probablement. Si ce n'est pas le cas, les volumes en jeu sont relativement minimes par rapport à celui du cairn.

De cette manière, le volume du cairn II est globalement identique à celui du monument actuel. L'exercice consiste à déplacer les volumes pour reconstituer le puzzle du monument antérieur en découpant la masse actuelle selon le travail de sculpture décrit précédemment.

9.4.3.2. Déterminer le volume du cairn II

Pour déterminer le volume actuel de la tombe, le relevé tridimensionnel du site facilite grandement les mesures. L'intersection entre les structures hors-sol et le sol de l'île permet d'avancer le chiffre de 6 600 m³. Cette mesure comprend le volume du couloir (37 m³) et de la chapelle (30 m³). Ces deux espaces intérieurs n'introduiront donc pas une erreur suffisamment importante dans ce calcul. Bien entendu le profil du sol sur lequel est construit le cairn n'est pas connu, mais en s'appuyant sur le sol de l'environnement proche et en l'extrapolant, et en le conservant pour toutes les estimations de volume, la marge d'erreur peut être considérée comme réduite au maximum.



1/ Le sommet du cairn est décalqué (modélisation *low-poly*)

2/ Le volume est constitué

3/ Le volume est adapté pour qu'il soit en continuité avec le fruit des parements et pour qu'il corresponde à la quantité d'éboulis retranché du cairn actuel

80. Les différentes phases de travail permettant de remonter virtuellement le volume des éboulis au sommet du cairn

À titre de comparaison, le relevé topographique de 1979 conduit par C.-T. Le Roux a permis de reconstituer la géométrie du cairn avant les campagnes de fouille. Cette modélisation indique un volume de 6 980 m³, soit une marge d'erreur de 5,4 % (380 m³). Cette imprécision est principalement le résultat d'une difficulté à faire coïncider ces deux géométries, notamment en altitude. Une variation de vingt centimètres en altitude permet en effet de retrouver le volume issu de nos relevés (les modèles sont positionnés en s'appuyant sur la table de couverture P1). Mais il faut aussi reconnaître que le relevé topographique ne semble pas être très précis car les courbes de niveaux sont très lissées, ce qui provoque un gonflement. Quoi qu'il en soit, nous nous appuierons sur nos relevés pour la suite du travail.

La première étape consiste à sculpter le volume actuel en considérant les remarques précédentes (Cf. figure 79). Le cairn actuel est découpé selon des plans de coupe ayant le même fruit que les parements conservés (30°) dans un premier temps afin de concorder avec les profils observés. Un plan carré est dessiné sous le cairn, centré sur la chambre, et orienté selon les indices vus. Cela permet d'aider au positionnement des plans de découpe, mais la cohérence avec les élévations actuelles n'est pas perdue de vue. À l'issu de cette phase, un volume de 5 130 m³ est obtenu. La soustraction entre le volume total et le volume actuel indique la quantité d'éboulis que nous avons retranché, soit 1 470 m³ comme le synthétise le tableau suivant :

- Volume du cairn actuel (A) : 6 600 m³
- Volume sculpté (B) : 5 130 m³
- Volume des éboulis (C = A-B) : 1 470 m³

Ce cubage est celui qui doit être replacé au sommet du cairn sculpté, ce qui permettra de déterminer une cage maximale dans laquelle la restitution doit pouvoir s'inscrire. Pour parvenir à cela, le sommet est décalqué suivant la technique de la modélisation *low-poly* : un plan rectangulaire est positionné sur le support, puis les faces sont extrudées tout en suivant la topographie (Cf. figure 80) : c'est le socle de boîte qui viendra ainsi se positionner parfaitement sur les vestiges. Une fois toute la surface traitée à partir de ce procédé, des faces sont ajoutées à la périphérie pour former la cage déterminant le volume de la restitution. De forme indéterminée dans un premier temps, elle est ensuite déformée de manière à être dans le prolongement des parements et à former un volume égal à celui calculé.

De cette procédure, nous pouvons estimer que le cairn II possédait initialement une élévation de 11 mètres.

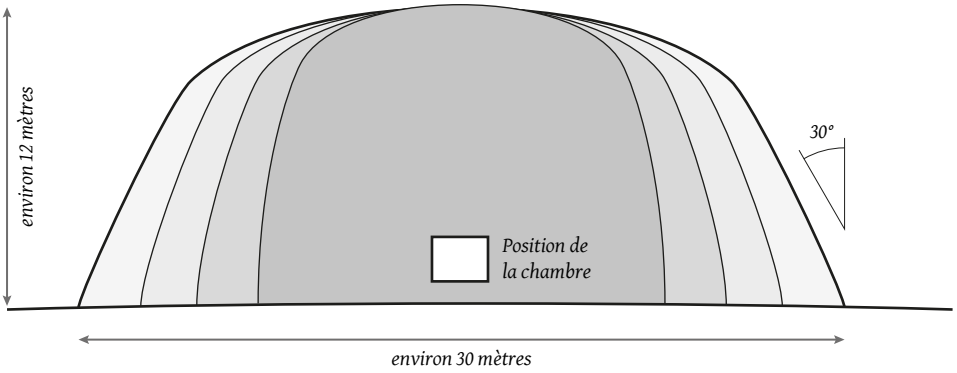
9.4.3.3. Retrouver l'agencement des parements

La question qui se pose désormais est de savoir comment tous ces parements s'agencent entre eux. Les observations consignées dans les rapports ne permettront pas de déterminer les élévations détruites par la fouille en cratère ou la tranchée exploratoire de G. de Closmadeuc. En revanche, les cairns 1 et 2 de Petit Mont sont comparables dans leur architecture et leurs élévations. Dans un premier temps, nous séparerons la réflexion concernant la masse principale de Gavrinis de la structure de façade. Cette dernière est en effet plus délicate à résoudre et une attention particulière doit être apportée.

Le résultat actuel est l'application du modèle de restauration du type Barnenez avec la création de gradins. Cependant, les travaux engagés à Petit Mont en même temps qu'à Gavrinis ont montré un tout autre agencement des structures (Cf. figure 78) puisque les parements s'accolent les uns contre les autres à la manière d'écailles ou de pelures se couvrant. Ces écailles s'étendent sur la totalité de l'élévation sans réellement suggérer qu'un noyau central, plus important, émerge au sommet (Cf. figure 81). Toutes aussi large à la base, elles s'amenuisent progressivement pour tangenter au sommet la structure sous-jacente. Une élévation continue du sol au sommet du monument devait alors être perçue à hauteur d'homme.

D'un point de vue constructif, un tel dispositif implique que le fruit des éléments les plus internes soit plus abrupt que ceux en périphérie. Chaque « pelure » joue un rôle dans la stabilité générale de l'édifice puisque le noyau interne – aux parois quasiment verticale – ne peut pas fonctionner seul. La force d'étalement est trop importante et la structure pourrait imploser. Chaque parement vient donc contrebuter ce noyau central en redirigeant les forces latérales vers le sol.

Tout cela n'est possible qu'à condition qu'un système de panneresses et de boutisses ait été mis en place, conformément aux techniques actuelles – mais héritées d'un savoir-faire ancestral – utilisées pour la construction de murs en pierres sèches. Les boutisses s'enfonçant profondément dans la masse interne assurent la cohésion entre la paroi de façade et la masse interne. Il s'agit à notre connaissance du seul mode constructif en pierres sèches qui permettent d'assurer la mise en œuvre d'élévations aussi importantes (11 mètres).



81. Coupe schématique permettant de comprendre l'agencement entre les différents parements

9.4.3.4. L'aspect du parement de façade

Le parement de façade se distingue des autres structures, celui-ci vient s'appuyer contre le corps du cairn. À notre connaissance, il n'y a pas d'autres exemples similaires de parement de façade aussi monumental.

À Gavrinis, cet élément s'applique entièrement contre le corps du cairn et se renfonce de manière à souligner l'entrée. Le raccord est réalisé aux angles du massif principal, en sifflet. Il est clair que ce parement chevauche l'entrée et qu'il est continu de part et d'autre du couloir. Cependant, le plan n'est pas symétrique : le secteur à droite est beaucoup plus arrondi que celui à gauche où le pan directement en contact avec L1 est le seul qui indique une élévation verticale jusqu'à P1. La seconde

moitié est également arrondie. Cette différence s'explique par le fait que le massif n'est pas positionné exactement de la même manière de chaque côté de l'entrée. À droite, la paroi du massif est quasiment perpendiculaire à l'axe du couloir ; à gauche, les parements se décalent progressivement de manière à ce que la projection du dernier sur l'axe du couloir outrepasse les premières dalles. Ainsi la distance en plan entre le parement de façade et ceux sur lequel il s'appuie n'est pas identique entre la gauche et la droite. Il est important de le souligner car l'élévation devra être construite de manière à atteindre le même point. Le prolongement des structures risque de ne pas intercepter le corps du cairn à la même altitude. Or, c'est bien une composition relativement symétrique qu'il faut rechercher.

Avec de telles observations, il est possible de dessiner une façade qui atteigne presque le sommet du massif principal. En revanche, c'est impossible pour la zone située juste au-dessus de l'entrée car le renfoncement créé abaisse la ligne d'intersection. De cette sorte, nous avons effectivement l'impression qu'un élément continu formé de deux protubérances est accolé en façade (Cf. figure 141).

Un effet de monumentalité est ainsi produit autour de l'entrée de la tombe, mais ce n'est pas le seul objectif que nous pouvons lui attribuer. La partie du massif située juste derrière ce parement de façade n'est pas contrebutée, ce qui peut poser des problèmes de stabilité. Après construction de la façade, le secteur situé exactement à la verticale du couloir ne l'est toujours pas, mais cela pose moins de problème puisque les forces latérales sont moins importantes à cette altitude qu'au niveau du sol.

L'épaisseur du parement de façade est maximale au milieu du segment qui relie l'axe du couloir aux angles du cairn, de manière à conforter au maximum la tranche des écailles s'appliquant contre le noyau.

L'architecture de ce cairn II est particulièrement massive : une trentaine de mètres de côté pour une élévation de 13 mètres. Aucun élément distinctif ne permet de différencier les façades latérales et arrière. Ce parement de façade pourrait être compris comme une manière d'orienter la sépulture collective. Sur un monument qui est conçu de manière à être rouvert, il peut sembler logique qu'une telle attention soit portée à ce détail.

Cela pose également la question de la fermeture du couloir entre deux décès. Or, tous les indices pouvant indiquer la manière de fermer la tombe ont été détruits lors de l'ouverture du couloir en 1832. Une assise de pierres a été identifiée lors du sondage pratiqué par C.-T. Le Roux en 1984 (cela a déjà été évoqué au chapitre [3.2.4.1.]), mais les données sont trop lacunaires pour permettre de formuler une hypothèse de restitution de ce point particulier.

9.5. Conclusion

Deux phases de construction du cairn de Gavrinis ont été clairement identifiées grâce à différents indices. L'accumulation, le recoupement et l'analogie de ces éléments avec d'autres sites ont permis de formuler des hypothèses architecturales. Si le cairn II est plus évident car les structures ont été mises au jour lors des campagnes de fouilles-restauration, il n'en est pas de même pour le cairn I puisque quasiment aucune observation directe n'a pu être effectuée.

