

Comment mettre l'outil numérique au service du diagnostic des statues ?

Cas d'étude de la statue «Automne»
des jardins de la Magalone



Je tiens avant tout à remercier Marine Bagnéris pour son encadrement pendant le semestre, Philippe Bromblet et Odile Guillon pour les documents transmis et les conseils, ainsi que les ingénieurs du map-gamsau Anthony Pamart, Adeline Manuel et Anas Alaoui M'Darhri pour leur aide.

INTRODUCTION : Comment mettre l'outil numérique au service du diagnostic des statues ?	7
I. LA PLACE ACTUELLE DE L'OUTIL NUMERIQUE DANS LES DIAGNOSTICS	9
1. L'outil numérique : vers un changement progressif des moeurs dans la restauration des statues	11
a. L'approche traditionnelle du diagnostic et de la restauration d'oeuvres sculptées	11
b. Des premières expériences exploitant les outils numériques	15
c. Les possibilités de l'outil numérique aujourd'hui	17
2. Les limites actuellement rencontrées	24
a. Des limites matérielles et des savoirs encore peu répandus	24
b. La question de l'exploitation des données	24
c. Une nouvelle vision de la discipline	25
II. L'HISTOIRE DES STATUES DE LA MAGALONE	27
1. Les jardins de la Magalone	29
a. L'histoire des jardins	29
b. Les jardins aujourd'hui	31
c. Le statuaire des jardins	33
2. Les statues des quatre saisons	37
a. Description et histoire des statues	37
b. Un choix pour l'étude de cas : la statue l'automne	39
3. Un sculpteur inconnu pour ces statues	41
III. LES STATUES DE LA MAGALONE : COMMENT EXPLOITER L'OUTIL NUMERIQUE	43
1. L'acquisition photogrammétrique	45
a. La méthode d'acquisition	45
b. L'exploitation de l'acquisition	47

2. L'utilisation d'äoli : une volonté de transmettre autrement les informations des diagnostics	53
a. Les matériaux de la statue	53
b. Les dégradations de la statue	57
c. Les restaurations	69
3. Les conclusions du diagnostic numérique	70
a. Äoli : les possibilités et améliorations potentielles	70
b. Le diagnostic numérique : une méthode innovante pour faire progresser le diagnostic des statues	72
c. Les limites actuelles à la démocratisation du diagnostic numérique	72
CONCLUSION : Quels souhaits et avenir pour l'outil numérique dans le diagnostic des statues ?	74

Comment mettre l'outil numérique au service du diagnostic des statues ?

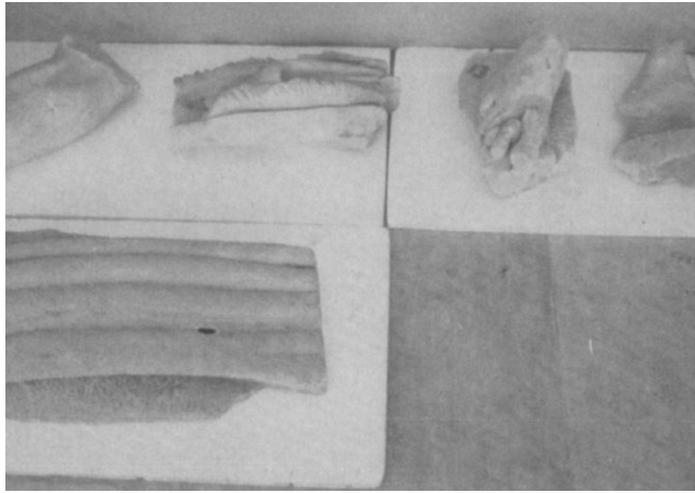
Cela fait maintenant quelques décennies que le numérique prend une place de plus en plus importante dans nos modes de vie. En effet, à la fois dans notre quotidien et dans notre travail, ses utilisations se sont peu à peu multipliées, démocratisées, jusqu'à sembler aujourd'hui indispensables dans certains domaines. En effet, dans nos études et notre futur métier d'architecte, l'informatique occupe une place de choix : les logiciels de dessins, de modélisation 3D et de retouches, semblent aujourd'hui être au coeur de la profession.

Dans des domaines tels que l'archéologie ou l'analyse d'objets d'art ou d'architecture, des outils différents ont fait leur apparition. Dans le domaine du statuaire, notamment, qui est l'objet d'étude de ce semestre, l'acquisition photogrammétrique, constitue souvent le point de départ d'une numérisation. Elle permet, grâce à des techniques de photographie précises, de reconstituer un nuage de point sur des logiciels tels que Micmac ou photoscan. Certains outils, tels que Zbrush ou 3ds Max, permettent également de créer des marionnettes et des squelettes à partir de ces acquisitions.

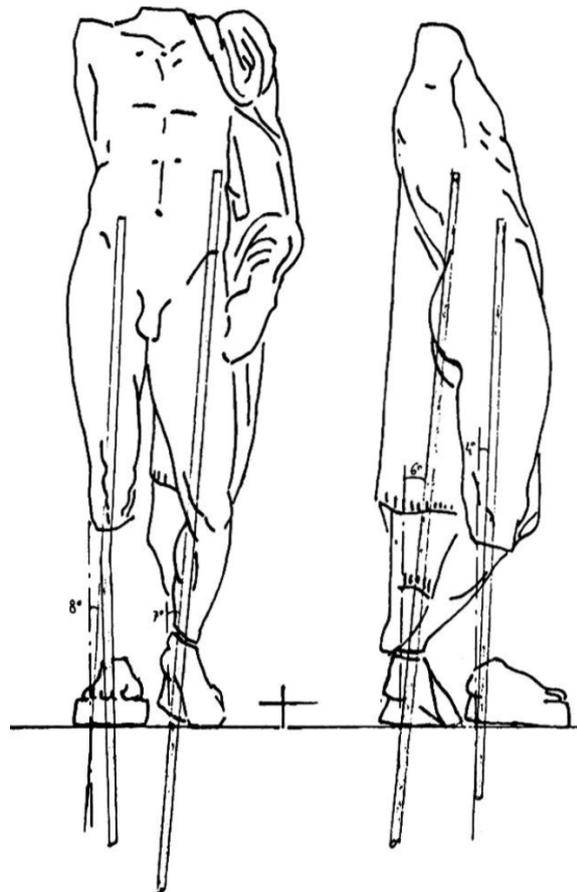
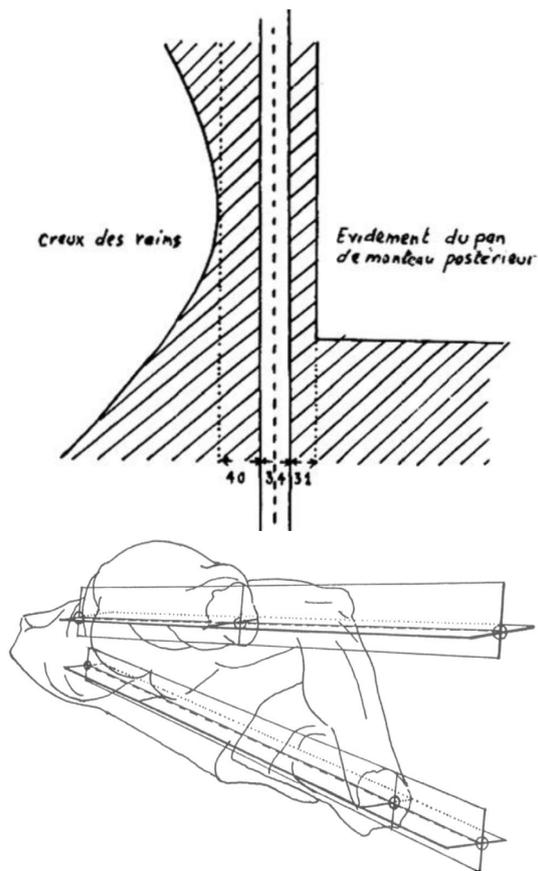
L'étude de ce semestre pose la question de savoir comment ces outils numériques pourraient être mis au service du diagnostic des statues, afin de les rendre interactifs, évolutifs, et accessibles au plus grand nombre. Pour cela, il a d'abord fallu les comprendre, prendre la mesure de leurs utilisations actuelles. Puis, afin de saisir les possibilités, les limites, mais aussi les évolutions futures et souhaitables qu'offrent aujourd'hui l'outil numérique, cette problématique est notamment traitée à travers un cas d'étude : la statue «l'automne» des Jardins de la Magalone à Marseille. A travers ce dernier, nous effectuons ici une tentative de diagnostic avec les plateformes et logiciels déjà existantes ou en cours de développement. Cette étude a pour but d'en évaluer les possibilités actuelles ainsi que les limites et les freins au développement de ces solutions aujourd'hui ; afin de tirer des conclusions quant à l'apport de ces outils dans le domaine du diagnostic des statues.

I

LA PLACE ACTUELLE DE L'OUTIL
NUMERIQUE DANS LES DIAGNOSTICS



A gauche : Fente de clivage sur la jambe gauche
A droite : Eléments détachés de la statue



A gauche : Coupe longitudinale du forage de la zone lombaire; modélisation d'axes de forage
A droite : matérialisation des goujons

1. L'outil numérique : vers un changement progressif des moeurs dans la restauration des statues

a. L'approche traditionnelle du diagnostic et de la restauration d'oeuvres sculptées

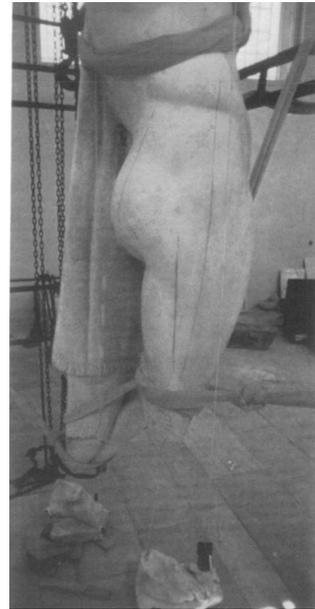
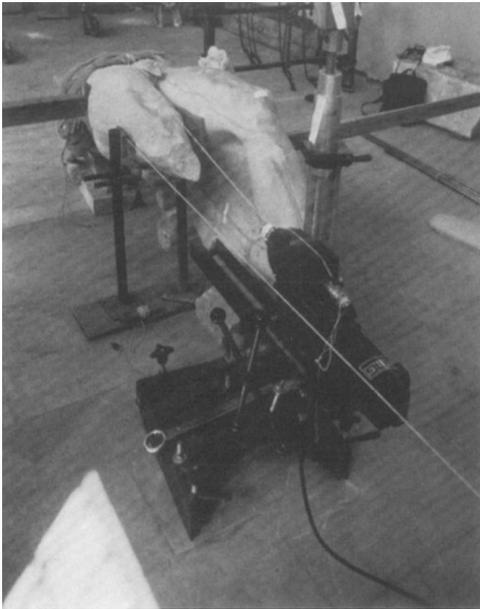
On constate dans tous les domaines scientifiques et culturels, une évolution constante des moeurs. Concernant la restauration, la sauvegarde et la présentation de statues, ces prises de position semblent évoluer face aux constats des échecs qui les précèdent ainsi qu'en fonction des prises de position plus larges en vigueur concernant la façon d'appréhender le patrimoine. Dans le rapport « Restauration de l'effigie-portrait de Caius Ofellius Ferus à Délos » réalisé en 1988, on apprenait déjà du passé en citant les réparations faites sur l'Acropole d'Athènes en début de siècle, qui, pour les auteurs, était une « *illustration malheureuse* »¹ de restauration. En effet, le contact de barres en fer avec la pierre avait endommagé celle-ci à cause de la rouille. Aujourd'hui, on effectue tristement la même remarque envers la restauration du Caius Ofellius Ferus elle-même, qui, percé de façon peut être trop importante, se fissure au niveau des jambes, de façon inquiétante.