Les deux phases de construction renvoient à des modèles différents de sépulture collective du Néolithique de l'Ouest de la France. Les volumétries sont très différentes : le cairn I présente un volume de 550 m³ environ ; le cairn II est douze fois plus volumineux avec ses 6 600 m³. Alors que la technique constructive reste identique (construction en pierre sèche), les implications sur les architectures sont différentes.

Le cairn II est un projet d'extension qui peut paraître ambitieux puisque des précautions doivent être prises pour assurer la pérennité d'élévations de 11 mètres. La masse interne devient très structurée de manière à facilité la descente des charges jusqu'au sol et à limiter les poussées latérales. Des solutions dont nous ne connaissons pas d'exemples similaires apparaissent ici pour assurer certes la stabilité, mais aussi la visibilité de l'entrée de la sépulture collective avec une nette différenciation de la façade principale à travers le relief du parement.

Ces questions de stabilité et de lecture n'existent pas pour le cairn I, mais d'autres problèmes se posent au niveau même de ce qu'est une tombe et du rôle qu'elle doit jouer. À partir d'une hypothèse initiale qui consiste à prétendre qu'un espace funéraire aussi construit a pour vocation de protéger les corps des défunts, il semble illogique que la chambre ne soit pas protégée des infiltrations d'eau. Les exemples danois et sardes montrent d'ailleurs qu'une telle préoccupation a existé au Néolithique sur une temporalité similaire à celle de la construction des cairns I de Gavrinis et de la Table des Marchands. La première réponse – et la plus évidente – consiste à projeter une couverture en charpente bois directement issue du vocabulaire de l'architecture domestique. Les exemples sardes viennent conforter cette hypothèse grâce à la présence de charpentes sculptées dans certains hypogées, tout comme les *cult houses* nordiques.

V/
Partie conclusive

Chapitre 10. Conclusion et perspectives

10.1. Limites de la recherche et perspectives

Certains points de cette thèse n'ont été abordés que superficiellement puisque leur traitement n'impacte pas directement la qualité des résultats et la démarche adoptée, et méritent d'être davantage éprouvés. Il a également été nécessaire « d'élaguer » les domaines de réflexion connexes afin de conserver une certaine cohérence dans l'exposé.

10.1.1. La mise en place d'un outil complet de validation des restitutions

Nous avons pu évoquer dans le chapitre [2.2.4.] les interfaces basées sur la philosophie des *Heritage Building Information Modelling*. L'outil que nous avons mis en place, ICARE, permet en partie de remplir cette mission. Il manque en revanche le lien entre les représentations tridimensionnelles et les archives permettant d'argumenter et de comprendre les hypothèses formulées. La mise en place de ces outils devrait pouvoir se généraliser dans un futur relativement proche et permettrait de collationner dans le même document l'ensemble des archives disponibles sur le site et les résultats des différentes études réalisées et les différents aménagements proposés. Plusieurs objectifs seraient visés :

1. d'abord, cela permettrait de documenter le patrimoine au cours de son étude ;
2. la validation des résultats de l'étude basée sur des représentations tridimensionnelles serait grandement facilitée car il est très difficile de mettre en relation des agencements de structures à la morphologie organique – ou du moins qui jouent constamment sur la courbe et l'oblique puisque la projection en plan ou en élévation, et le prolongement ne peuvent pas être facilement lues avec les méthodes « traditionnelles » de représentation de l'architecture ;
3. ensuite, cet outil pourrait s'intégrer dans un objectif plus vaste qui consisterait à faciliter la gestion du site par l'organisme propriétaire et / ou gestionnaire puisque chaque projet d'aménagement pourrait être confronté à la documentation représentée spatialement. L'impact serait beaucoup plus facile à évaluer et tous les acteurs (le gestionnaire du site, les archéologues et les concepteurs d'un projet de médiation) pourraient se réunir autour du même document pour discuter du projet proposé ;
4. enfin, cette documentation pourrait être consultée *ad libitum* par les guides afin de proposer les discours les plus justes et les plus en adéquation possible aux dernières connaissances disponibles.

Cette solution ambitieuse devra néanmoins résoudre plusieurs défis. Parmi eux, nous pouvons énumérer :

- la visualisation des différents niveaux de lectures (modélisation temporelle et formulation des hypothèses) ;
- la question de l'archivage et de la pérennité des informations tridimensionnelles produites ;
- l'architecture du document qui devra être simplifiée de manière à pouvoir être facilement complétée ;
- la gestion, la propriété et le maintien du document.

Il s'agit là de pistes de réflexion qui présente des enjeux très forts déjà investiguées par de nombreuses équipes sur d'autres objets d'étude. L'application d'un tel outil sur des architectures funéraires néolithiques pourrait être prometteuse pour répondre aux problématiques des architectures funéraires néolithiques.

10.1.2. La validation définitive du relevé des gravures avec les éclairages virtuels tournants

Après avoir analysé les différentes pratiques, la réplicabilité de la procédure et leur application systématique sur un catalogue de profil établi à cette occasion, de manière à représenter le plus fidèlement la diversité des sections, a permis de comprendre précisément ce qui était enregistré avec chacune des techniques. À l'issue de cette expérimentation, une technique émerge par la fiabilité des résultats. Il s'agit de la transcription numérique de la technique des éclairages rasants. Bien que les autres méthodes peuvent indiquer où se situent les variations de relief, l'acquisition selon les éclairages tournants (analogique ou virtuel) est à ce jour la seule méthode qui permette de conserver des constantes malgré les variations de profil. Même s'il manque encore la confrontation de cet outil avec les imperfections d'une surface altérée, il est possible d'imaginer que cette procédure permettra de standardiser les résultats grâce à la production d'un relevé directement sur une vraie élévation de l'objet. Elle permettrait également de résoudre des problèmes d'acquisition dans les zones particulièrement exiguës et où la procédure « analogique » des éclairages tournants ne peut pas être déployée.

La méthode de détection des gravures à partir de *normal maps* mise au point au cours de ce travail permet d'assurer une constance dans les tracés détectés. C'est la seule qui ne varie pas en fonction du profil de la gravure puisque c'est effectivement le sommet de la gravure qui est enregistré. De cette manière, elle pourrait remplacer dans certains cas la procédure d'acquisition selon les éclairages tournants actuellement utilisée sur site. Nous pensons particulièrement aux espaces réduits ne permettant pas la mise en œuvre de la technique habituelle. La démonstration s'est pour le moment appuyée sur un corpus théorique de profil ; il faut néanmoins maintenant la confronter aux objets archéologiques pour s'assurer de sa robustesse.

La procédure d'éclairage dynamique virtuel des surfaces qui a été présentée s'appuie sur l'empilement de plusieurs calques de réglage dans Photoshop, disposés dans un ordre précis. Cependant, il a été remarqué depuis que le même effet peut être obtenu avec le logiciel open source et gratuit Krita et le filtre PhongBumpMap. Le principe d'une simulation d'un éclairage virtuel sur une surface présentant des reliefs à documenter est possible à partir de *normal maps*. Il reste néanmoins à trouver l'outil le plus simple à mettre en œuvre afin de rendre la méthode complètement appropriable par d'autres équipes.

10.1.3. Le comportement des structures archéologiques face aux risques naturels

Depuis la construction de Gavrinis, et plus largement des architectures que nous avons étudiées, plusieurs millénaires se sont écoulés. Plusieurs événements ont pu fragiliser, voire détruire tout ou partie du monument. Nous savons que le littoral Sud de la Bretagne a été soumis au cours de ces derniers millénaires à plusieurs séismes comme nous avons pu l'évoquer dans le chapitre [4.1.1.]. Le traitement du comportement des structures étudiées face à des événements sismiques nécessite des compétences très éloignées de celles acquises en architecture et en archéologie. Néanmoins, des pistes de réflexion peuvent être lancées.

Le comportement de la structure d'un cairn lors d'un événement sismique devrait pouvoir être simulé afin de valider les hypothèses que nous avons avancées. Les outils nécessaires à la mise en place d'une telle validation pourraient être analogiques ou numériques. Dans le premier cas, une maquette constituée selon les mêmes techniques constructives et placée sur une table vibrante permet d'analyser le comportement général des structures. Cette technique est notamment utilisée pour contrôler la résistance des structures d'églises byzantines dans la région d'Istanbul (Seker et al. 2014. À notre connaissance, aucune expérience similaire n'a été menée sur des structures tumulaires. Dans ce cas, il faudrait pouvoir reconstituer le parcours des ondes sismiques dans le sol par rapport au site étudié – et donc connaître la position du foyer – afin de déterminer la direction principale des éboulis. La même approche serait utile pour valider les hypothèses concernant le Grand Menhir Brisé de Locmariaquer (Cassen 2009, pp. 888-893).

Un niveau de difficulté supplémentaire doit être ajouté cependant pour les structures tumulaires puisque la technique constructive peut fortement impacter les résultats de la simulation. Pour les murs en pierre sèche, le mode d'agencement des panneresses et des boutisses ainsi que leur forme peuvent produire des parements plus ou moins cohérents entre eux, et les rendre donc plus ou moins sensibles aux secousses sismiques. Afin de mener à bien les simulations, il faut pouvoir quantifier l'ensemble de ces paramètres.

Les simulations numériques doivent répondre aux mêmes exigences de validation. Mais il faut pour mettre en place l'expérience choisir le meilleur outil. Le comportement d'une structure tumulaire peut alors être assimilé à un fluide dont la viscosité serait très grande puisqu'à l'issu de plusieurs millénaire et sous l'action d'événements externes, la composition tend à s'étaler jusqu'à trouver un profil d'équilibre. Ce processus n'est pas immédiat puisque le tumulus, dans sa conception initiale,

est structuré de manière à résister à la ruine. Il faut en outre prendre en compte la rugosité et le coefficient de friction des matériaux utilisés. Ces coefficients ne seraient pas égaux dans toute la masse du cairn : les parements présenteraient des résistances supérieures aux zones de remplissage. Tous ces paramètres mériteraient d'être quantifiés et les tests effectués avec les logiciels de simulation de fluide. À défaut d'obtenir le résultat exact, cela permettrait de définir des comportements généraux et de déterminer dans quelles conditions il est possible d'obtenir tel résultat.

Le risque sismique est le principal facteur identifié sur ce territoire et certainement le plus violent. Néanmoins, d'autres phénomènes peuvent également conduire à une altération de l'édifice (Dehn 1990). Le soin apporté lors de la construction des tombes, notamment du Danemark, avait pour objectif d'empêcher les infiltrations d'eau et la formation de tunnels par les petits rongeurs : ces deux facteurs cumulés pouvant être les principales causes de la ruine de ces monuments.

Toutes ces perturbations de la structure tumulaire conduisent à une fragilisation et à une mise en danger de la pérennité des vestiges archéologiques, notamment à travers le développement d'organismes vivants à la surface des orthostates est récent et n'est pas propice à une conservation du monument sur le long terme. La connaissance de l'ensemble de ces perturbations permet de déterminer quelles sont les meilleures mesures à mettre en place pour lutter contre ces désordres.

10.2. Les contributions de ce travail

10.2.1. Une meilleure connaissance du monument

Gavrinis est une tombe néolithique qui figure parmi les plus fameuses depuis sa découverte en 1832. Cependant, il est étonnant de voir combien l'architecture du monument était relativement peu connue. Si les dernières campagnes de fouilles avaient permis de reconsidérer le réemploi des stèles et le sens des motifs dans les réutilisations, très peu d'éléments étaient publiés et l'étude des structures architecturales n'avait pas été poursuivie au-delà de ce qui avait été découvert. L'application du modèle de restauration tel que nous l'avons déconstruit en avait effectivement permis l'économie... En définitive, nous pouvons assez facilement imaginer les difficultés rencontrées par les guides touristiques à organiser des visites et à répondre aux questions.

La reconstitution de l'histoire du monument de Gavrinis est un préalable qui a été indispensable à l'étude architecturale. Deux épisodes de construction du couloir ont été clairement identifiés ; une occupation antérieure est probable mais elle reste difficile à argumenter avec les éléments dont nous disposons actuellement. Les phases de construction du couloir renvoient chacune à un modèle particulier que nous avons pu définir en alimentant la réflexion avec les observations faites sur d'autres sites similaires. Les modèles mis en évidence à Gavrinis devront être confrontés plus fermement à d'autres vestiges. Le mouvement initié par l'action collective de recherche à la Table des Marchands entre 2004 et 2007 et qui a débouché sur le colloque « Autour de la Table » en 2009, puis le programme « à la recherche des représentations d'une tombe à couloir du IVe millénaire :

Gavrinis » dans lequel s'inscrit ce travail dirige naturellement le regard vers le site de Petit Mont. Du groupe des trois tombes évoquées en introduction, c'est la dernière à ne pas avoir été réinvestiguée. Les protocoles mis en œuvre ici pourront y être par exemple de nouveau être appliqués pour produire les restitutions de ce site.

Le travail qui a été présenté au sujet de Gavrinis pourra aussi servir à améliorer à la fois d'un point de vue qualitatif (précision des faits expliqués) et quantitatif (mise en place de différentes formules) l'offre touristique. Il est en effet assez facile d'imaginer la déclinaison des résultats en différentes présentations du site. L'histoire récente – c'est-à-dire depuis la découverte en 1832 – de la tombe est aussi riche que ce que nous pouvons expliquer sur l'architecture du cairn. À cela s'ajoute l'ensemble des travaux concernant le décryptage des stèles et du sens que cela produit. À plus long terme, la visite pourra être revue de manière à intégrer au sein d'une exposition permanente par exemple une plus grande quantité de résultats issus de nos travaux.

10.2.2. Un protocole de réexploration des vestiges archéologiques

Le travail présenté ici la première étude architecturale d'une tombe à couloir néolithique en France réalisée par un architecte. L'approche, comme nous l'avons explicitée en introduction, et plus particulièrement dans le chapitre [2.], n'est pas commune en archéologie. Les outils dont nous disposons pour réexplorer ces architectures permettent de mettre beaucoup plus facilement en correspondance des informations difficiles à manipuler grâce à la mobilisation d'outils de représentation tridimensionnelle. En effet, les coupes réalisées sur les parements de Gavrinis, avant leur spatialisation et superposition au modèle 3D actuel ne révélaient que peu de choses. Pour y parvenir, il convenait de résoudre plusieurs points.

Il fallait établir dans un premier temps une procédure d'acquisition de ces architectures suffisamment souple pour s'adapter à l'ensemble des contraintes spatiales que nous pouvons rencontrer sur un site, mais également en adéquation avec les budgets disponibles dans le milieu de l'archéologie. Cela a été résolu grâce à la photogrammétrie dont le développement s'est accéléré en même temps que ce travail de doctorat commençait. Après avoir largement éprouvé les techniques d'acquisition et les traitements de leurs résultats sur plus d'une trentaine de site, il est désormais possible de conduire ces travaux de manière autonome. Le déploiement de ces technologies d'acquisition et de représentation tridimensionnelles permet de recueillir une grande quantité d'information. Les descriptions des structures archéologiques sont d'une part plus précises, mais elles sont surtout beaucoup plus denses, ce qui permet de rendre compte de détails inaccessibles à la documentation auparavant. L'étude se retrouve par conséquent enrichie car les moindres variations des structures peuvent, après analyse, renseigner l'histoire du monument. Dans un second temps, la question de la documentation des gravures s'est posée car en raison de la diversité des protocoles utilisés à l'échelle européenne, les résultats varient énormément d'une équipe à l'autre.

La description de cette méthode de travail – celle de l'architecte-archéologue – et son application ont permis de jeter un regard neuf sur l'histoire du site de Gavrinis, mais plus généralement sur l'architecture des tombes à couloir de cette période. Le travail de formulation des hypothèses à

travers la modélisation permet de visualisation les implications de chacun des choix. De cette manière, les incohérences apparaissent plus clairement et il est possible d'argumenter plus fermement des hypothèses qui seraient difficile de soutenir. C'est ainsi que la question des superstructures en bois protégeant des infiltrations d'eau les chambres funéraires revient avec force.

Plus largement, la manière dont le monument a été réexploré n'est pas spécifique à Gavrinis. Nous pouvons considérer qu'elle peut être généralisée à l'étude de tous les vestiges archéologiques. Néanmoins, des limites à son application *in extenso* peuvent être soulevées puisqu'il n'est pas certain que cette méthode puisse être appliquée de manière identique par une équipe travaillant en même temps sur le même sujet – et non plus une personne comme cela a été le cas pour ce travail. Le changement d'échelle entre le travail individuel et le travail en équipe nécessiterait certainement l'aménagement d'outils supplémentaires facilitant l'échange des données. Aujourd'hui, nous pouvons estimer que les *Heritage Buildings Information Modelling* apporteraient ces solutions.

10.2.3. Un élargissement du périmètre d'investigation de l'architecte-archéologue tel que défini dans le chapitre 2

À travers ce travail, toutes les compétences de l'architecte-archéologue n'ont pas été investies. Seule la première partie – peut-être la plus longue à mener à bien – a été explorée. Elle correspond à la recherche des archives et à la confrontation des différentes informations de manière à reconstituer l'histoire du site. À l'issu de cette première étape, les restitutions de chaque phase d'occupation sont formulées. Bien que l'activité de recréation des espaces disparus soit décrite sous l'étendard de *virtual archaeology*, et qu'elle reste ainsi sous la coupe de celle de l'archéologue, nous pouvons légitimement estimer qu'il s'agit là d'un domaine qui corresponde davantage aux activités de l'architecte-archéologue tel que nous l'avons défini dans la partie introductive.

La seconde partie du travail – mais qui n'est pas systématique dans ce genre d'étude – consiste à formuler des propositions de restauration. La première partie de l'étude permet d'avoir une connaissance intime de l'objet étudié. C'est donc l'architecte-archéologue qui est le mieux à même de formuler les projets de restauration, en accord d'une part avec les structures archéologiques reconnues et supposées, et d'autre part avec les objectifs de conservation et d'exposition de l'objet. Ce projet ne peut pas être mené indépendamment d'autres disciplines puisqu'il est nécessaire d'identifier les pathologies (développement d'organismes dans le contexte de Gavrinis par exemple) et les facteurs pathogènes afin de concevoir les meilleurs dispositifs architecturaux permettant d'assainir le monument. De la même manière, la réalisation ne peut pas passer outre les procédures actuellement en vigueur. Ce travail doit être mené de concert avec l'Architecte des Bâtiments de France (ABF) et l'Architecte en Chef des Monuments Historiques (ACMH) en charge du chantier. Cela se justifie d'autant plus que malgré toutes les compétences de ces deux métiers, leur formation est principalement axée sur le patrimoine architectural historique des périodes bien connues : de l'antiquité romaine et gallo-romaine à aujourd'hui, avec certainement une zone plus floue pour le Haut Moyen Âge pour le territoire français. Les architectures dénommées sous le terme vague de « mégalithes » présentent des caractéristiques très différentes, et les solutions appliquées couramment sur le patrimoine récent sont peu adaptées aux problématiques spécifiques de ces architectures préhistoriques, et

protohistoriques d'une manière générale. En effet, l'absence d'élévation et le manque de référentiel typologique dans leur culture générale complexifie le projet de restauration, et la méthodologie de travail présentée et appliquée dans cet ouvrage n'est pas celle adoptée par les ACMH. L'architecte-archéologue peut – et doit certainement – occuper par conséquent une position intermédiaire entre le monde de l'archéologie et des architectes afin d'améliorer la gestion de ce patrimoine atypique.

Plus largement, ce travail pourrait alimenter la réflexion concernant les activités de l'architecte. C'est un débat mené de manière intensive depuis quelques années. Suite à la scission entre les écoles des Beaux-Arts (dont la formation en architecture dépendait) et les écoles d'architecture en 1968, le nombre d'architecte n'a cessé de croître, contrairement à la commande publique qui s'est brutalement effondrée avec le début de la crise en 2008. Aujourd'hui, les interrogations s'articulent autour des domaines dans lesquels l'architecte peut trouver sa place (Bossé et Roy 2015). Nous pouvons considérer que le patrimoine peut être un secteur à (ré)investir pour les architectes, tant dans l'étude que la médiation du patrimoine. À cette fin les architectes et les archéologues doivent travailler ensemble, et les approches doivent se professionnaliser de la même manière que les métiers de l'archéologie ont connu cette évolution au cours des dernières années.

10.3. Réflexions conclusives

En conclusion, nous avons pu voir combien les outils de représentation tridimensionnelle permettaient de réexplorer en profondeur ces architectures funéraires néolithiques. De grandes quantités d'information peuvent être récoltées en quelques campagnes d'acquisition, mais l'enjeu se positionne essentiellement sur le traitement de ces données. Le questionnement archéologique des vestiges à travers les modèles 3D nécessite de constamment réinterroger les méthodes utilisées et de trouver de meilleures solutions pour obtenir le maximum d'information. Pour cela, les procédures doivent être mises à jour régulièrement.

Au-delà de cet aspect lié aux outils, ce travail de doctorat a permis de poser les bases d'un métier dont l'origine peut être trouvée à la Renaissance (Cf. *La Lettre à Léon X* de Raphaël) mais qui a réellement pris son essor avec les envois de Rome et d'Athènes : le métier de l'architecte-archéologue. Il devait être profondément redéfini suite à l'évolution importante des outils, notamment numérique, et le développement de l'archéologie comme science et sa professionnalisation. De plus, la conservation du patrimoine et son intégration dans un tissu économique produisent des enjeux très forts, parfois contradictoires. Si chacun des acteurs du patrimoine est sensibilisé à ces questions, il apparaît que l'architecte-archéologue est peut-être le plus à même de concilier ces différents points de vue.

Chapitre 11. Bibliographie

11.1. Publications

Abelard, P., Héloïse, 1875. *Lettres d'Abélard et d'Héloïse, histoire des malheurs d'Abélard à un ami*, tome 1 (Traduction : Cousin, V.). Edition Garnier Frères, Paris, p. 53. [URL : fr.wikisource.org.]