L'idée ici n'est pas de critiquer le travail passé de restaurateurs, qui ont à l'époque restauré une statue selon les méthodes de travail et les croyances en vigueur, à savoir que les goujons métalliques devaient, pour maintenir une statue, atteindre le centre de gravité de celle-ci. Ces croyances ne cessent d'évoluer, et il semble presque inévitable que dans quelques décennies, les méthodes de travail actuelles semblent désuètes elles aussi. A l'époque, la restauration est la résultante d'une approche empirique fondée au fil du temps grâce à l'expérience artisanale, qui se fonde sur une connaissance expérimentale de la résistance propre de la pierre, des goujons métalliques insérés, ainsi que des collages. Ces derniers étaient alors combinés afin de supporter durablement les efforts mécaniques importants, exercés sur la statue.² Avec du recul, on a cependant constaté que, même lorsque les statues sont bien conservées, des tensions résultantes finissent par engendrer des altérations visibles ainsi que des désordres structurels. Ces tensions résultent des forces mécaniques dues au déséquilibre des masses et s'exerçant sur la structure composite. Finalement, des fissures et des écrasements sont visibles dans la pierre. Ainsi, bien qu'un accident causé par un forage trop proche de la surface de la statue soit plutôt rare pour un professionnel, ces méthodes peuvent avoir des conséquences désastreuses pour la transmission d'une oeuvre sculptée.³

1 p10, Barthe et Besnainou, « Restauration de l'effigie-portrait de Caius Ofellius Ferus à Délos ».

2 Coignard et Coignard, « RAPPORT NEPTUNE.pdf », 2009.

3 Bagnéris, Marine, Fabien Cherblanc, Philippe Bromblet, Eloi Gattet, Léonard Gügi, Nicolas Nony, Vincent Mercurio, et Anthony Pamart. « A Complete Methodology for the Mechanical Diagnosis of Statue Provided by Innovative Uses of 3D Model. Application to the Imperial Marble Statue of Alba-La-Romaine (France) ». *Journal of Cultural Heritage* 28 (novembre 2017): 109-16.



*A gauche : fils tendus parallèlement aux tracés
A droite : mise en position de la statue, retenue par des élingues*



Photographies du ferailage du socle et du montage de la statue

Cependant, l'outil numérique semble aujourd'hui, grâce à une puissance de calcul et de diagnostic, permettre une économie de matière dans ses interventions. La notion de réversibilité d'une intervention est aujourd'hui une idée qui semble guider les restaurateurs ou socleurs. Cette dernière a pour avantage de reconnaître que nous ne savons encore pas tout, qu'aucune méthode ou recette miracle n'existe, et permettra, dans le futur d'annuler certaines interventions effectuées actuellement. C'est en quelque sorte une façon de commencer à admettre que ce que l'on fait ou veut aujourd'hui ne sera pas forcément ce qui sera la norme dans le futur. C'est une vision actuelle qui ne concerne pas que les statues, mais le patrimoine en lui-même, où on préfère se placer en retrait, rénover en accord avec l'histoire d'un bâtiment, son dessein, plutôt que de considérer notre époque comme une nouvelle étape de l'histoire d'un objet bâti, et venir ainsi apporter une marque de notre contemporanéité. Il s'agit presque là d'une façon de voir le patrimoine tel des archéologues.⁴

«Tout comme celle d'un monument architectural, cette restauration se définit en deux mots : permanence et solidité»⁵ : c'est par cette phrase que débute la conclusion du rapport de restauration. Les auteurs y évoquent le fait qu'une réversibilité est «techniquement possible», cependant l'importance des interventions nous pose déjà question quant à la possibilité ou non de retirer les goujons métalliques, et le mot «permanence» évoqué comme un des objectifs principal de cette intervention semble bien refléter le positionnement de l'époque : on souhaite alors un maximum de sécurité, même si cela nécessite une intervention un peu plus invasive que nécessaire, mais dans le but de ne pas redouter un effondrement de la statue. Ironiquement, cette méthode a malheureusement conduit à l'inverse du résultat escompté, puisqu'elle offre aujourd'hui un avenir incertain à cette oeuvre.

Il était cependant intéressant de lire que les auteurs de cette restauration sentaient déjà que la réversibilité des méthodes était peut-être un des enjeux de la restauration, sans toutefois savoir encore comment véritablement l'autoriser.

C'est là, au moment du diagnostic, que l'outil numérique peut alors avoir pour la première fois, un rôle à jouer. En effet, n'ayant pas à l'époque les outils nécessaires pour appréhender réellement les forces et efforts s'exerçant dans l'oeuvre, les restaurateurs ont préféré miser sur une supposée sécurité en intervenant lourdement.

Cependant, cette notion de sécurité qui peut évoluer aujourd'hui, et plus précisément le curseur qui nous permet de mesurer à partir de quel moment l'oeuvre est suffisamment mise en sécurité par une intervention. Ainsi, on cherche désormais à comprendre le fonctionnement d'une statue, les appuis, les forces qui s'y appliquent. En connaissant plus précisément l'objet, on peut se permettre de répondre de façon plus exacte à ses

4 Code de déontologie professionnelle de l'Icom 1986 ; ECCO Confédération Européenne des Organisation de Conservateurs-Restaurateurs, Code éthique et formation 1993.

5 p21 , « A Complete Methodology for the Mechanical Diagnosis of Statue Provided by Innovative Uses of 3D Model. Application to the Imperial Marble Statue of Alba-La-Romaine (France) ».



A gauche : Nuage de point de la statue Auguste
A droite : Reconstitution 3D de la statue Neptune



A gauche : prémontage de la statue de Neptune en 2007, approche expérimentale
A droite : placement des cables et goujons sur la statue de Neptune

exigences en terme de renforts, d'appuis, etc. Ainsi, on peut adopter une économie de matière, au plus proche de ses besoins minimums pour être consolidée, maintenue, soignée...

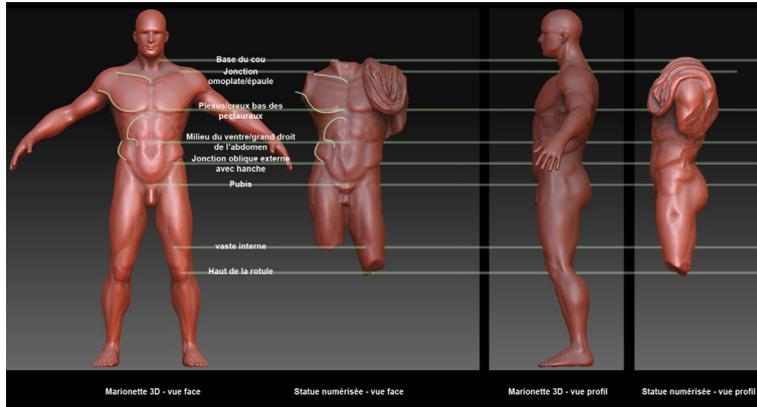
b. Des premières expériences exploitant les outils numériques

La statue d'Auguste, est, en 1994, la première oeuvre restaurée par simulation informatique préalable.⁶ C'est au musée d'Arles qu'a été réalisée cette première expérience de montage virtuel. Néanmoins, Sandrine et Benoit Coignard témoignent dans leur rapport, de la difficulté à l'époque à convaincre avec ces méthodes. Ils diront ainsi que *«cette ample perspective d'évolution de notre pratique professionnelle était maintenue en veilleuse pour deux raisons : le coût prohibitif de ces technologies naissantes et plus encore, la difficulté de convaincre lorsque les idées sont trop nouvelles pour être comprises»*. Cependant, en 1998, face à la statue de Neptune, un antique d'une grande qualité, cette méthode est à nouveau appliquée, et également questionnée, en poursuivant cette démarche innovante, qui n'avait connu que peu d'occasion d'être mise en application, malgré ses 20 ans d'existence.

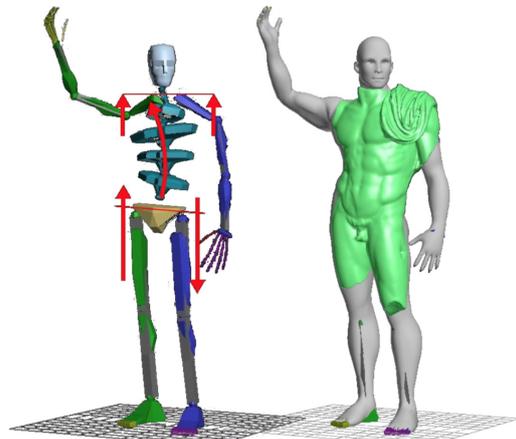
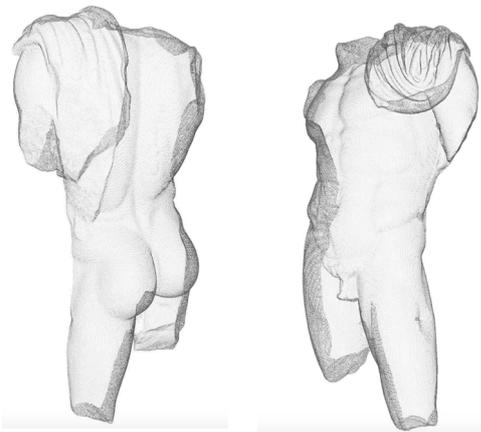
La statue, trouvée brisée en 2007 dans le lit du Rhône a sans doute connu une chute frontale, suivie sans doute par la chute d'un autre bloc sur la statue, quand cette dernière se trouvait au sol. Souhaitant s'éloigner des restaurations réalisées par collage et goujons pour s'approcher d'une restauration possiblement réversible, la recherche d'alternatives techniques se sont imposées ici. Alors que l'étude expérimentale consistant à assembler la statue et chercher un positionnement idéal des pièces, ne suffisait pas à obtenir une hypothèse de reconstitution valable, il convenait ici de réaliser un montage virtuel de la statue, qui se poursuivait ensuite par une modélisation du dispositif de montage de l'ensemble des pièces. Ainsi, cette approche, encore nouvelle à l'époque, a permis de ne plus se trouver dans une position passive vis-à-vis des forces statiques méconnues, mais de rendre ce problème mesurable, compréhensible, afin de le résoudre, non pas de façon empirique, grâce à un savoir artisanal, mais par une approche scientifique, dynamique. Chacun des éléments du dispositif de montage, comprenant les goujons métalliques et le câble, a pu être défini, formalisé, puis placé sur le modèle numérique. La stabilité de l'oeuvre a ensuite pu être testée en déterminant les centres de gravité des solides et des volumes. La question du passage du virtuel à la réalité se pose finalement : le repérage de points d'intérêts permet finalement de repérer sur la statue les endroits à percer, ainsi que les axes des futurs renforts métalliques qui s'approprient à y prendre place.