Arnal, J., 1956. Petit Lexique du Mégalithisme. *Bulletin de la Société préhistorique française*, tome 53 (9), pp.518–531.

Akers, D., Losasso, F., Agrawala, M., Rick, J., Hanrahan, P., 2002. Conveying shape and features with image-based relighting. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, pp. 349–354. [DOI : 10.1109/VISUAL.2003.1250392]

Al-kheder, S., Al-shawabkeh, Y., Haala, N., 2009. Developing a documentation system for desert palaces in Jordan using 3D laser scanning and digital photogrammetry. *Journal of Archaeological Science*, 36 (2), pp.537–546. [DOI : 10.1016/j.jas.2008.10.009]

Azéma, M., Gély, B., Prudhomme, F., 2012. Relevé 3D de gravures fines paléolithiques dans l'abri du Colombier (gorges de l'Ardèche). *In Situ*, (13). [DOI : 10.4000/insitu.6723]

Bailloud, G., Boujot, C., Cassen, S., Le Roux, C.–T., 1995. *Carnac : les premières architectures de pierre*, CNMHS/CNRS, Paris.

Basoli, P., Foschi Nieddu, A., Ginesu, S., Russo, F., 2014. Hypogéisme et phénomènes de paléosismicité du Monte Acuto (Sardaigne, Italie). In : Robin, G., D'Anna, A., Schmitt, A., Bailly, M., (dir.). *Fonctions, utilisations et représentations de l'espace dans les sépultures monumentales du Néolithique européen*. Aix-en-Provence. *Préhistoires Méditerranéennes (en ligne)*. [URL : http://pm.revues.org/1060, consulté le 26/06/2015]

Bossé, A., Roy, E., 2015. Les mondes de l'architecture. *Lieux communs*, (17), Nantes, pp.10–28.

Bouillon, C., Cassen, S., 2008. De l'Airbus A380 au site néolithique de la Table des Marchands (Morbihan) : limites et perspectives d'un transfert de technologie. In : Vergnieux, R., (dir.). *Colloque international Virtual Retrospect*, 14-16 nov. 2007. Centre Ausonius, coll. Ausonius, vol. 3, Bordeaux, p. 157-164

Boujot, C., 1993. *De la sépulture individuelle à la sépulture collective*, sous la direction de Lichardus, M., Université de Paris I, Paris.

Boujot, C., Cassen, S., 2000a. Constitution sédimentaire des tertres. In: Cassen, S., Boujot, C., Vaquero, J., (dir.), 2000. Éléments *d'architecture, exploration d'un tertre funéraire à Lannec er Gadouer (Erdeven, Morbihan). Constructions et reconstructions dans le Néolithique morbihannais. Propositions pour une lecture symbolique,* éditions chauvinoises, Mémoire 19, Chauvigny, pp. 153–164.

Boujot, C., Cassen, S., 2000b. Explorations du tertre de Lannec er Gadouer. In: Cassen, S., Boujot, C., Vaquero, J., (dir.), 2000. Éléments *d'architecture, exploration d'un tertre funéraire à Lannec er Gadouer (Erdeven, Morbihan). Constructions et reconstructions dans le Néolithique morbihannais. Propositions pour une lecture symbolique,* éditions chauvinoises, Mémoire 19, Chauvigny, pp. 29–81.

Boujot, C., Cassen, S., 2000c. Tertres et pierres dressées. In: Cassen, S., Boujot, C., Vaquero, J., (dir.), 2000. Éléments *d'architecture, exploration d'un tertre funéraire à Lannec er Gadouer (Erdeven, Morbihan). Constructions et reconstructions dans le Néolithique morbihannais. Propositions pour une lecture symbolique,* éditions chauvinoises, Mémoire 19, Chauvigny, pp. 181–206.

Breuckmann, B., Arias Cabal, P., Mélard, N., Ontanon, R., Pastoors, A., Mayolini, L. C., Vega, P., Weniger, G. C., 2009. Surface scanning—new perspectives for archaeological data management and methodology? In : Frischer, B., Crawford, J.W., Koller, D., (dir.), 2009. *Making History Interactive, the 37th Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology Conference,* Williamsburg, pp.42-47.

Brognara, C., Corsini, M., Delepiane, M., Giachetti, A., 2013. Edge detection on polynomial texture maps. In : Petrosino, A., (dir.). *Image Analysis and Processing – ICIAP 2013*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, pp. 482–491. [DOI : 10.1007/978-3-642-41181-6_49]

Bryan, P.G., Abbott, M., Dodson, A. J., 2013. Revealing the secrets of Stonehenge through the application of laser scanning, photogrammetry and visualisation techniques. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* 40 (5), pp.125–129.

Bryan, P.G., Clowes, M., 1997. Surveying Stonehenge by photogrammetry. *The Photogrammetric record*, 15 (April), pp.739–751.

Cabrejas Domínguez, E., Mañana, P., Seoane-Veiga, Y., 2009. Finding of gravestones with megalithical art in Fonte Touron (Lalin, Pontevedra). *Cuadernos de Estudios Gallegos LVI* (122), pp. 9–31.

Cacho Toca, R., Gálvez Lavín, N., 1999. New Procedures for Tracing Paleolithic Rock Paintings: Digital Photography. In : Barceló, J.A., Briz, I., Vila, A. (dir.), 1998. *New Techniques for Old Times. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Barcelone*. Archaeopress, Oxford, pp. 73-76.

Campana, S., Remondino, F., 2008. Fast and detailed digital documentation of archaeological excavations and heritage artifacts. In: Poluschny, A., Lambers, K., Herzog, I., (dir.). *Layers of perception, proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), April 2-6, 2007,* Berlin, pp.36–42.

Carrerra Ramirez, F., 2011. El arte prehistórico y su conservación. Pinturas y grabados en Dombate. In : Rodríguez, J.Y. (dir.), *El dolmen de Dombate : arqueologia, arquitectura y conservación*. Deputacion da Coruña, Coruña, pp. 230–266.

Cassen, S., 2009a. *Autour de la Table : Explorations archéologiques et discours savants sur des architectures néolithiques à Locmariaquer, Morbihan (Table des Marchands et Grand Menhir)*, ACR 2003-2006, Actes du colloque international, Vannes (Morbihan), 5-7 octobre 2007 (université de Bretagne-Sud, campus Le Tohannic), Nantes, LARA, université de Nantes, 2009, 918 p.

Cassen, S., 2009b. *Exercice de stèle : une archéologie des pierres dressées : réflexion autour des menhirs de Carnac*, Errance, Paris, 158 p.

Cassen, S., 2009c. La simulation des faits imaginés : phases, séquences, scénarios historiques. Réflexions conclusives autour d'une barre de stèles et d'une tombe à couloir. In : *Autour de la Table. Explorations archéologiques et discours savants sur des architectures néolithiques à Locmariaquer, Morbihan (Table des Marchands et Grand Menhir)*, ACR 2003-2006, Actes du colloque international, Vannes (Morbihan), 5-7 octobre 2007 (université de Bretagne-Sud, campus Le Tohannic), Nantes, LARA, université de Nantes, 2009, pp. 881–906.

Cassen, S. 2011. Le Mané Lud en mouvement. Déroulé de signes dans un ouvrage néolithique de pierres dressées à Locmariaquer (Morbihan). *Préhistoires Méditerranéennes*, 2, 58 p.

Cassen S., 2012. L'objet possédé, sa représentation : mise en contexte général avec stèles et gravures. In : Pétrequin, P., Cassen, S., Errera, M., Klassen, L., Sheridan, A., Mouret, I., *Inégalités sociales et espace européen au Néolithique : la circulation des grandes haches en jades alpins*. MSHE C.N. Ledoux, Besançon les 24 au 26 septembre 2009.

Cassen, S., Boujot, C., Vaquero, J., 2000. Éléments *d'architecture, exploration d'un tertre funéraire à Lannec er Gadouer (Erdeven, Morbihan). Constructions et reconstructions dans le Néolithique morbihannais. Propositions pour une lecture symbolique*, éditions chauvinoises, Mémoire 19, Chauvigny, pp. 29–81.

Cassen, S., Boujot, C., Dominguez-Bella, S., Guiavarc'h, M., Le Pennec, C., Prieto Martinez, M.P., Querré, G., Santrot M.-H., Vigier, E., 2012. Dépôts bretons, tumulus carnacéens et circulations à longue distance. In : Pétrequin, P., Cassen, S., Errera, M., Klassen, L., Sheridan, A. (dir.). *Jade, grandes haches alpines du Néolithique européen. V^e^ et IV^e^ millénaires av. J.-C.* Presses Universitaires de Franche-Comté. Tome 2 (16), pp. 918-995.

Cassen, S., Grimaud, V., Lescop, L., Marcoux, N., Oberlin, C., Querré, G., 2014. The first radiocarbon dates for the construction and use of the interior of the monument at Gavrinis (Larmor-Baden, France). *The newsletter of the Prehistoric Society*, tome 77, pp.2–5. [URL: http://www.prehistoricsociety.org/files/PAST_77_for_web.pdf, consulté le 26/06/2015]

Cassen S., L'Helgouac'h J., 1992. Du Symbole de la crosse : chronologie, répartition et interprétation. In : C.T. Le Roux (dir.), *Paysans et Bâtisseurs. L'émergence du Néolithique atlantique et les origines du Mégalithisme*. Actes du XVIIe colloque interrégional sur le Néolithique. Vannes 29-31 octobre 1990. Revue Archéologique de l'Ouest, Supp. n° 5, Rennes, p. 223-235.

Cassen, S., Lanos, P., Dufresne, P., Oberlin, C., Delqué-Kolic, E., Le Goffic, M., 2009. Datations sur site (Table des Marchands, alignement du Grand Menhir, Er Grah) et modélisation chronologique du Néolithique morbihannais. In : Cassen, Serge (dir.), *Autour de la Table : Explorations archéologiques et discours savants sur des architectures néolithiques à Locmariaquer, Morbihan (Table des Marchands et Grand Menhir)*, ACR 2003-2006, Actes du colloque international, Vannes (Morbihan), 5-7 octobre 2007 (université de Bretagne-Sud, campus Le Tohannic), Nantes, LARA, université de Nantes, 2009, pp. 817-825.

Cassen, S., Lefèbvre, B., Vaquero Lastres, J., Collin, C., 2005. Le Mané Lud en sauvetage (Locmariaquer, Morbihan). Enregistrement et restitution de signes gravés dans une tombe à couloir néolithique. *L'Anthropologie*, 109 (2), pp.325–384. [DOI : 10.1016/j.anthro.2005.04.004]

Cassen, S., Lescop, L., Chaigneau, C., Rousset, J.M., Grimaud, V., (à paraître). *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*, sous la direction de Acerra, M., Cérino, C., Le Bouëdec, G., Plouviez, D., Llinares, S.

Cassen, S., Lescop, L., Grimaud, V., 2013a. 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*, tome 120 (n°1), pp.7–35.

Cassen, S., Lescop, L., Grimaud, V., Querré, G., Suner, B., 2013b. In search of a representation of the Gavrinis megalithic tomb (Morbihan, France). In : IV Congreso Internacional de arqueolgia e Informatica Grafica, Patrimonio e Innovacion, Seville, 20-22 juin 2012. *Virtual archaeology review*, vol. 4, p. 61-63

Cassen, S., Lescop, L., Grimaud, V., Robin, G., 2014. 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, pp.126–140. [DOI : 10.1016/j.jas.2014.02.019]

Cassen, S., Robin, G., Martinez, P., Merheb, M., 2006. Moving the immovable. A short study of methods of recording and illustrating Neolithic engraved stelae in Brittany (France). In : Vergneux, R., (dir.), 2005 : *Virtual Retrospect*, Archéovision, Bordeaux, pp.187–193.

Cassen, S., Vaquero Lastres, J., 2003. Construction et déconstruction des surfaces sur les temps. Enregistrement et représentation des stèles gravées. Le Bronzo en Locmariaquer et Vieux Moulin en Plouharnel (Moribihan). *Revue archéologique de l'ouest*, 20, pp.109–125.

Cebriándel Moral, F., Yáñez Rodríguez, J., Lestón Gómez, M., Vidal Pérez, F., Carrera Ramírez, F., 2011. *El dolmen de Dombate, arqueología, restauración, arquitectura*. Deputación da Coruña, Coruña, 311 p.

Cerino, C., 2007. Enjeux stratégiques et opérations navales britanniques en Bretagne-Sud au XVIIIe siècle. *Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest*, (114-4), pp.133–148. [URL : http://abpo.revues.org/472, consulté le 26/06/2015]

Chandler, J.H., Bryan, P., Fryer, J.G., 2007. The Development And Application Of A Simple Methodology For Recording Rock Art Using Consumer-Grade Digital Cameras. *The Photogrammetric Record*, 22 (117), pp.10–21. [DOI : 10.1111/j.1477-9730.2007.00414.x]

Chandler, J.H., Fryer, J.G., 2005. Recording aboriginal rock art using cheap digital cameras and digital photogrammetry, *CIPA XX International Symposium, XX, International Cooperation to save the World's Cultural Heritage*, Torino, pp.193-8.

Chandler, J.H., Fryer, J.G., Kniest, H.T., 2005. Non-invasive three-dimensional recording of aboriginal rock art using cost-effective digital photogrammetry. *Rock Art Research*, 22 (2), pp.119–130.

Chandler, J.H., Fryer, J., 2013. AutoDesk 123D Catch : How accurate is it ? *Geomatics World*, (February 2013), pp.32–34.

Clogg, P., Díaz-Andreu, M., Larkman, B., 1999. Digital Image Processing and the Recording of Rock Art. *Journal of Archaeological Science*, 27 (9), pp.837–843. [DOI : 10.1006/jasc.1999.0522]

Closmadeuc, G. (de), 1876. L'île de Gavrinis et son monument (nouvelle édition). *Bulletin de la société polymathique du Morbihan*, Vannes, 15 p. [URL: http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5471619c.r=closmadeuc+1876.langFR, consulté le 26/06/2015]

Closmadeuc, G. (de), 1884. Gavrinis, fouilles et découvertes récentes. *Bulletin de la société polymathique du Morbihan*, pp.180–187. [URL : http://gallicalabs.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k207586w, consulté le 26/06/2015]

Closmadeuc, G. (de), 1885. Fouilles et découvertes nouvelles dans l'île de Gavrinis. *Bulletin de la société polymathique du Morbihan*. Vannes, pp. 134–145. [URL: http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k207595v/f142.tableDesMatieres, consulté le 26/06/2015]

Closmadeuc, G. (de), 1886. Gavrinis, dernières fouilles sous le dallage de la chambre. *Bulletin de la société polymathique du Morbihan*, 2, pp.63–69. [URL : http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k2075967/f67.image, consulté le 26/06/2015]

Closmadeuc, G. (de), 1887. Fouilles sous le dallage du monument intérieur de Gavr'inis (Morbihan). *Bulletins de la Société d'anthropologie de Paris*, 10 (3), pp. 10-15. [DOI : 10.3406/bmsap.1887.5278]

Collinot, J.-F., 2000. Gustave Thomas de Closmadeuc (1828-1918) - Scientifique et humaniste morbihannais. *Espace-science (n° 163)*. [URL : http://www.espace-sciences.org/archives/science/13654.html, consulté le 26/06/2015]

Corton Noya, N., Carrera, F., De La Peña, A., Neira, A., Bernaldo de Quiros, F., 2011. Avance al estudio de los petroglifos de Peña Fadiel (Filiel, Lucillo de Somoza, Leon). *Férvedes. Revista de Investigacion*, 2 (7), pp.105–114.

Debevec, P.E., 1996. Modeling and Rendering Architecture from Photographs. In: *SIGGRAPH '96 Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp.11-20. [DOI : 10.1145/237170.237191]

Dehn, T., Hansen, S.I., 1990. Restauration d'hypogées préservés au Danemark. In : *Sites archéologiques en Europe — Conservation , entretien et mise en valeur Sites archéologiques en Europe Conservation, entretien et mise en valeur*. Conseil de l'Europe, pp. 11–17.

Dehn, T., Hansen, S.I., 2002. Architecture mégalithique en Scandinavie. In : Joussaume, R., Laporte, L., Scarre, G., (dir). *Origine et développement du mégalithisme de l'Ouest de l'Europe (colloque international)*, éd. Conseil Général des Deux-Sèvres, Bougon, pp. 39–61.

Dellepiane, M., Corsini, M., Callieri, M., Scopigno, R., 2006. High Quality PTM Acquisition : Reflection Transformation Imaging for Large Objects. In: Ioannides, M, Arnold, D and Niccolucci, F (dir.), 2006. *Proceedings of the 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST 2006)*, Nicosie. Eurographics Association, 8 p. [DOI : 10.2312/VAST/VAST06/179-186]

Diaz-Andreu, M., Hobbs, R., Rosser, N., Sharpe, K., Trinks, I., 2005. Long Meg : rock art recording using 3D laser scanning. *The newsletter of the Prehistoric Society*, 50, pp.2–6. [URL : http://www.le.ac.uk/has/ps/past/past50.html, consulté le 26/06/2015]

Domingo, I., Villaverde, V., López-Montalvo, E., Luis-Lerma, J., Cabrelles, M., 2013. Latest developments in rock art recording: towards an integral documentation of Levantine rock art sites combining 2D and 3D recording techniques. *Journal of Archaeological Science*, 40 (4), pp.1879–1889. [DOI : 10.1016/j.jas.2012.11.024]

Domingo Sanz, I., 2014. Rock Art Recording Methods: From Traditional to Digital. In : C. Smith, 2014. *Encyclopedia of Global Archaeology*. Springer, New York, pp. 6351–6357. [DOI : dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-0465-2_1277]

Earl, G., Basford, P., Bischoff, A., Bowman, A., Crowther, C., Dahl, J., Hodgson, M., Isaksen, L., Kotoula, E., Martinez, K., Pagi H., Piquette K. E., 2011. Reflectance Transformation Imaging Systems for Ancient Documentary Artefacts. In : Bowen, J.P., Dunn, S., Ng, K. (dir.), 2011. *Electronic Visualisation and the Arts*. BCS, Londres, pp. 1–9. [URL : http://ewic.bcs.org/content/ConWebDoc/40587, consulté le 26/06/2015]

El-Wakim, L., 2005. Antique versus moderne au début du XVIe siècle à Rome : la lettre à Léon X. In El-Wail, L., Pallini, S., Umstätter-Mamedova, L., 2005. Études *transversales. Mélanges en l'honneur de Pierre Vaisse*. Presses universitaires de Lyon, Lyon, pp. 47–58. [URL : http://archive-ouverte.unige.ch/unige:24209, consulté le 26/06/2015]

Eogan, G., 1984. *Excavations at Knowth (1)*. Royal Irish Academy, Dublin, 364 p. [URL : http://www.ria.ie/publications/books/research-series/excavations-at-knowth.aspx, consulté le 26/06/2015]

Erlande-Brandenburg, A., Bechmann, R., Gimpel, J., Pernoud, R., 1986. *Carnet de Villard de Honnecourt : d'après le manuscrit conservé à la bibliothèque nationale de Paris, n°19093*, Stock, Paris.

Favre-Brun, A., 2013. *Architecture virtuelle et représentation de l'incertitude : analyse des solutions de visualisation de la représentation 3D. Application à l'église de la chartreuse de Villeneuve-lez-Avignon (Gard) et à l'abbaye Saint-Michel de Cuxa (Pyrénées-Orientales)*, sous la direction de Hartmann-Virnich, A., Université d'Aix-Marseille, Aix-Marseille.

Feruglio, V., Bourdier, C., Dutailly, B., Ferrier, C., Konic, S., Lacanette, D., Jaubert, J., 2013. Un outil de relevés 3D partagés en ligne : premières applications pour l'art et la taphonomie des parois ornées de la grotte de Cussac (ArTaPoC / programme LaScArBx). Colloque *Virtual Retrospect*, sous la direction de Vergneux, R., Archéovision, Bordeaux. URL : http://calenda.org/256789, consulté le 26/06/2015]

Friedli, E., Theiler, P.W., 2014. Documentation of remote archaeological sites – A comparison between long-range laser scanning and UAV-photogrammetry. *Proceedings of Fédération Internationale des Géomètres, Kuala Lumpur 2014*, pp.16-21.

Frommel, S., 2007. Les relevés de Jacques Androuet du Cerceau : entre approche rationnelle et imagination. *Le Relevé en architecture ou l'éternelle quête du vrai* (colloque, Paris, 2007), Ed. Lieux Dits., Cité de l'Architecture et du Patrimoine, Lyon, pp. 12–34.

Fuchs, A., 2006. *Outils numériques pour le relevé architectural et la restitution archéologique*, sous la direction de Florenzano, M., Université Henri Poincaré, Nancy.

Furukawa, Y., Ponce, J., 2010. Accurate, dense, and robust multiview stereopsis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 32 (1), pp.1362–1376.

Germann, G., 2009. John Ruskin et l'authenticité du matériau. In : Germann, G., 2009, *Aux origines du patrimoine bâti*. Archigraphy, éd. Infolio, Gollion, pp. 371–386.

Giot, P.-R., 1983. Chronique de préhistoire et de protohistoire finistériennes. *Société Archéologique du Finistère*, pp.9–16.

Giot, P.-R., 1987. *Barnenez, Carn, Guennoc*, 2 vol. Travaux du Laboratoire d'Anthropologie Préhistoire, Université de Rennes I, Rennes, pp. 320.

Giot, P.-R., Querré, G., 1987. Quelques productions céramiques médiévales de Bretagne : les incidences des caractéristiques minéralogiques. *La céramique (Ve-XIXe s.): fabrication - commercialisation - utilisation: actes du premier congrès international d'archéologie médiévale (Paris 4-6 octobre 1985)*, Société d'Archéologie Médiévale, Caen, pp.149–156.