Cependant, cette application a rencontré certaines limites, dues à un temps réduit, et à une technologie et une méthodologie encore inconnue pour certaines exploitations nu-

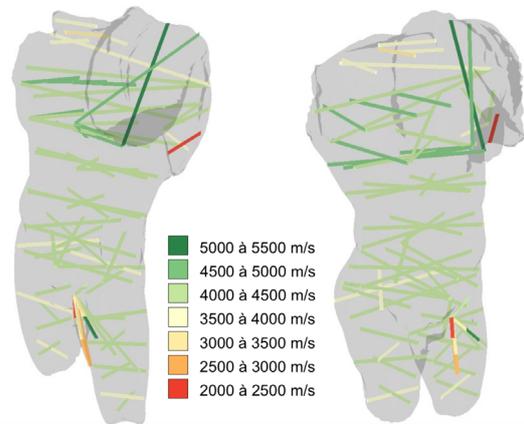
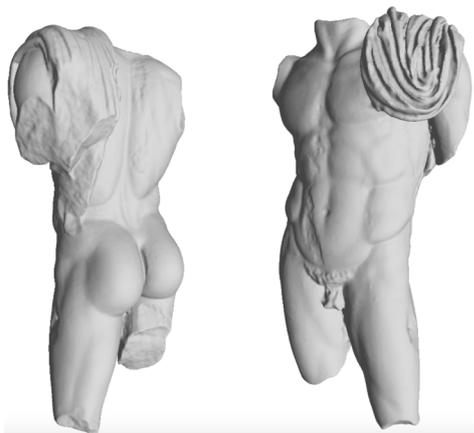
6 Coignard et Coignard, « RAPPORT NEPTUNE.pdf », 2009.



A gauche : La statue de l'empereur lors de son dégagement dans le temple de Bagnols
 A droite : Modélisation de la marionnette 3D de la statue de l'empereur dans Zbrush



A gauche : Nuage de point 3D de la statue
 A droite : Positionnement de la marionnette par rapport au fragment existant



A gauche : Modèle surfacique de la statue
 A droite : Cartographie des vitesses du son dans la statue

mériques. Tout d'abord, l'idée d'avoir un socle antisismique pour la statue, située dans la ville d'Arles, n'a finalement pas pu voir le jour. Contraint ici par le temps, ce socle prototypique n'a finalement pas pu être utilisé pour la statue de Neptune. Il en va de même pour les calculs des efforts qui s'exerçaient dans le corps de la statue. Ces derniers sont en cours, et non exacts, car n'ont pas été réalisés après un examen d'un carottage de la pierre, mais grâce à des estimations. Leur démarche est donc intéressante à étudier en tant qu'étape entre des méthodes traditionnelles, et des techniques qui lancent un pont entre la restauration d'oeuvre sculptées et une approche scientifique, d'ingénierie. Ce pont semble aujourd'hui bel et bien installé : on peut notamment l'exemple du map-gamsau, où ce sont des ingénieurs qui visent à développer la plateforme d'annotation sémantique du patrimoine, que se trouve être Aioli.

Enfin, traitant eux même de leurs souhaits pour l'avenir de cette technologie, ils mettent parfois assez justement le doigt sur des choses qui seraient réalisées moins de 10 ans plus tard. Ils évoquent par exemple la possibilité que la scannerisation des membres d'un modèle en représentation puisse permettre de fournir des hypothèses quant au positionnement de membres manquants, grâce à une comparaison de l'expression musculaire de la statue. D'autre part, une intégration des données de l'état de structure de la statue dans son modèle 3D est envisagée, afin de le soumettre à des analyses statiques, sismologiques ou thermiques et de mieux prédire leur évolution dans le temps, leurs altérations. La communication et la description des efforts dans une structure globale aurait du, par extension être facilitée, et les endommagements d'une oeuvre auraient pu être prévenus. Cette technologie devait enfin permettre de proposer de nouvelles solutions quant à la présentation de l'oeuvre et son soclage. Il est donc intéressant de voir que moins de 6 ans plus tard, dans le but de redresser et de socler la statue de l'empereur, ce travail est finalement réalisé.

c. Les possibilités de l'outil numérique aujourd'hui

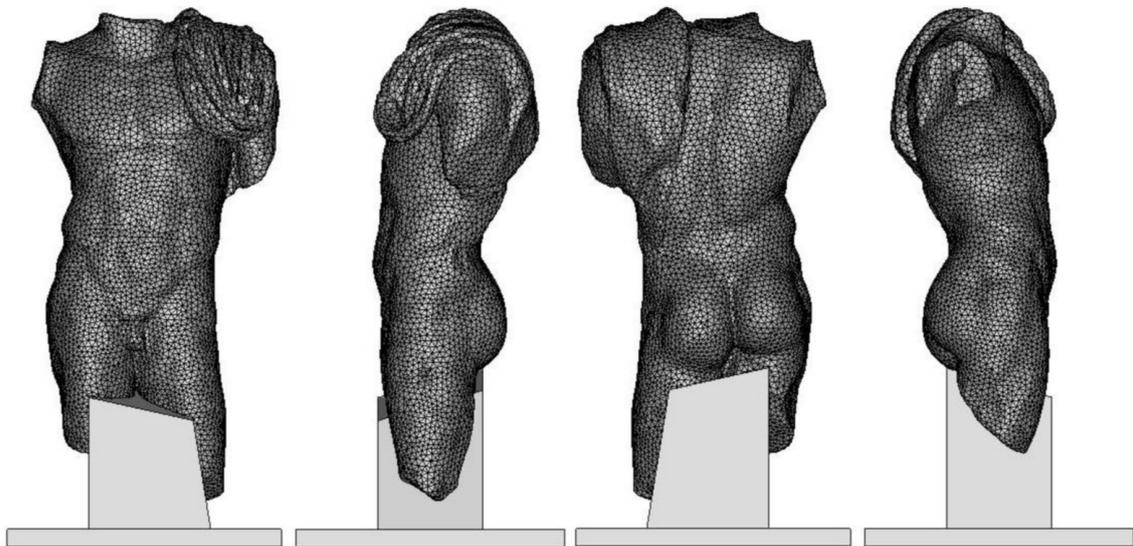
Trouvée en 1992 sur le site du sanctuaire de Bagnols, la statue de l'empereur est constituée de marbre blanc. Pièce phare de la collection du MuséAl, cette dernière était pourtant exposée couchée, puis conservée dans le dépôt archéologique, puisque privée de ses deux mollets et de son genou droit. Elle est également privée de sa tête, de son cou et de son bras droit. Nait alors, en 2014, la volonté de socler la statue, afin de la présenter à nouveau au grand public. Pour se faire, les spécialistes poursuivent la démarche déjà observée pour la statue de Neptune, en poussant encore plus loin la collaboration pluridisciplinaire entre restaurateurs et mécaniciens. De nombreux outils numériques viennent ici renforcer leur travail.

L'acquisition photogrammétrique est d'abord réalisée⁷ afin de réaliser un nuage de

⁷ Le principe d'une acquisition photogrammétrique sera détaillée en troisième partie de ce mémoire, page 45.



proposition de soclage en porte à faux - Réf EIM - montage Emilie Hubert - CICRP



Modèle de soclage «Esc incliné»



Résultat final de la statue exposée avec son socle

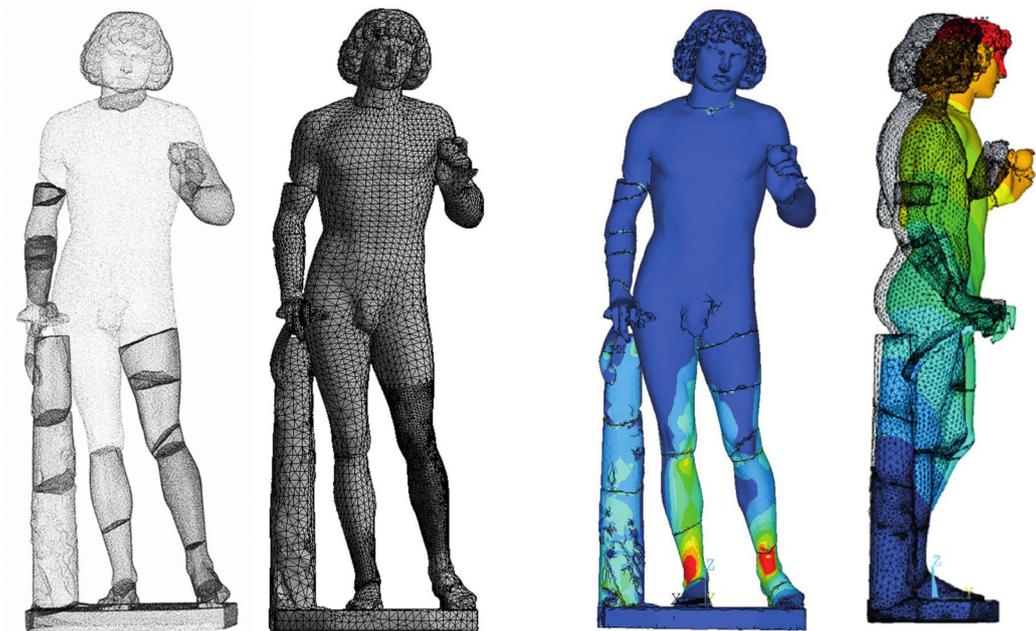
points. La statue étant actuellement couchée, il a fallu en réaliser deux : un de la face avant et un de la face arrière. Le logiciel MIC-MAC a ensuite permis de générer des cartes de profondeur, permettant finalement d'assembler les deux nuages pour n'en former qu'un seul. Sur ce dernier, il est également possible de visualiser le positionnement des mesures effectuées par ultra-son, concernant la qualité du marbre.

Le nuage, très dense, a pu être converti en modèle surfacique, afin de permettre d'émettre des hypothèses sur l'attitude originelle de la statue, de créer des impressions 3D de modèles réduits, et de simuler le comportement mécanique de la statue et des options de soclage envisagées. Ainsi, l'utilisation du logiciel 3Ds max a permis de reconstituer une marionnette de la statue, dont le squelette peut être bougé pour observer les mouvements anatomiques adoptés par le modèle selon la posture. Ce dernier a donc permis de formuler une hypothèse cohérente concernant l'attitude originelle de la statue, qui permet par la suite de guider les grands principes que doit suivre le futur socle de la statue. D'autre part, la caractérisation des minéraux de la statue, réalisée à partir d'observations de lames minces de petits prélèvements ont permis d'en apprendre plus sur l'histoire de la statue. En effet, il s'est avéré que ce marbre provenait du Mont Pentelli, au nord de la ville d'Athènes. On observe ici une fois de plus, que la pluridisciplinarité et l'utilisation des nouveaux outils qui se développent sont au service du patrimoine, en permettant de mieux les appréhender à la fois sur le plan statique, mais également sur le plan historique, en en apprenant davantage sur ses carrières. Par la suite, ces observations, corrélées avec les analyses du marbre par ultra-sons ont permis d'évaluer les propriétés mécaniques du marbre de la statue, le volume, la masse volumique et le centre de gravité ont enfin été placés.