Gil, M., Ortiz, J., Martínez, S., Vazquez, Rego, T., 2011. The detection of petroglyps through digital image processing. The particular case of the stone inside the chapel of Saint Bartolomé (Lugo – Spain). *Proceedings of the International Conference on Innovative Methods in Product Design*, Venise, pp. 363–367. [URL : http://www.improve2011.it/Full_Paper/37.pdf, consulté le 26/06/2015]

Giron Sierra, J., 2007. L'utilisation de nouvelles techniques par W. Goodyear au début du XXe siècle et leur apport à l'histoire de l'architecture selon A. Choisy. *Le Relevé en architecture ou l'éternelle quête du vrai* (colloque, Paris, 2007), Ed. Lieux Dits., Cité de l'Architecture et du Patrimoine, Lyon, pp. 180–190.

Gonzalez-Aguilera, D., Rodriguez-Gonzalvez, P., Mancera-Taboada, J., Muñoz-Nieto, A., Herrero-Pascual, J., Gomez-Lahoz, J., Picon-Cabrera, I., 2011. Application of Non-Destructive Techniques to the Recording and Modelling of Palaeolithic Rock Art. In : Prof. Chau-Chang Wang, 2011, *Laser Scanning, Theory and Applications. Ed.* InTech, pp. 305-326. [DOI : 10.5772/14567]

Goskar, T., Carty, A., Cripps, P., Brayne, C., Vickers, D., 2003. The Stonehenge Lasershow. *British Archaeology*, 73 (4), pp. 9-15. [URL : http://www.archaeologyuk.org/ba/ba73/feat1.shtml, consulté le 26/06/2015]

Gourhan, J., 2001. L'abbé Joseph Mahé, premier érudit morbihannais. In: Tonnerre J.-Y., 2001, *Chroniqueurs et historiens de la Bretagne du Moyen Âge au milieu du XXe siècle*. Presses Universitaires de Rennes, Rennes, pp. 125–142.

Grubert, M., 2007. De la connaissance au projet. *Le Relevé en architecture ou l'éternelle quête du vrai* (colloque, Paris, 2007), Ed. Lieux Dits., Cité de l'Architecture et du Patrimoine, Lyon, pp. 57–59.

Harris, C., Stephens, M., 1988. A Combined Corner and Edge Detector. *Procedings of the Alvey Vision Conference 1988*, pp.23.1–23.6. [DOI : 10.5244/C.2.23]

Joussaume R., 1978. Le dolmen à couloir dit « la Ciste des Cous » à Bazoges-en-Pareds (Vendée). *Bulletin de la Société préhistorique française*, 75 (11-12), pp. 579-596 [DOI : 10.3406/bspf.1978.8534].

Joussaume R., 1981. Le Néolithique de l'Aunis et du Poitou occidental dans son cadre atlantique. Université de Rennes, Travaux du Laboratoire d'Anthropologie-Préhistoire, 625 p.

Kutulakos, K.N., Seitz, S.M., 2000. Theory of shape by space carving. *International Journal of Computer Vision*, 38 (3), pp.199–218.

L'Helgouac'h, J., 1965. Les Sépultures mégalithiques en Armorique. Université de Rennes, Travaux du Laboratoire d'Anthropologie-Préhistoire, Rennes.

L'Helgouach, J., Poulain, H., 1984. Le cairn des Mousseaux à Pornic et les tombes mégalithiques transeptées de l'estuaire de la Loire. *Revue Archéologique de l'Ouest*, 1, pp.15–32 [DOI : 10.3406/rao.1984.858].

Le Goffic, M., 2010. La nécropole mégalithique de la pointe du Souc'h (Plouhinec, Finistère). *L'archéo-théma (revue d'archéologie et d'histoire), le Néolithique sur la façade atlantique*, (n°10, septembre 2010), pp. 15-17.

Le Roux, C.-T., 1981. Bretagne, Larmor-Baden. *Gallia préhistoire*, 24 (2), pp.420–422. [URL: http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/galip_0016-4127_1981_num_24_2_1680, consulté le 26/06/2015]

Le Roux, C.-T., 1982. Nouvelles gravures à Gavrinis, Larmor-Baden (Morbihan). *Bulletin de la Société préhistorique française*, 79 (3), pp.89–96. [DOI : 10.3406/bspf.1982.5367]

Le Roux, C.-T., 1983. Bretagne. Larmor-Baden, Tumulus de Gavrinis. *Gallia préhistoire*, 26 (2), pp.332–333. [URL : http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/galip_0016-4127_1983_num_26_2_1722, consulté le 26/06/2015]

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*, 81 (8), pp.240–245. [DOI : 10.3406/bspf.1984.8777]

Le Roux, C.-T., 1985. Larmor-Baden, cairn de Gavrinis. *Gallia préhistoire*, tome 28 (2), pp.229–231. [URL: http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/galip_0016-4127_1985_num_28_2_2230, consulté le 26/06/2015]

Le Roux, C.-T., 2006. *Gavrinis et les mégalithes du golfe du Morbihan*, éditions Jean-Paul Gisserot, Paris, 110 p.

Le Roux C.-T., l'Helgouach J., 1967. Le cairn mégalithique avec sépultures à chambres compartimentées de Kerleven, commune de la Forêt-Fouesnant (Finistère). *Annales de Bretagne*, 74 (1), pp. 7-52. [DOI : 10.3406/abpo.1967.2385]

Le Rouzic, Z., 1935. Carnac. (Restaurations faites dans la Région). Nouvelles découvertes dans le Dolmen de Gavrinis (Commune de Larmor-Baden). *Bulletin de la Société préhistorique française*, 32 (2), pp.128–131. [DOI : 10.3406/bspf.1935.6279]

Laroche, F., 2007. *Contribution à la sauvegarde des objets techniques anciens par l'archéologie industrielle avancée. Proposition d'un modèle d'information de référence muséologique et d'une méthode interdisciplinaire pour la capitalisation des connaissances du patrimoine technique et industriel*, sous la direction de Bernard, A., École Centrale de Nantes et Université de Nantes, Nantes.

Leclerc, J., Masset, C., 2006. L'évolution de la pratique funéraire dans la sépulture collective néolithique de La Chaussée-Tirancourt (Somme). *Bulletin de la Société préhistorique française*, 103 (1), pp.87–116.

Lecornec, J., 1985. Le complexe mégalithique du Petit-Mont à Arzon (Morbihan). *Revue Archéologique de l'Ouest*, tome 2, pp.47–63 [DOI : 10.3406/rao.1985.870].

Lecornec, J., 1987. Le complexe mégalithique du Petit-Mont à Arzon (Morbihan). *Revue Archéologique de l'Ouest*, tome 4. pp. 37-56 [DOI : 10.3406/rao.1987.902].

Lecornec, J., 1994. *Le Petit Mont, Arzon, Morbihan*. Documents archéologiques de l'Ouest, Revue Archéologique de l'Ouest, Rennes, 110 p.

Lengereau, E., 2005. *Vers un doctorat en architecture*, Ministère de la Culture et de la Communication, Bureau de la Recherche Architecturale, Urbaine et Paysagère, Paris, 236 p.

Leniaud, J.-M., 2007. Jean-Baptiste Lassus (1807-1857) et la monographie de la cathédrale de Chartres. *Le Relevé en architecture ou l'éternelle quête du vrai* (colloque, Paris, 2007), Ed. Lieux Dits., Cité de l'Architecture et du Patrimoine, Lyon, pp. 35–42.

Lerma, J.L., Navarro, S., Cabrelles, M., Villaverde, V., 2010. Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study. *Journal of Archaeological Science*, 37 (3), pp.499–507. [DOI : 10.1016/j.jas.2009.10.011]

Lerma, J.L., Villaverde, V., Garcia, A., Cardona, J., 2006. Close range photogrammetry and enhanced recording of paleolithic rock art. In *IAPRS Volume XXXVI*, (5), Dresden, pp. 147–154. [URL : http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/part5/paper/LERM_623.pdf, consulté le 26/06/2015]

Linares-Catela, D., Linares-Catela, J.A., Lozano-Martínez, F.R., Barrera-Vera, J.A., Pallarés-Silva, V., 2013. Topografía de vanguardia en los levantamientos de yacimientos megalíticos estrategias para el conocimiento. Métodos. In : *4th International Meeting on GraphicArchaeology and Informatics, Cultural Heritage and Innovation*, ARQUEOLÓGICA 2.0, 20th-22th June 2012, Séville, pp.125–129. [URL : http://www.varjournal.es/doc/varj04_008_25.pdf, consulté le 26/06/2015]

Lowe, D.G., 1999. Object Recognition from Local Scale-Invariant Features. *IEEE International Conference on Computer Vision*, vol. 2, pp. 1150-1157. [DOI : 10.1109/ICCV.1999.790410]

Malzbender, T., Gelb, D., Wolters, H., 2001. Polynomial Texture Maps. *Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, ACM SIGGRAPH 2001, Los Angeles, pp.519–528 [DOI : 10.1145/383259.383320].

Mañana-Borrazás, P., Blanco-Rotea, R., Rodriguez-Paz, A., 2009. Geometrical documentation of cultural heritage elements with terretrial laser scanning. The Lapa's Experience in Galicia. *Cuadernos de Estudios Gallegos*, LVI, (122), Consejo Superior de Investigaciones Científicas, pp.33–65. [URL : http://digital.csic.es/handle/10261/20449, consulté le 26/06/2015]

Manferdini, A.M., Russo, M., 2013. Multi-scalar 3D digitization of Cultural Heritage using a low-cost integrated approach. *Digital Heritage International Congress, 28 Octobre – 1 Novembre 2013*, Marseille, vol. 1, pp. 153-160, [DOI : 10.1109/DigitalHeritage.2013.6743725]

Marguerie, D., 1987. Étude palynologique du complexe mégalithique du Petit-Mont (Arzon, Morbihan). *Revue Archéologique de l'Ouest*, tome 4. pp. 57-61 [DOI : 10.3406/rao.1987.903]

Mahé, J., 1825. *Essai sur les Antiquités du département du Morbihan*, Galles aîné, imprimeur du Roi, Vannes, pp.97-99. [URL : http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k61026071/f114.image, consulté le 26/06/2015]

Mavromati, D., Petsa, E., Karras, G., 2003. Experiences in photogrammetric archaeological recording. *Proceedings of XIX CIPA International Symposium*, Antalya, pp.666–669. [URL : http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.80.7415&rep=rep1&type=pdf, consulté le 26/06/2015]

Mazières, F. (de), Grubet, M., 2007. *Le Relevé en architecture ou l'éternelle quête du vrai* (colloque, Paris, 2007), Ed. Lieux Dits., Cité de l'Architecture et du Patrimoine, Lyon, pp. 114-129.

Menier, D., Scalliet, F., Proust, J.-N., Cassen, S., 2009. Contexte géomorphologique et paléoenvironnemental en Bretagne-sud au Pléistocène. In: Cassen, S. (dir.), *Autour de la Table : Explorations archéologiques et discours savants sur des architectures néolithiques à Locmariaquer, Morbihan (Table des Marchands et Grand Menhir), ACR 2003-2006, Actes du colloque international, Vannes (Morbihan), 5-7 octobre 2007 (Université de Bretagne-Sud, campus Le Tohannic), LARA, Université de Nantes, Nantes, 2009*, pp. 800–813.

Mérimée, P., 1836. *Note d'un voyage dans l'Ouest de la France*. Librairie de Fournier, Paris. [URL: http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8623239k, consulté le 26/06/2015]

Mudge, M., Malzbender, T., Schroer, C., Lum, M., 2006. New Reflection Transformation Imaging Methods for Rock Art and Multiple-Viewpoint Display. In : Ioannides, M, Arnold, D and Niccolucci, F (dir.) *Proceedings of the 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST 2006)*, Nicosie. Eurographics Association, pp.195–202. [DOI : 10.2312/VAST/VAST06/195-202]

Palma, G., Corsini, M., Cignomi, P., Scopigno, R., Mudge, M., 2010. Dynamic shading enhancement for reflectance transformation imaging. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 3 (2), pp.1–20. [DOI : 10.1145/1841317.1841321]

Pauwels, P., Verstraeten, R., De Meyer, R., Van Campenhout, J., 2008. Architectural Information Modelling for Virtual Heritage Application. *Digital Heritage – Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, ed. Marinos Ioannides, pp.18–23. [URL : http://hdl.handle.net/1854/LU-434809, consulté le 26/06/2015]

Pinçon, G., Bourdier, C., Fuentes, O., Abgrall, A., 2010. De la manipulation des images 3D, *In Situ*, (13). [DOI : 10.4000/insitu.6814]

Poikalainene, V., Ernits, E., 1998. Rock Carvings of Lake Onega : the Vodla Region, Tartu. *Estonian Society of Prehistoric Art*, p.432.

Poisson, O., 2007. Le relevé de la cité de Carcassonne par Viollet-le-Duc : une première approche. In : *Le relevé en architecture ou l'éternelle quête du vrai*. Cité de l'Architecture et du Patrimoine, Lyon, pp. 43–55.

Prost, R., 1992. *Conception architecturale, une investigation méthodologique*, L'Harmattan, Paris, 190 p.

Ramos, J., Giles, F., Domínguez-Bella, S., Castañeda, V., Pérez, M., Gutiérrez, J.M., Lazarich, M., Morata, D., Martínez, C.,Cáceres, I., y Felíu, M.J., 1997. Informe arqueológico del dolmen de Alberite (Villamartín). Excavación, analítica y balance histórico. *Anuario Arqueológico de Andalucía/1993. III Actividades de Urgencias*. Delegación de Bienes culturales. Junta de Andalucía. pp. 64-79.

Reeves, C.N., 2003. *Toutankhamon : Vie, mort et découverte d'un pharaon*, éditions Errance, Paris, 224 p.

Remondino, F., 2011. Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. *Remote Sensing*, 3 (12), pp.1104–1138. [DOI : 10.3390/rs3061104]

Remondino, F., El-Hakim, S., 2006. Image-based 3D Modelling: A Review. *The Photogrammetric Record*, 21 (115), pp.269–291. [DOI: 10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x]

Renfrew, C., Aitken, M.J., Judson, C.T., 1979. *Investigation in Orkney.* Society of Antiquaries of London, Thames and Hudson, Londres, 234 p.

Robson Brown, K.A., Chalmers, A., Saigol, T., Green, C., D'errico, F., 2001. An Automated Laser Scan Survey of the Upper Palaeolithic Rock Shelter of Cap Blanc. *Journal of Archaeological Science*, 28 (3), pp.283–289. [DOI : 10.1006/jasc.2000.0574]

Rocheleau, M., 2010. La modélisation 3D comme méthode de recherche en sciences historiques. A*ctes du 10e colloque international étudiant du département d'histoire*, Université de Laval, Québec, pp.246-265.

Roy, S., Cox, I., 1998. A maximum-flow formulation of the N-camera stereo correspondence problem. *Sixth International Conference on Computer Vision, 1998*, Bombay, pp. 492-499. [DOI : 10.1109/ICCV.1998.710763]

Rusinkiewicz, S., Burns, M., DeCarlo, D., 2006. Exaggerated shading for depicting shape and detail. *Proceedings of the symposium on Interactive 3D graphics and games*, 2006, ACM SIGGRAPH, 25 (3), pp. 1199-1205. [DOI : 10.1145/1141911.1142015]

Ruskin, J., 1849. *The seven lamps of architecture*, Dana Estes & Company Publishers, Boston, pp.210. [URL : http://www.gutenberg.org/files/35898/35898-h/35898-h.htm, consulté le 26/06/2015]

Ruiz Gonzalez, B., 2009. El proyecto de tutela y valorización de los dólmenes de Antequera, In : *Dólmenes de Antequera. Tutela y Valorización Hoy*, PH Cuadernos 23, Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, 2009, p. 12-37.

Sellier D., 1991. Analyse morphologique des marques de la météorisation des granites à partir de mégalithes morbihannais. L'exemple de l'alignement de Kerlescan à Carnac. *Revue Archéologique de l'Ouest*, tome 8. pp. 83-97. [DOI : 10.3406/rao.1991.1137]

Sellier D., 1995. Éléments de reconstitution du paysage prémégalithique sur le site des alignements de Kerlescan (Carnac, Morbihan) à partir de critères géomorphologiques. *Revue Archéologique de l'Ouest*, tome 12. pp. 21-41. [DOI : 10.3406/rao.1995.1023]

Seker, B.S., Cakir, F., Dogangun, A., Uysal, H., 2014. Investigation of the structural performance of a masonry domed mosque by experimental tests and numerical analysis. *Earthquakes and Structures*, 6 (4), pp.335–350. [DOI : 10.12989/eas.2014.6.4.335]

Simpson, A., Clogg, P., Diaz-Andreu, M., Larkman, B., 2003. Towards three-dimensional non invasive recording of incised rock art. *Antiquity*, volume 78, issue 301, pp.692–698.

Snavely, N., Seitz, S.M., Szeliski, R., 2006. Photo Tourism : Exploring Photo Collections in 3D. *Proceedings of the symposium on Interactive 3D graphics and games*, 2006, ACM SIGGRAPH, Boston, pp. 835-546. [DOI : 10.1145/1179352.1141964]

Soares, J., Tavares da Silva, C., 2010. Anta Grande do Zambujeiro. Arquitectura e poder, Intervenção arqueologica do MAEDS, 1985-1987. *Musa, Museus, Arquelogia e Outros Patrimonios*, (3), pp.77–118.

Tanguay, M., 2012. *Conserver ou restaurer ? La dialectique de l'œuvre architecturale : histoire d'un débat qui a contribué à la formation de la culture de la conservation du patrimoine bâti*, sous la direction de Cameron, C., Faculté des Études Supérieures de l'Université de Montréal, Montréal.

Tilley, C., 1996. *An Ethnography of the Neolithic, early Prehistoric Societies in Southern Scandinavia*, Cambridge University Press, Cambridge.

Trinks, I., Diaz-Andreu, M., Hobbs, R., Sharpe, K., 2005. Digital rock art recording: visualising petroglyphs using 3d laser scanner data. *Journal of Rock Art Research*, 22, pp.131–139.

Vergne, R., Bousseau, A., Thollot, J., Vanderhaeghe, D., Barla, P., Granier, X., 2007. Utilisation du rendu expressif pour l'illustration et l'exploration de données archéologiques. In R. Vergnieux, ed. *Virtual Retrospect 2007 : Archéologie et Réalité Virtuelle*. Collection Archéovision, éd. Ausonius, Pessac, pp. 101–106. [URL : https://hal.inria.fr/inria-00510251, consulté le 26/06/2015]

Vergne, R., Pacanowski, R., Barla, P., Granier, X., Schlick, C., 2010. Radiance Scaling for Versatile Surface Enhancement. *Proceedings of the symposium on Interactive 3D graphics and games*, Feb 2010, ACM SIGGRAPH, Boston. [DOI : 10.1145/1730804.1730827]

Viollet-le-Duc, E.–E., 1859. Restauration. In : *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVe siècle - tome 8*. Editions Bance-Morel de 1854 à 1868, Paris, pp.14-33. [URL : https://fr.wikisource.org, consulté le 26/06/2015]

Vogt, J., 1979. *Les tremblements de terre en France*. Mémoires du BRGM, n°96.

Vourc'h, M., Chaigneau, C., Cassen, S., 2014. Archéologie expérimentale à Gavrinis : vers une compréhension du geste gravé (campagne 2013-2013). *Journée du CReAAH (UMR 6566)*. Rennes, pp. 32–38.

Wilcok, J.D., 1973. A General Survey of Computer Applications in Archaeology. *Science and archaeology: proceedings of the 1st International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*, George Street Press, Stafford January 1973, pp.17–21.

Wu, C., Agarwal, S., Curless, B., Seitz, S.M., 2011. Multicore bundle adjustment. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, (1), Colorado Springs, pp.3057–3064.

Wu, C., 2013. Towards linear-time incremental structure from motion. *Proceedings of the International Conference on 3D Vision, 2013*, IEEE Xplore, Seattle, pp.127–134. [DOI : 10.1109/3DV.2013.25]

11.2. Les rapports

Abbott, M., Anderson-Whymark, H., 2012. *Stonehenge laser scan : archaeological analysis report*, Research report series n° 32, English Heritage, Fort Cumberland, Portsmouth, 71 p. [URL : http://research.historicengland.org.uk/redirect.aspx?id=6075, consulté le 30/06/2015]

Arles, A., Busdraghi, F., Guyot, J., Heckes., 2011. *La photogrammétrie appliquée à l'archéologie minière : premiers essais*. CNRS, Université d'Orléans, Centre Ernest Babelon et Deutsches Bergbau-Museum, Bochum [URL : https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00656130, consulté le 30/06/2015]

Cassen, S., Lescop, L., Grimaud, V., Querré, G., 2011. *Gavrinis (Larmor-Baden, Morbihan). À la recherche des représentations d'une tombe à couloir du IVe millénaire (1)*, 2 vol., Direction Régionale des Affaires Culturelles de Bretagne, Rennes, 156 p.

Cassen, S., Lescop, L., Grimaud, V., Querré, G., Pustoc'h, F., 2012. *Gavrinis (Larmor-Baden, Morbihan). À la recherche des représentations d'une tombe à couloir du IVe millénaire (2)*, 2 vol., Direction Régionale des Affaires Culturelles de Bretagne, Rennes, 322 p.

Cassen, S., Lescop, L., Grimaud, V., Vourc'h, M., 2013. *Gavrinis (Larmor-Baden, Morbihan). À la recherche des représentations d'une tombe à couloir du IVe millénaire (3)*, Direction Régionale des Affaires Culturelles de Bretagne, Rennes, 370 p.

Darvill, T., Eklund, J., Fulton, A., Hentula, H., Kleinitz, C., O'Connor, B., Price, C., Stanley-Price, N., Ucko, P., 2000. *Rock Art Pilot Project, main report (release 2)*, Bournemouth and London, p.337. [URL : http://eprints.bournemouth.ac.uk/9602/1/Rock_Art.pdf, consulté le 26/06/2015]

Le Roux, C.-T., 1979. *Rapport scientifique sur la campagne de sauvetage menée en octobre-décembre 1979 au cairn de Gavrinis, commune de Larmor-Baden (Morbihan)*, Direction Régionale des Affaires Culturelles de Bretagne, Rennes, 10 p.