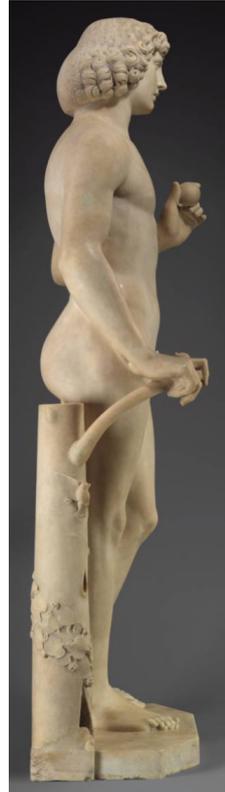
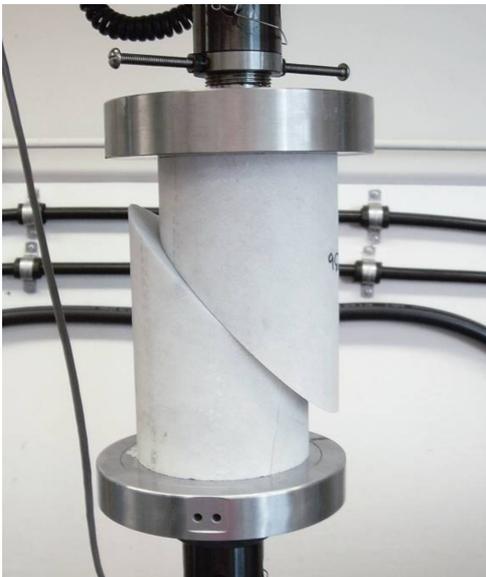
L'enjeu du socle était en revanche grand, en prenant le parti de ne pas réaliser de percement de la statue. Différentes solutions étaient donc envisageables : un enchâssement dans le socle, un carcan au niveau des jambes ou une surface enveloppante. Bien que ces solutions masquent toutes une partie de la statue pour l'y appuyer, elles ont l'immense avantage d'être totalement réversibles, et donc de pousser le respect de l'intégrité de l'oeuvre à son paroxysme.

Respectant le mieux les exigences mécaniques, techniques et géométrique, c'est finalement la solution de soclage par enchâssement qui est retenue et testée. Une fois de plus, c'est grâce au calcul que la surface minimale de matière a pu être estimée, pour masquer l'oeuvre le moins possible. Ces dernières ont pu être testées en maquette, grâce à une impression 3D de modèles réduits. Enfin, le modèle a été utilisé afin de simuler le comportement mécanique des propositions de soclage retenues afin de mesurer leurs contraintes et déformations éventuelles.

Cet exemple semble donc être une application des enjeux soulevés dans des projets tels que celui de Neptune. Ici, l'outil a accompagné une évolution des moeurs et des pratiques, qui peu à peu, se veulent moins invasives, plus passives par rapport à



A gauche: Nuage de point du scan laser d'Adam, construction du maillage (dense au genou)
 A droite: Résultat de l'étude statique, forces s'exerçant et exagération des efforts en présence



A gauche : Test des marbres en compression et Bras droit assemblé, sans remplissage
 A droite : Adam après reconstruction, remplissage des vides et nettoyage

l'oeuvre. Enfin, comme évoqué, ces dernières semblent considérer le fait de n'être peut être qu'une étape dans l'histoire de l'oeuvre. Ainsi, nous n'avons pas encore le recul du temps sur ces méthodes, mais il sera possible dans quelques décennies, d'apporter un nouveau savoir sur ces oeuvres.

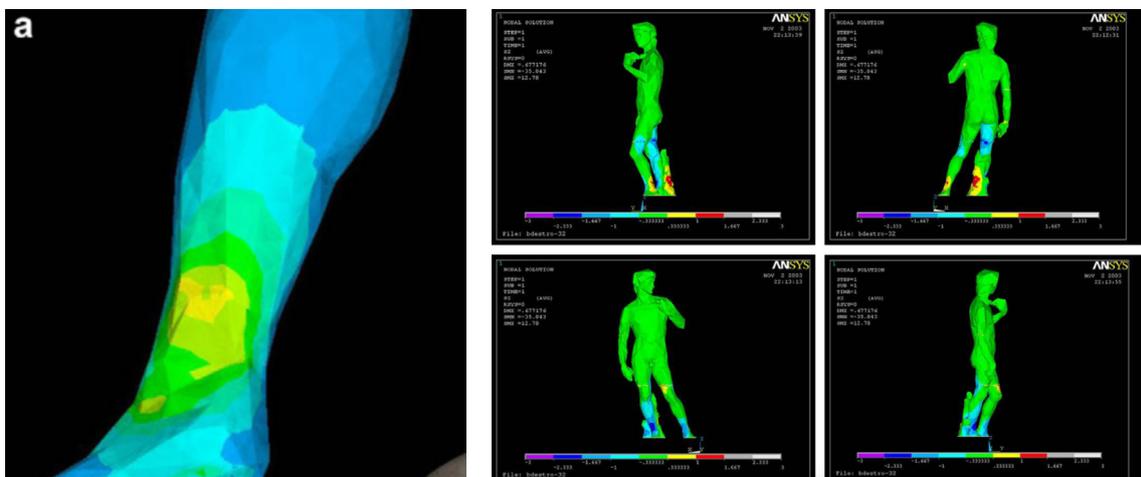
D'autres exemples, montrent en revanche que la pluridisciplinarité peut permettre de sauver des statues endommagées ou même effondrées. On peut citer parmi eux la reconstruction de la statue D'adam de Tullio Lombardo⁸. Cette dernière, brisée en 28 morceaux et fragments multiples depuis l'effondrement de son socle en 2002, a fait parti d'un vaste programme de reconstruction. Cette problématique a alors soulevé des questions sans précédent dans la discipline. Fait inhabituel, il eu 12 ans de délais entre l'écroulement de la statue, et sa reconstruction, réalisée en 2016. Cette rénovation a connu une longue période de gestation, qui lui a permis d'explorer et de remettre en cause les méthodes traditionnelles de conservation. Il a donc fallu établir une méthodologie précise et complète des expériences à mener pour assurer cette fois la pérennité de la réparation de la statue.

La question des propriétés structurelles et physiques étant prépondérante dans une reconstruction et un assemblage des pièces, les questions statiques et d'ingénieries ont été calculées et testées sur des répliques des pièces brisées. L'approche scientifique a également permis d'évaluer les performances des liaisons et des goujons. La résistance du marbre en compression a ainsi pu être testée. Ces méthodes innovantes ont permis aux chercheurs de mesurer l'importance de certains points d'assemblages, tels que les chevilles, ou le genou gauche, mis en valeur grâce à la numérisation scanner. De plus, cela a permis de constater que les matériaux utiles aux goujons devraient avoir une élasticité comparable à celle du marbre, pour un maximum d'efficacité. Sans évoquer le détail des opérations opérées afin d'éviter une redondance des propos, les outils et les procédés convoqués sont semblables à ceux mis en oeuvre lors du diagnostic de la statue de l'empereur à Alba la romaine.

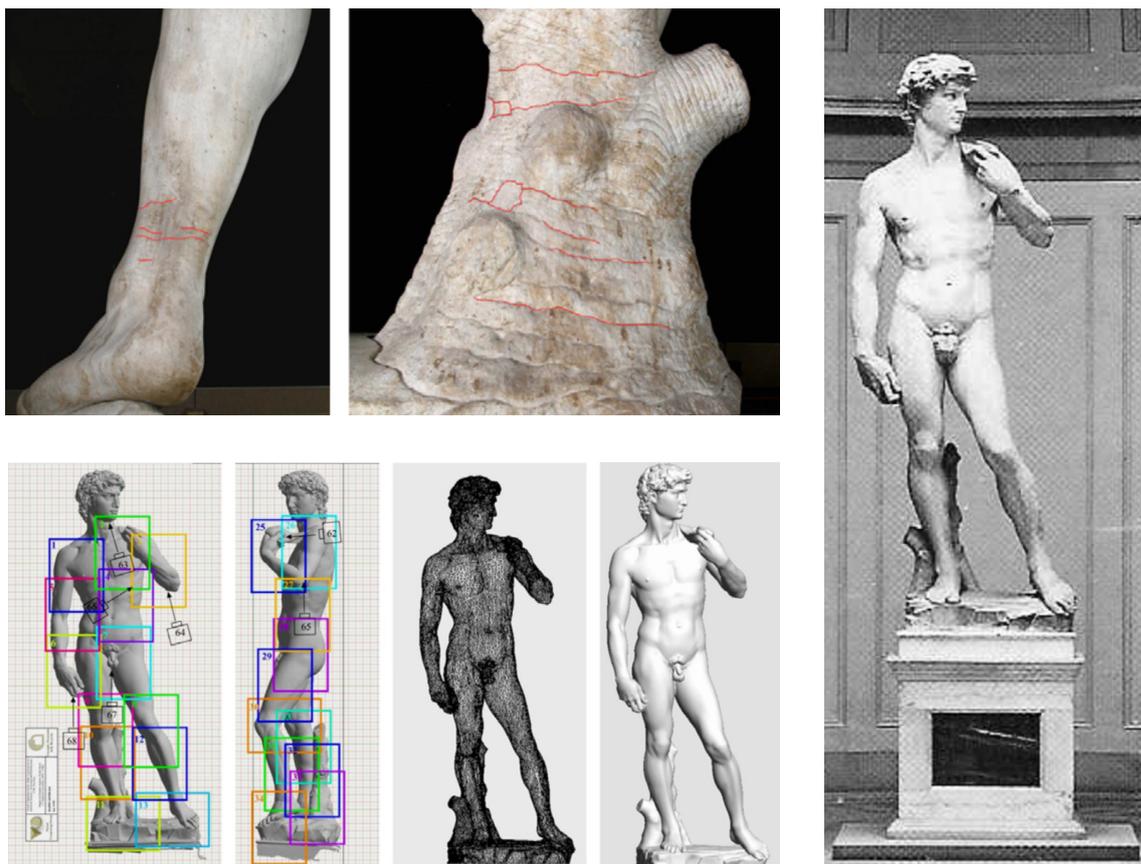
La conclusion du rapport de restauration évoque elle-même le fait qu' «*Il peut être évident que l'aspect multidisciplinaire de ce projet a été important pour son succès, mais il est peut être encore plus important de souligner l'importance de créer des connections fonctionnelles entre et au sein des disciplines*».⁹ Ils offrent ainsi un point de vue intéressant concernant l'apport de ces outils, corrélés avec un savoir artisanal, lié à l'expérience. Ainsi, diverses approches se sont croisées ici : celles des restaurateurs d'un côté, qui grâce à leur expérience, ont développé un savoir et une approche intuitive des assemblages des matériaux, et une approche plus scientifique de l'autre. Un des plus beaux accomplissements du projet est donc de créer des ponts à la fois entre les

8 Riccardelli, Carolyn, Michael Morris, George Wheeler, Jack Soutanian, Lawrence Becker, et Ronald Street. « The Treatment of Tullio Lombardo's Adam : A New Approach to the Conservation of Monumental Marble Sculpture ». *Metropolitan Museum Journal* 49 (janvier 2014): 48-116. <https://doi.org/10.1086/680027>.

9 Ibid, p61, traduit depuis l'anglais



A gauche : Efforts subis dans les zones les plus fissurées de la statue du David
 A droite : Répartition des efforts verticaux dans la statue du David à l'heure actuelle



Au dessus : état actuel des fissures sur la jambe gauche et le tronc d'arbre
 En dessous : modèle digital, modèle réduit pour analyses et photographie du David de Michel-Ange

disciplines, et entre réalité virtuelle et matérielle, ou chacun des participants enrichit l'expérience avec son savoir afin de sauver cette oeuvre, chef d'oeuvre de l'art de la Renaissance.

Ces outils peuvent également, tenter de prévenir de tels accidents, afin de préserver les oeuvres sculptées, et d'en assurer la transmission aux générations futures. Sur la statue du David de Michel Ange, un suivi des lésions et un diagnostic analytique des fissures est réalisé en 2006. En effet, taillée dans un marbre de qualité médiocre, la statue peut se dégrader facilement, notamment lors des changements de température. De plus la forme de la statue, penchée en avant, et dont les chevilles sont très fines, peut encourager des lésions et fissures. En 2003, l'examen de la statue montre une extension et une multiplication des fissures présentes sur le tronc d'arbre, par rapport à l'année 1871, date du dernier rapport effectué. Les fissures sur la cheville gauche présentent les mêmes caractéristiques.

Ici, l'outil numérique a permis de tester les hypothèses posées dans le diagnostic des fissures, qui tentaient d'expliquer leur apparition. Des modèles ont ainsi été construits, puis un scan de la statue a été réalisé grâce à un scanner. Les analyses ont finalement permis d'établir le fait que l'inclinaison de la statue avait bel et bien un rôle important dans la formation de fissures, amplifiées par le déplacement de la statue au milieu du XIXème siècle. Aujourd'hui, la situation du David est comparable à celle d'il y a 100 ans, ce qui ne semble pas alerter quant à son état. Cependant, le David pourrait connaître des dégradations dues à une activité sismique. L'avancée des méthodes d'analyse et de calcul, en autorisant une meilleure connaissance de l'état de la statue, nous pousse par la même occasion à être plus performant dans notre façon de la protéger des risques. Ainsi, nous nous positionnons dans une approche préventive et protectrice, bien que nous ne soyons pourtant pas à l'abri d'un évènement sismique ou humain imprévisible.

2. Les limites actuellement rencontrées

a. Des limites matérielles et des savoirs encore peu répandus

On trouve encore malgré tout certaines limites à ces technologies, qui ne sont pas encore monnaie courante dans la discipline, et qui n'en sont sans doute, qu'au début de leur développement. Ainsi, bien que ces dernières se démocratisent peu à peu, des exemples tels que ceux évoqués précédemment, sont encore loin d'être la norme dans le domaine de la restauration de sculptures.

En effet, ces procédés nécessitent tout de même un coût et un savoir particulier, qui n'est pas tant celui des restaurateurs que celui des ingénieurs et des photographes, pour réaliser de telles acquisitions. Néanmoins, ces pratiques se répandent de plus en plus, notamment pour des oeuvres de renom (telles que le David) ou dans des établissements muséaux importants. C'est le cas pour le Louvre notamment, qui a en 1997 lancé une campagne de restauration de ces marbres, en y incorporant ces procédés nouveaux.¹⁰

Cependant, les logiciels, même les plus accessibles se perfectionnent d'année en année. Le logiciel MIC-MAC par exemple, modifie très souvent son script pour le faire évoluer sans cesse, et ne développe pour cela pas d'interface graphique. D'autre part, on observe la naissance de plateformes en ligne, qui visent à faciliter et enrichir ces diagnostics et acquisitions. On peut citer parmi elles C3DC ou aioli¹¹. On peut donc penser que ces outils pourront à l'avenir se démocratiser et devenir à la fois plus maniables, plus faciles d'accès et plus performants.

b. La question de l'exploitation des données

Une autre limite rencontrée reste celle de l'exploitation des données récoltées. En effet, certaines institutions ont réalisé des grandes campagnes de numérisation de leurs collections, sans toujours savoir comment en tirer profit ou comment les exploiter. Les données peuvent alors être difficiles à communiquer telles qu'elles, et il est compliqué de les présenter au public. Cela constitue néanmoins une étape, et tend à montrer une évolution des mentalités dans la profession, qui semble saisir l'incroyable atout que peuvent devenir ces outils.

10 Bourgeois, Brigitte. « À propos de la restauration des marbres antiques du Louvre, méthodologie de l'intervention et résultats ». *Comptes-rendus des séances de l'année - Académie des inscriptions et belles-lettres* 141, no 1 (1997): 144-55. <https://doi.org/10.3406/crai.1997.15713>.

11 Le fonctionnement et le principe de ces plateformes sera évoqué plus en détail en dans la partie III du mémoire, page

Pourtant de telles numérisations d'oeuvres pourraient être très intéressantes, si exploitées, afin de faire l'état d'une oeuvre à un moment donné de son existence. Elles pourraient également prouver leur utilité en cas de dommages, dans le cas de la destruction, le vol ou même une perte future de l'oeuvre, et permettre d'en garder une trace en 3 dimensions.

c. Une nouvelle vision de la discipline

D'autre part, comme nous l'ont montré les cas d'applications de pareilles technologies, l'arrivée de ces nouveaux outils semble s'effectuer conjointement avec une nouvelle vision de la discipline elle-même, qui s'étend, en mêlant désormais un travail historique, archéologique, un travail des professionnels de la restauration, et un travail des ingénieurs et mécaniciens. Puisque l'aspect pluridisciplinaire s'accroît, les acteurs se multiplient également. Cela peut engendrer des processus et des projets plus longs, et des coûts plus élevés.

Mais au-delà de cet aspect matériel et humain, ce sont véritablement les «moeurs» de la discipline qui semblent transformés, en souhaitant presque effacer l'intervention contemporaine, face à l'oeuvre, et en proposant des interventions discrètes voire même réversibles. Deux visions de la discipline et deux écoles peuvent ainsi s'opposer, d'autant plus que les méthodes établies de façon empirique au fil des décennies, encore systématiques il y a 40 ans, ont certes parfois endommagé des oeuvres, mais ont également permis d'en sauver d'autres. De plus, évolution ne signifie pas toujours progrès, mais il s'agit davantage de techniques différentes, qui se mettent en place dans des époques différentes elles aussi. Ainsi, il me semble important de signaler qu'il ne s'agit pas ici de dresser un portrait manichéen des procédés de rénovation des oeuvres sculptées, en incriminant les procédés anciens de restauration.

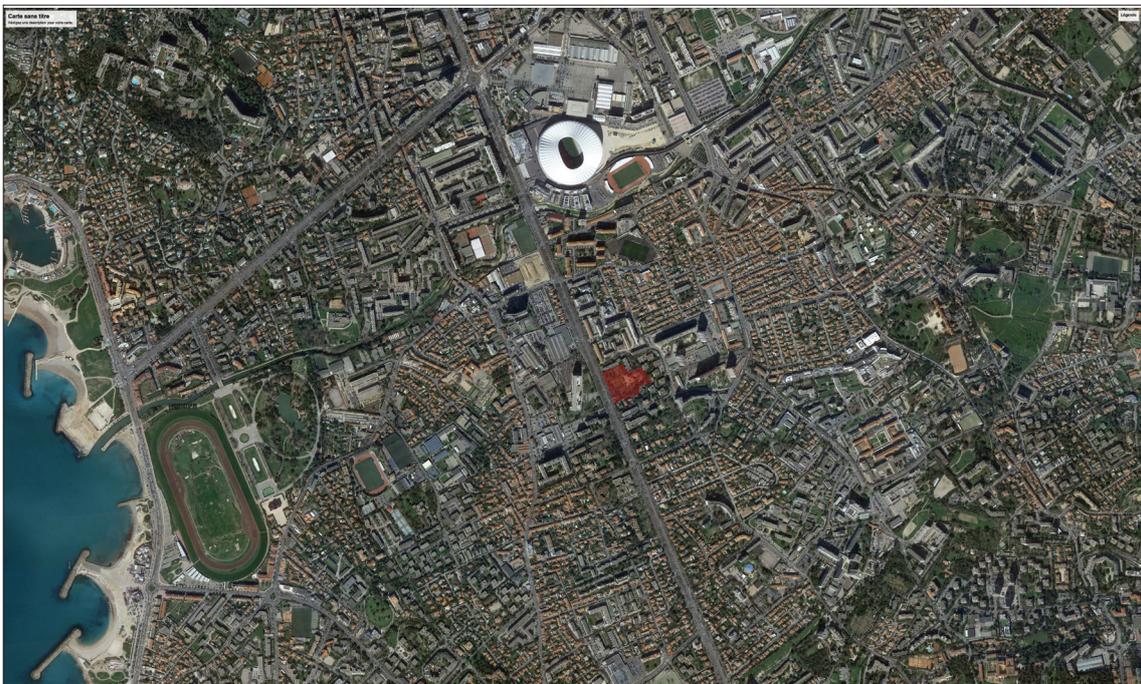
Il semble simplement intéressant de considérer cette notion de réversibilité, qui semble chère aux restaurateurs contemporains. En effet, comme évoqué plus haut, en embrassant cette notion, on permet sans doute de léguer l'oeuvre aux générations futures, en prenant en compte le fait que chaque philosophie d'intervention peut être perfectionnée, pourra évoluer dans l'avenir. Ainsi, nous admettons que nous assistons peut-être seulement à une étape de l'existence d'une oeuvre, et qu'ils nous appartient donc de ne pas la marquer de notre temps plus que nécessaire.

II

L'HISTOIRE DES STATUES DE LA MAGALONE



Photographie aérienne de 1926, à l'époque la roseraie est présente, les bosquets au Nord Ouest et Nord Est sont bordés d'alignements d'arbres.



vue aérienne montrant la situation des jardins dans la ville

1. Les jardins de la Magalone

a. L'histoire des jardins

Les jardins de la Magalone se trouvent dans le 8ème arrondissement de Marseille et de son quartier résidentiel. Ces derniers sont situés le long du Boulevard Michelet, une des artères principales traversant la ville. Ils en sont séparés par un mur accompagné d'une haie intérieure.¹² Le jardin est également en face de la cité Radieuse, réalisée par le Corbusier entre 1947 et 1952, classée aux monuments historiques, et sur laquelle on a une vue directe depuis les jardins, notamment en hiver, alors que les arbres perdent leurs feuilles.

Au fond des jardins, on trouve une bastide, dont la construction s'est déroulée entre 1670 et 1710, d'après les plans de Pierre Puget.¹³ Les frères de Magalon, négociants armateurs, acquièrent la propriété en 1713 et donneront leur nom à la propriété, qui deviendra plus tard celui des jardins également. En 1850 la famille Buret rachètera la propriété, après que cette dernière ait été déclarée «bien national» pendant la révolution. Les propriétaires se sont ainsi succédé jusqu'à la fin du XIXème siècle, époque à laquelle le domaine s'étend sur plus de 12 hectares, dont les terrains sur lesquels la cité radieuse prendra plus tard place. En 1901, Madame de Ferry hérite de la propriété et entreprend des travaux conséquents de restauration de la bastide et de réaménagement des jardins. Ces derniers sont alors réalisés d'après les plans du paysagiste André Edouard.