Le Roux, C.-T., 1980. *Rapport scientifique sur la fouille de sauvetage programmée du cairn de Gavrinis, commune de Lamor-Baden (Morbihan)*. Campagnes d'avril et septembre 1980, Direction Régionale des Affaires Culturelles de Bretagne, Rennes, 34 p.

Le Roux, C.-T., 1981b. *Rapport scientifique sur le sauvetage programmé du cairn de Gavrinis, commune de Larmor-Baden (Morbihan). Campagnes d'avril et septembre 1981*, Direction Régionale des Affaires Culturelles de Bretagne, Rennes, 40 p.

Le Roux, C.-T., 1982b. *Rapport scientifique sur le sauvetage programmé du cairn de Gavrinis, commune de Larmor-Baden (Morbihan). campagnes d'avril et septembre 1982*, Direction Régionale des Affaires Culturelles de Bretagne, Rennes, 37 p.

Le Roux, C.-T., 1983b. *Rapport scientifique sur la quatrième campagne de sauvetage programmée au cairn de Gavrinis, Larmor-Baden (Morbihan)*, Direction Régionale des Affaires Culturelles de Bretagne, Rennes, pp.38.

Le Roux, C.-T., 1984b. *Rapport scientifique sur la fouille de sauvetage programmée du cairn de Gavrinis à Larmor-Baden (Morbihan). Campagne de 1984*, Direction Régionale des Affaires Culturelles de Bretagne, Rennes, pp.18.

Mills, J., Andrews, D., 2011. *3D Laser scanning for heritage (second edition), advice and guidance to users on laser scanning in archeology and architecture*. Ed. English Heritage, 40 p.

Querré, G., Pustoc'h, F., 2013. Étude pétrographique des blocs composant le dolmen de Gavrinis (Larmor-Baden, 56). In : Cassen, S. (dir.), *Gavrinis (Larmor-Baden, Morbihan). À la recherche des représentations d'une tombe à couloir du IVe millénaire (3)*, Direction Régionale des Affaires Culturelles de Bretagne, Rennes, pp.5.

Seoane-Veiga, Y., 2009. *Propuesta metodológica para el registro del Arte Rupestre de Galicia*, Cadernos de arqueoloxía e patrimonio, Santiago de Compostela, p.140. [URL : http://digital.csic.es/handle/10261/25060, consulté le 26/06/2015]

11.3. Autres sources de documentation

Alain, G., 2009. De l'archéologie à la médiation culturelle , la mise en réseau du tumulus en pierre sèche de Meulson (Côte d'Or). In : *Langage de pierre : la restitution du geste en archéologie préhistorique : colloque européen 2009*, sous la direction de Dumas, C., Roussel, B., Texier, P.-J., Musée des Baux-de-Provence, Les Baux-de-Provence [URL : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01090209/document, consulté le 26/06/2015]

Brayer, J.M., Walt, H., David, B., 1999. Quantitative Assessment of Rock Art Recording. *TRACCE, Online Rock Art Bulletin*, 11. [URL : http://www.rupestre.net/tracce/?p=1964, consulté le 26/06/2015]

Carbonnel, M., 1968. Introduction à l'application de la photogrammétrie aux édifices et aux ensembles monumentaux anciens. In: *Monumentum*, volume 4, ICOMOS, pp.3–35. [URL : http://www.international.icomos.org/monumentum/vol4/vol4_1.pdf, consulté le 26/06/2015]

Denard, H., 2009. *The London Charter for the computer-based visualisation of cultural heritage*. King's College London, Londres. [URL : http://www.londoncharter.org/, consulté le 26/06/2015]

Donnan, E., 1999. Recording British Rock Art. *TRACCE, Online Rock Art Bulletin*, 11. [URL : http://www.rupestre.net/tracce/?p=2024, consulté le 26/06/2015]

Fonyi, A., Geister-Szmulewicz, A., Mailho-Daboussi, L., Mayer, J., Rémy, A., 2003. *Prosper Mérimée, 1803-1870*. [URL : http://www.merimee.culture.fr/, consulté le 26/06/2015]

ICOMOS, 2004a. La charte d'Athènes pour la restauration des monuments historiques (1931). In *Chartes internationales sur la conservation et la restauration*. pp. 33–34. [URL : http://openarchive.icomos.org/431/1/Monuments_and_Sites_1_Charters.pdf, consulté le 26/06/2015]

ICOMOS, 2004b. La charte de Venise ; Charte Internationale sur la Conservation et la Restauration des Monuments et des Sites (1964). In *Chartes internationales sur la conservation et la restauration*. pp. 39–40. [URL : http://openarchive.icomos.org/431/1/Monuments_and_Sites_1_Charters.pdf, consulté le 26/06/2015]

ICOMOS, 2004c. Jardins historiques – La charte de Florence (1981). In *Chartes internationales sur la conservation et la restauration*. pp. 92–94. [URL : http://openarchive.icomos.org/431/1/Monuments_and_Sites_1_Charters.pdf, consulté le 26/06/2015]

ICOMOS, 2004d. Charte internationale pour la sauvegarde des villes historiques (Charte de Washington 1987). In *Chartes internationales sur la conservation et la restauration*. pp. 100–101. [URL : http://openarchive.icomos.org/431/1/Monuments_and_Sites_1_Charters.pdf, consulté le 26/06/2015]

ICOMOS, 2004e. Charte internationale du tourisme culturel ; la gestion du tourisme aux sites de patrimoine significatif (1999). In *Chartes internationales sur la conservation et la restauration*. pp. 142–145. [URL : http://openarchive.icomos.org/431/1/Monuments_and_Sites_1_Charters.pdf, consulté le 26/06/2015]

ICOMOS, 2004f. Charte du patrimoine bâti vernaculaire (1999). In *Chartes internationales sur la conservation et la restauration*. pp. 152–153. [URL : http://openarchive.icomos.org/431/1/Monuments_and_Sites_1_Charters.pdf, consulté le 26/06/2015]

Le Jeune, Y., 2014. Usage et traitement de données 2.5 D en archéologie : exemples d'application et d'automatisation. *Séminaire archéologique de l'Ouest du 2 octobre 2014*, sous la direction de Barreau, J.-B., et Laffont, P.-Y., Rennes. [URL : https://cnpao.univ-rennes1.fr/sites/cnpao.univ-rennes1.fr/files/pictures/actualites/S%C3%A9minaire%20Arch%C3%A9ologique%20de%20l'Ouest%202014.pdf, consulté le 26/06/2015]

Paoli, M., 2010. La Lettre à Léon X comme "discours de la méthode" ou la restauration de l'architecture antique au moyen du dessin. In *Scholion, Volume I*. Stiftung Bibliothek Werner Oechslin, Einsiedeln, pp. 53–76.

Pétrequin, P., Gauthier, E., 2012. JADE 2. *Objets-signes et interprétations sociales des jades alpins dans l'Europe néolithique*, 2 p. [URL : http://mshe.univ-fcomte.fr/, consulté le 26/06/2015]

Principles of Seville, International Principles of Virtual Archaeology (final drafts), 2011. Adopted by the International Forum of Virtual Archaeology, Séville. [URL : http://www.arqueologiavirtual.com/carta/wp-content/uploads/2012/03/BORRADOR-FINAL-FINAL-DRAFT.pdf, consulté le 26/06/2015]

Qallaki, Y., Polig, M., 2013. Acquisition of Stenkilsristningen, pp.1–22. [URL : http://www.rockartosterlen.se/file_download/1/Stenkilsristningen+Acquisition+Finished.pdf, consulté le 26/06/2015]

The Charter of Krakow 2000: Principles for conservation and restoration of built heritage. Adopté par *the International Conference on Conservation in Krakow, 2000*, Cracovie. [URL : http://openarchive.icomos.org/431/1/Monuments_and_Sites_1_Charters.pdf, consulté le 26/06/2015]Bibliographie

l'université nantes angers le mans
COMMUNAUTÉ D'UNIVERSITÉS ET ÉTABLISSEMENTS

UNIVERSITÉ DE NANTES

Thèse de Doctorat

Valentin GRIMAUD

Réexplorer et valoriser les architectures funéraires monumentales du Néolithique de l'Ouest de la France, étude du cairn de Gavrinis

Re-investigate and contextualize the Neolithic monumental funerary architectures of western France, study of the Gavrinis cairn

Résumé

Les architectures funéraires néolithiques de l'Ouest de la France présentent une forte densité et une grande cohérence, dont l'épicentre de ce phénomène est la région carnacoise. De cette période, les tombes sont les vestiges les plus évidents qui nous soient parvenus. Depuis leur reconnaissance au cours des XVIIIe et XIXe siècle et malgré les recherches qui ont suivi, de nombreuses zones d'ombre persistent quant à leur architecture. Trois de ces plus grandes tombes à couloir ont été fouillées au cours des années 1980 et 1990 (Petit Mont à Arzon, Gavrinis à Larmor-Baden et la Table des Marchands à Locmariaquer), mais l'image proposée à l'issue de la restauration de ces architectures est aujourd'hui sujette à débat. L'objectif de cette recherche est donc de réexplorer l'architecture d'un de ces monuments, Gavrinis, à partir de l'ensemble des archives produites depuis sa découverte et des vestiges eux-mêmes. Pour cela, il convient de reconstituer l'histoire du monument et de chacune de ses parties, et de mettre en place des protocoles adaptés aux outils dont nous disposons aujourd'hui et aux spécificités de ces architectures funéraires. Les outils d'acquisition tridimensionnelle permettent en effet de récolter une quantité importante d'information, du détail de la gravure à l'échelle du site entier. Grâce au caractère heuristique des maquettes numériques, les hypothèses de restitution peuvent être validées ou les incohérences mises au jour plus facilement. Le cas échéant, des pistes de réflexion sont ouvertes pour tenter de solutionner les problèmes.

Mots clés
Archéologie ; architecture funéraire ; Néolithique ; art pariétal ; restitution architecturale ; numérisation 3D ; reconstruction 3D ; patrimoine culturel.

Abstract

Neolithic funerary architectures from western France, whose epicenter of this phenomenon is the Carnac region, have a high density and a very important consistency. From this period, tombs are the obvious remains that have survived. Since their recognition during the 18th and 19th and despite the research that followed, many uncertainties remain about their architecture. Three of the most important passage graves where excavated during the 1980s and 1990s (Petit Mont at Arzon, Gavrinis at Larmor-Baden and la Table des Marchands at Locmariaquer), but the image proposed after the restoration of these architecture is now debatable. The aim of this research is to re-explore the architecture of one of these monuments, Gavrinis, from all archives produced since its discovery and the remains themselves. For this, it is firstly necessary to reconstruct the history of the monument and its different parts, and secondly to establish protocols adapted to the tools we have today and to the characteristics of these funerary architectures. The 3D digitization tools allow today to grab a significant amount of information, from rock art detail to the whole site. Thanks to the heuristic nature of digital models, the architectural restitution hypothesis can be validated or inconsistencies uncovered more easily. If necessary, lines of inquiry are open to solve these problems.

Key Words
Archeology ; funerary architecture ; Neolithic ; rock art ; architectural restitution ; 3D digitization ; 3D reconstruction ; cultural heritage.