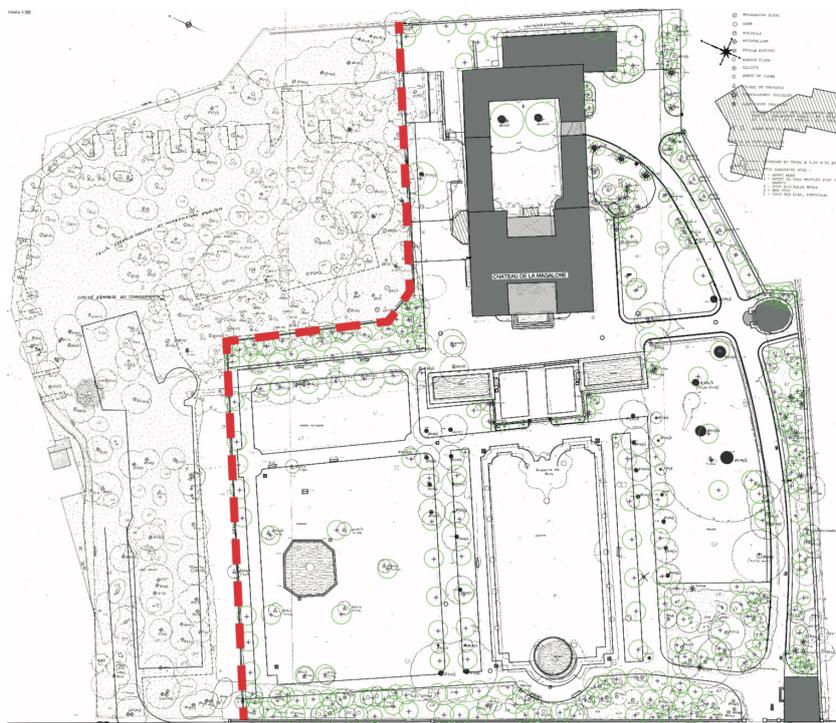
La propriété abrite alors des éléments décoratifs et construits tel que des bassins, fontaines, terrasses, statues et vases, aux inspirations classiques. Ces derniers, ajoutés aux parterres gazonnés, et aux alignements de tulipiers et de buis, sont typiques des jardins à la Française, et plus particulièrement, des jardins que l'on retrouve dans les bastides provençales. La bastide est inscrite aux monuments historiques en 1948, grâce à la renommée de son architecte et de son paysagiste, ainsi qu'à ses éléments caractéristiques.

Les jardins tels que nous les connaissons actuellement, ne constituent en réalité qu'une partie de ceux d'une propriété auparavant bien plus étendue. Cette dernière, occupant une place de choix dans la ville, a progressivement été réduite au fil du temps, afin de permettre aux habitations alentours de se multiplier. Elle est néanmoins préservée de la ruine lorsqu'elle est rachetée dans les années 1980 par la ville de Marseille.

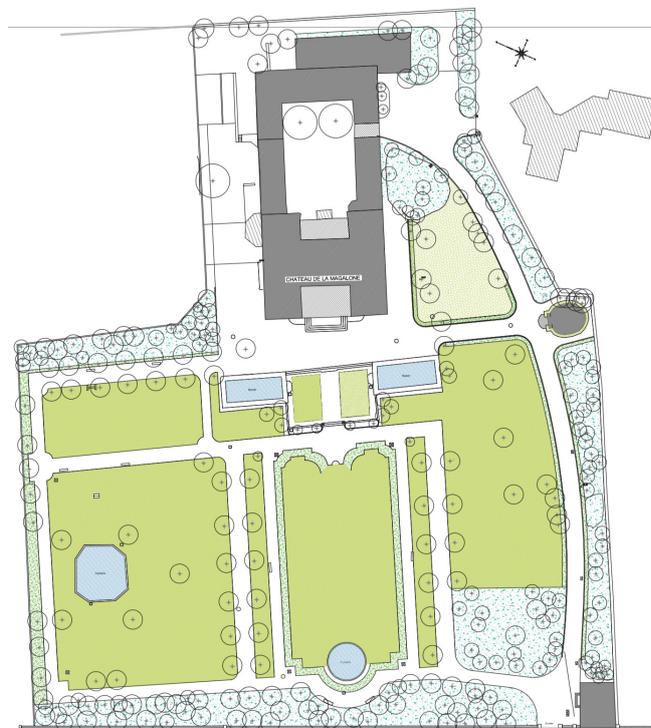
En février 1986, un plan de constat de la végétation existante est réalisé pour le compte

12 Vallet et Mérindol, « Impact de la restauration de quatre statues du jardin de la Magalone (Marseille, France) après douze années de conservation in situ ».

13 « culture.gouv, fiche des monuments inscrits, la villa magalone ».



Plan de constat de la végétation existante réalisé en 1986 par Atelier 9. Il montre la morphologie des jardins à l'époque. En rouge est matérialisée la limite actuelle des jardins. Ce dernier est superposé au plan actuel des jardins (en couleur)



Plan actuel des jardins

de la SOFIC. Ce dernier présente la morphologie des jardins avant que les terrains au Nord Ouest soient cédés. Leur soustraction aux jardins va entraîner la modification de l'allée des Tilleuls et le démontage du bassin pyramide.¹⁴ De plus, le bowling va être réduit et son bassin octogonal va être désaxé, changeant ainsi la perception du grand parterre. Enfin, un alignement est planté le long de ce dernier.

Suite à ces cessions, les jardins atteignent leur surface actuelle, bien que l'on continue d'observer des changements concernant la végétation qui occupe les jardins. Ainsi, on recense par exemple 13 essences d'arbres différentes en 1986 et 25 en 2004. De plus, on pourra noter qu'en 2008 un diagnostic met en lumière la présence d'arbres cent cinquantenaires.

b. Les jardins aujourd'hui

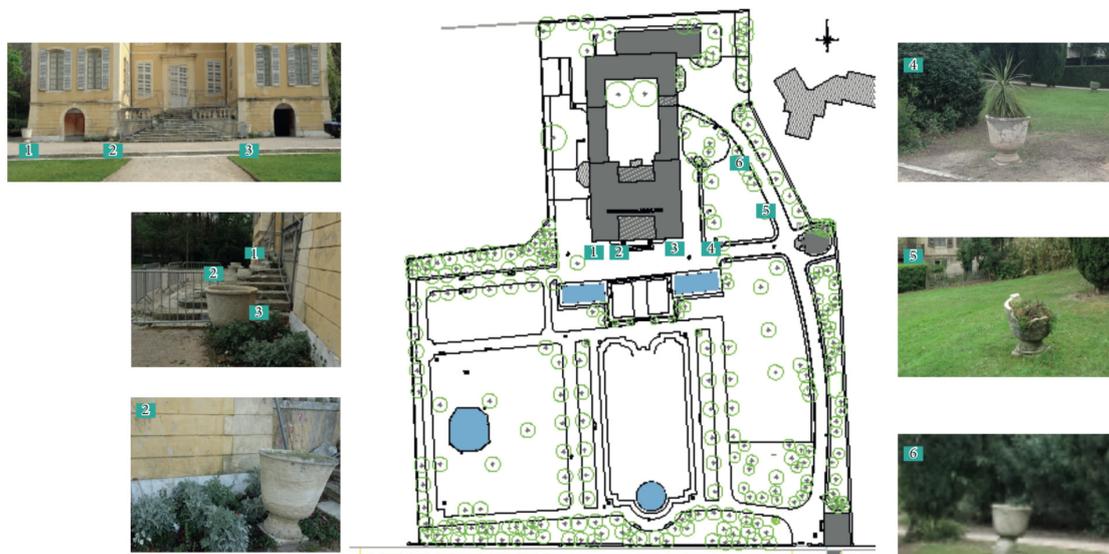
Aujourd'hui propriété de la ville, la bastide a été transformée en école de musique. Les jardins sont, eux ouverts au public.

L'accès aux jardins se fait aujourd'hui par le boulevard Michelet, sous un couvert végétal fourni à l'entrée. Il faut alors se diriger vers le Nord Ouest pour apercevoir la bastide et, les étendues de pelouses et les statuaires. Les jardins proposent aujourd'hui de nombreux espaces ombragés, notamment grâce aux arbres tiges présents en grande quantité. Le jardin se situe sur un site presque sans relief, sur lequel viennent prendre place les parterres et les étendues d'herbes. Ces derniers sont entre-coupés d'éléments verticaux, comme des alignements d'arbres. Eduard André écrit, dans le traité général de la composition des parcs et des jardins : « *Les bois et les bosquets étaient le relief des jardins et servaient à faire valoir les pièces plates, parterres et bowlings* ».

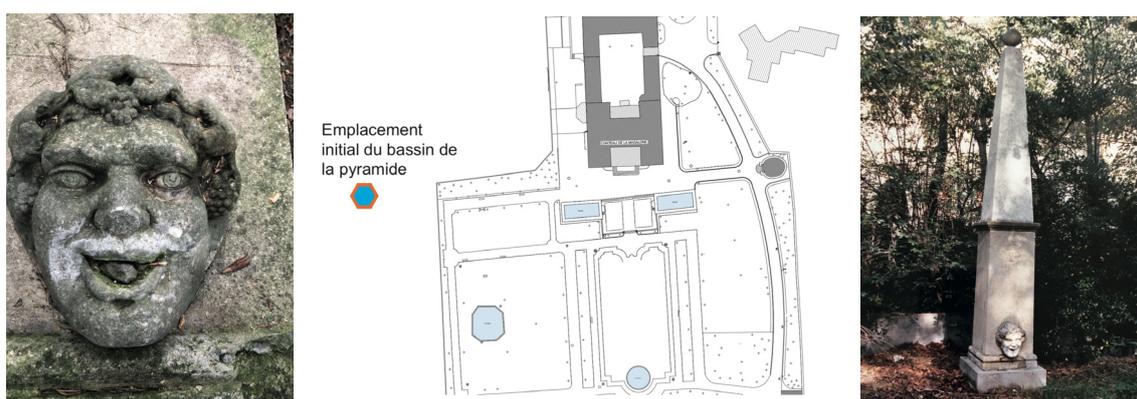
La façade sur rue fait aujourd'hui 120 mètres de long, et la profondeur des jardins se situe entre 79 et 145 mètres selon les endroits. Leur surface totale est désormais de 1,4 hectares¹⁵, suites aux réductions précédemment évoquées. Le graphique ci-dessous présente la décomposition actuelle des jardins, ce dernier montrant une dominance des pelouses et des allées, suivis par les bosquets et la bastide elle-même.

14 Jardins d'histoire et sce ateliers up+, « Jardin de la Magalone, élaboration d'un plan de gestion ; Phase 2, diagnostic de l'état actuel ».

15 Ibid.



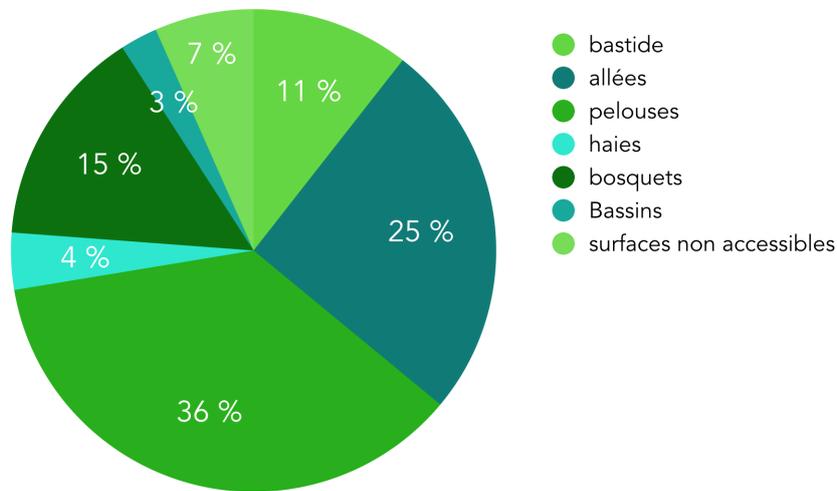
Plan de répartition des vases et photographies de leur état



Photographies et plan de situation du bassin orthogonal



Photographie des statues prises en 1946 par Maurice Thaon



Graphique de la répartition de la surface des jardins

c. Le statuaire des jardins

Les jardins présentent de nombreux éléments décoratifs en pierre, vases, bassins ainsi que des statues, parmi lesquelles se trouvent les statues des 4 saisons.

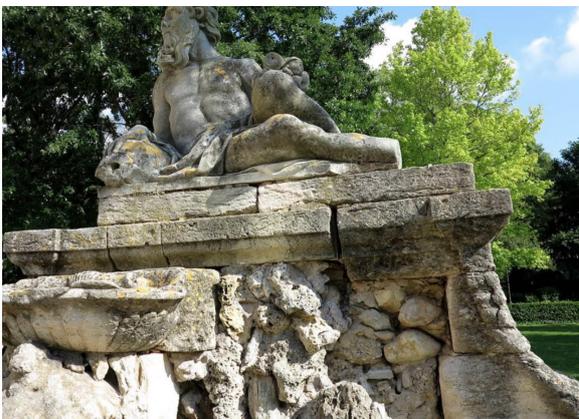
Les vases se trouvent ainsi tout autour de la bastide. Ces 6 vases à pied de Grignan sont globalement en bon état, exception faite de l'un d'entre eux, complètement cassé. Par le passé, on trouvait également d'autres vases, utilisés pour orner les balustres du perron et les margelles des viviers.

Comme évoqué précédemment, avant des transformations du jardin, ce dernier présentait un bassin octogonal, nommé bassin de la pyramide. Il était placé à l'extrémité de l'allée longeant la bastide et les viviers, et déplacé dans la fin des années 1980. Il se trouve aujourd'hui au fond du jardin, près de l'ancienne serre. Aujourd'hui, le fonctionnement de la fontaine est inconnu, toutes les canalisations ayant été retirées.

Des statues en pierre sont également aujourd'hui manquantes dans le jardin. Des deux amours, photographiés en 1946, se trouvaient ainsi dans la roseraie. Il en est de même pour les deux statues « sphinx » qui se trouvaient sur les garde-corps de la bastide, et la statue « chien » anciennement située à l'entrée du jardin de la bastide.



Photographie de la statue manquante



Photographies des fontaines, par Philippe Bromblet

De la même façon, une statue du registre antique a été retirée. Cette dernière se trouvait auparavant dans l'ancien bosquet. Elle est aujourd'hui dans le jardin d'un des anciens propriétaires. Cette dernière est celle qui rappelle visuellement le plus les statues des quatre-saisons, à la fois par ses matériaux, mais également par sa taille et sa position. On peut donc se demander si elles ont été sculptées par la même personne, bien qu'aucune source n'évoque la question.¹⁶

Parmi les éléments les plus remarquables des jardins, se trouvent les deux fontaines des bassins, qui sont décorées, sculptées, surplombées de deux statues et entourées par des bancs. Tandis que les sculptures sommitales sont constituées de pierre de Calissane, les pierres de taille sont, elles, en pierre de la Couronne. Ces matériaux sont également présents sur les statues des quatre saisons, et les font appartenir à un même langage sculptural.

On notera aussi que ces statues ne sont pas monolithiques, et présentent un joint au niveau du cou. Certains éléments sont également goujonnés, tels que les orteils, qui sont parfois manquants.

Les décors des fontaines représentant des rocailles, sont en revanche des plus surprenantes, en regroupant une grande diversité de roches, en passant des concrétions de calcaire denses, par les conglomérats oligocène local jusqu'au molasses coquillère...

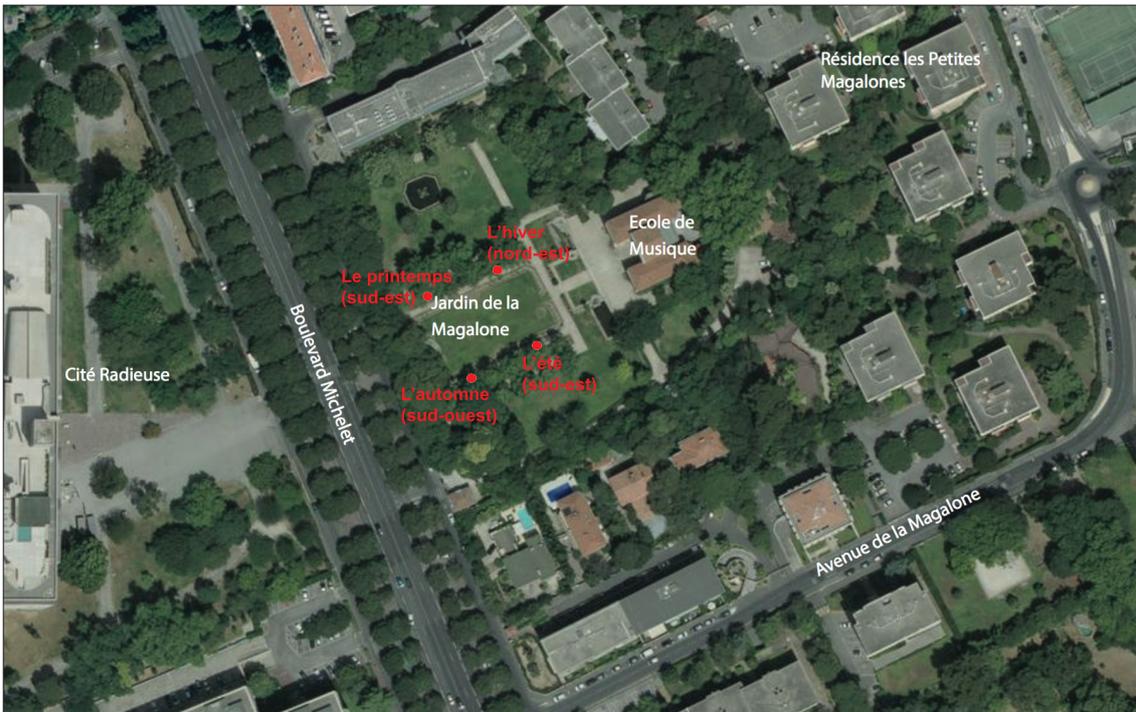
D'après le rapport de Philippe Bromblet¹⁷, les statues sont en bon état, malgré une érosion superficielle qui fait disparaître les détails des statues, et la présence de colonisations biologiques noirâtres (cyanophycées algues unicellulaires).

Les décors sculptés sont eux aussi très altérés par l'érosion différentielle : certains volumes ont ainsi disparu, certaines rocailles également, laissant apparaître les maçonneries de moellons.

Des dégradations importantes sont également notées au niveau des cuvettes de pierre, qui sont très usées au niveau de leur sous-face. D'autre part, on trouve sur les socles des décors sculptés, des mortiers de rejointement et des mortiers de réparations. Ces derniers étant tous deux endommagés aujourd'hui, laissant apparaître leur couches successives, nuisent à l'aspect de la statue.

16 Jardins d'histoire et sce ateliers up+, « Jardin de la Magalone, élaboration d'un plan de gestion ; Phase 2, diagnostic de l'état actuel ».

17 Bromblet, « Etude de l'état de conservation de la statuaire et de son évolution depuis 2011, préconisations générales ».



Position des statues dans les jardins de la Magalonne

IMPACT DE LA RESTAURATION DE QUATRE STATUES DU JARDIN DE LA MAGALONE (MARSEILLE, FRANCE) APRÈS DOUZE ANNÉES DE CONSERVATION IN SITU

Jean-Marc Vallet
Centre interrégional de conservation et restauration du patrimoine (CICRP)
Marseille

Pierre Mérindol
Quélin Mérindol
Avignon
(France)

Le jardin de la Magalonne est situé dans le quartier résidentiel de la ville de Marseille, en face de la Cité Radieuse de Le Corbusier (fig. 1). Il doit son nom à sa bastide, bâtisse construite pour des commerçants qui lui ont donné leur nom, à la fin du XVII^e siècle et dans la campagne marseillaise. Séparé du boulevard Michelet par un mur bordé d'un taillis intérieurement, ce jardin constitue le reste d'une propriété plus étendue qui a progressivement été réduite à son extension actuelle du fait du développement de la ville. Sa structure, faite de bassins, fontaines, terrasses, vases, statues, parterres gazonnés, alignements de tulipiers de Virginie et bordures de buis, est caractéristique du jardin des bastides provençales (Marx, 2010). Inscrit au titre des monuments historiques et recomposé au début du XXI^e siècle d'après les plans du paysagiste Edouard André, il a été acquis par la ville de Marseille et a été labellisé au titre des « jardins remarquables en Provence-Alpes-Côtes d'Azur », en 2005, par le ministère de la Culture et de la Communication (Marx, 2010). Dans le jardin de la villa Magalonne se trouvent des sculptures en pierre cal-



Fig. 1. Vue du jardin de la Magalonne depuis le parvis de la ville. En face se dresse la Cité Radieuse.

349

SESSION 3



Centre interrégional de conservation et restauration du patrimoine

Marseille, le 28 mai 2018

M. Roland MAY
Directeur

Ville : Marseille Département : Bouches du Rhône (13) Lieu : jardin de La Magalonne

OBJET : étude de l'état de conservation de la statuaria et de son évolution depuis 2011, préconisations générales.

Nom et qualité du demandeur : Daniel Garnier, Délégation Générale Ville Durable et Expansion, Direction Environnement et Cadre de Vie, Service Aménagement Espace Urbain, Division Monuments.

Date de mission : 17 mai 2018

Personnes présentes lors de la mission (fonctions) :

Destinataires du présent rapport :

D. Garnier
D. Sarraïh, Directeur, Direction des Parcs et jardins, Ville de Marseille.
R. Jourdan, Conservateur régional CRMH PACA

*Toute utilisation - totale ou partielle - de ce rapport pour une publication ou tout autre support de diffusion doit faire l'objet d'une information et d'une autorisation préalables auprès du CICRP.

Il est rappelé que toute opération (restauration, travaux, déplacement...) concernant un bien culturel protégé au titre des Monuments Historiques, classé ou inscrit sur l'inventaire supplémentaire, doit être signalée, au préalable et dans un délai réglementé, par le propriétaire à l'autorité administrative de l'Etat compétente (Conservateur régional des Monuments Historiques, Conservateur des antiquités et objets d'art...).

Code du patrimoine, art. L. 621-9, 621-27, 622-7 et 622-21.

Dossier suivi par : Philippe Bromblet
Tél : 04 91 08 23 44
Mail : philippe.bromblet@cicrp.fr

1/13

Rapports réalisés en 2011 et 2018

2. Les statues des quatre saisons

a. Description et histoire des statues

Les quatre statues représentent chacune une saison différente. Deux d'entre elles représentent des figures féminines (printemps et été) et les deux autres, des figures masculines (automne et printemps). Elles sont toutes placées autour du parterre central, le long des allées : deux statues de chaque côté, chacune à un bout. Printemps et automne sont placées sur le côté sud, été et hiver sur le côté Nord.

Ces statues sont constituées de calcaire et ont connu d'importantes dégradations. L'essentiel des statues est en calcaire mirifique crayeux, qui est une pierre de Calissanne. Un calcaire blanc, pierre des Estailades est utilisée pour les greffes que constituent les restaurations anciennes. On notera que ces greffes ne sont pas présentes sur toutes les statues, l'automne par exemple, en est dénuée. Une molasse coquillière, pierre de la Couronne, constitue enfin les piédestaux. Enfin, on retrouve du ciment sur les statues, qui constituent des ragréages anciens.¹⁸

En 1999, la direction de l'écologie et des espaces verts de la ville décident de procéder à une restauration. Le CICRP a alors aidé la ville à analyser les offres. Les nouveaux ateliers Mérindol ont réalisé les travaux la même année, selon un protocole défini par le CICRP et les restaurateurs en charge. Les dégradations des statues à l'époque et les restaurations mises en place à l'époque seront évoquées plus en détail lors de l'étude de cas dans la partie suivante.

En 2011 un nouveau constat d'état des statues est commandé. Ce rapport du CICRP¹⁹ « Impact de la restauration de quatre statues du jardin de la Magalone (Marseille, France) après douze années de conservation In situ » revient alors sur les choix et les méthodes opérés en 1999 lors de la restauration, et fait un retour critique afin de mesurer l'efficacité de ces méthodes, l'état actuel de conservation des statues et le fait de savoir si les protections sont encore efficaces une décennie plus tard. Les dégradations de l'époque sont alors listées précisément et comparées avec celles de 1999.

En avril 2018, un plan de gestion pour les jardins est développé²⁰. Ce dernier revient sur l'histoire du domaine, en établit une analyse paysagère, une analyse de la gestion de l'eau, des éléments décoratifs, des éléments construits (serre, rocaille, bancs, escaliers), des accès, des limites et des usages du lieu.

18 Bromlet, « Etude de l'état de conservation de la statuaire et de son évolution depuis 2011, préconisations générales ».

19 Vallet et Mérindol, « Impact de la restauration de quatre statues du jardin de la Magalone (Marseille, France) après douze années de conservation in situ ».

20 Jardins d'histoire et sce ateliers up+, « Jardin de la Magalone, élaboration d'un plan de gestion ; Phase 2, diagnostic de l'état actuel ».



Cicrp-photo Odile Guillon; en haut : statues printemps et été; en bas : statues automne et hiver

A celui-ci se joint un rapport de Philippe Bromblet²¹ réalisé en 2018, établissement un constat d'état des statues des quatre saisons et des deux fontaines. Ce dernier cherche à confirmer les observations et préconisations de 2011, ainsi qu'à mettre en lumière les possibles évolutions et dégradations depuis 2011. Enfin, il établit des préconisations pour la conservation des statuaire, et les méthodes à adopter.

Mon travail s'inscrit donc dans cette continuité, après que plusieurs rapports concernant l'état de dégradations des statues ont été rédigés, et que des réparations aient eu lieu.

b. Un choix pour l'étude de cas : la statue l'automne

Considérant le temps de 4 mois impartis par le semestre, il a semblé trop ambitieux de réaliser l'étude sur plusieurs statues. Afin de réaliser un travail qui puisse être complet, il a semblé préférable d'en sélectionner une.

Lors du choix de la statue à étudier, plusieurs critères sont entrés en jeu. Tout d'abord, compte tenu de la difficulté à réaliser l'acquisition d'une statue, notamment en tant que non-professionnel, il a semblé plus raisonnable de ne pas sélectionner une statue comme celle du printemps, qui présentait de nombreux drapés et détails, plus difficiles à reconstituer lors de la création du nuage de points. La statue de l'hiver présentait le même constat également : bien que très belle, cette dernière par sa position et les drapés, aurait été complexe à reconstituer.

D'autre part, puisque la problématique s'intéresse à la question du diagnostic des statues, et à la façon de représenter des dégradations, de communiquer sur un état, il semblait peut-être plus intéressant de sélectionner une statue présentant des dégradations nombreuses, afin de produire une étude plus riche et de se confronter davantage à la question de la représentation de dégradations de différentes sortes.

Suite à ces réflexions, c'est donc finalement la statue de l'automne que j'ai sélectionnée afin de réaliser mon étude de cas. Cette dernière est, en effet, plus dégradée et a des volumes moins complexes que ses voisines, ce qui semblait plus approprié pour le travail et la problématique envisagés.

Cependant, j'aimerais poursuivre cette étude au semestre prochain, en effectuant un TPER, ce qui permettra de comparer, de réaliser une acquisition et une étude d'une ou plusieurs autres statues. Cela permettrait alors de les comparer entre elles dans cette étude. En plus de voir les évolutions sur une seule statue sur plusieurs périodes de temps, il serait alors possible de voir si toutes présentent une évolution semblable.

21 Bromblet, « Etude de l'état de conservation de la statuaire et de son évolution depuis 2011, préconisations générales ».



Statues de Christophe Veyrier : Lysamaque combattant le lion et Achille mourrant



Statues de Pierre Puget : le portail des Atlantes et Le Faune

3. Un sculpteur inconnu pour ces statues

Les statues ont la particularité d'avoir un sculpteur qui n'est pour le moment pas identifié. Ces dernières sont, en effet, attribuées sans certitude à Pierre Puget, architecte de la villa Magalone, ou à Christophe Veyrier, son élève.

Ces deux artistes reconnus, tous deux nés au début du XVII^e siècle, ont en effet évolué dans la région et réalisé des statues dans le sud de la France à des périodes équivalentes à celle de la construction de la villa, datée, pour rappel de 1670 à 1710.

De plus, ces derniers ont tous deux déjà réalisé des sculptures, formellement identifiées comme les leurs, en pierre de Calissane, pierre utilisée ici pour les statues des quatre saisons. C'est le cas dans les exemples présentés ci-contre.

On trouve en haut à gauche la statue Lysamaque combattant le lion²², située à Péyrolles. Sculptée par Christophe Veyrier (1637-1689) elle a récemment été identifiée par l'historien d'art Klaus Herding. Cette dernière, par son matériau et son aspect érodé, son bras manquant, et colonisé partiellement par ce qui semble être des algues noires, est sans doute celle qui rappelle le plus les statues des quatre saisons. Concernant son esthétique, le traitement du drapé est également semblable à notre objet d'étude. Les formes et la musculature semblent en revanche différentes, les jambes de la statue de l'automne étant plutôt courtes et fortes.

Cette identification tardive montre qu'il est possible que certaines sculptures des sculpteurs soient encore méconnues. À droite se trouve une autre de ses statues : Achille mourant²³, représentant une figure masculine également, bien que celle-ci soit cette soit en marbre.

En bas à gauche, on voit en revanche une sculpture de Pierre Puget (1620-1694), architecte, artiste et sculpteur plus célèbre que Christophe Veyrier, qui a d'ailleurs été son mentor. Située sur l'hôtel de ville de Toulon et intitulée le portail des Atlantes.²⁴ De même que la précédente, celle-ci est sculptée en pierre de Calissane. Bien mieux conservée que la statue de Lysamaque combattant le lion, on peut encore admirer les drapés, les plis de la chair du torse, les détails du visage et de la chevelure. Dans un état bien plus neuf que celles des quatre saisons également, il est plus difficile de les comparer entre elles. Il ne semble pourtant pas improbable qu'elles aient été faites de la même main.

A droite on trouve également une statue en marbre, intitulée Le faune²⁵.

22. Christophe Veyrier, Lysamaque combattant le lion, 1686, pierre de Calissane. A Peyrolles, dans une cour intérieure du château-mairie.

23. Christophe Veyrier, Achille mourant, 1683, marbre. Londres, Victoria and Albert Museum.

24. Pierre Puget, Portail des Atlantes, 1656, pierre de Calissane. Hotel de ville de Toulon.

25. Pierre Puget, Le faune, marbre. Marseille, musée des beaux arts.



LES STATUES DE LA MAGALONE :
COMMENT EXPLOITER L'OUTIL
NUMERIQUE



- Aquisition photogrammétrique :*
- premier tour de la statue, à hauteur d'oeil
 - deuxième tour, en contre plongée
 - troisième tour, en plongée

1. L'acquisition photogrammétrique

a. La méthode d'acquisition

La première étape de l'étude de la statue était de réaliser son acquisition photogrammétrique, selon un protocole défini préalablement. L'acquisition d'une statue, à cause de ses détails et de l'obligation d'avoir une vue à 360° de l'objet, obligeait à prendre un nombre de photographies conséquent. Il fallait réaliser trois tours de la statue, une depuis le bas, regardant la statue en contre-plongée, une à hauteur d'oeil, regardant la statue en face, et un dernier vu de dessus, en plongée. Afin d'avoir une reconstitution de bonne qualité, il a été conseillé par Anthony Pamart, ingénieur au map-gamsau, de réaliser un minimum de 30 photographies par tour, portant le nombre total des photographies à 90 minimum, pour une acquisition. Les réglages des l'appareil étaient les suivants :

Puisque l'acquisition photogrammétrique de la statue nécessitait un nombre de photographies importantes, l'idée de réaliser l'acquisition d'une portion seulement de la statue, a été évoquée. Cependant, cela aurait, perdu de son sens par rapport à la problématique initiale, en empêchant l'étude et le diagnostic de l'entièreté d'une statue. L'acquisition complète à finalement été réalisée.

La statue mesurant plus de 3 mètres, deux outils étaient envisageables pour réaliser les photographies du dessus de la statue : la perche et le trépied. La perche ayant pour inconvénients d'être plus lourde et moins stable, j'ai finalement pris le trépied, qui, bien que moins haut que la perche, permettait, une fois relevée au maximum, de faire une bien meilleure acquisition qu'avec l'appareil photo à la main.

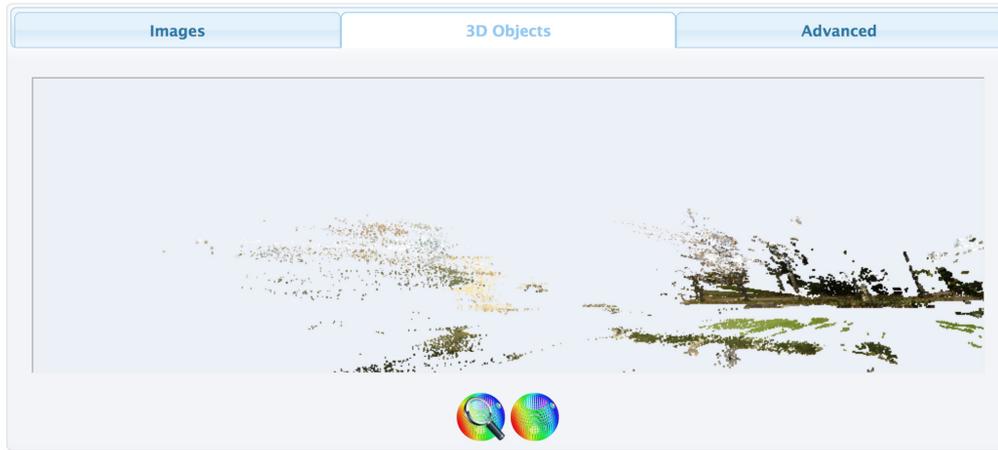
Le jour de l'acquisition, le temps était couvert, temps idéal pour ce genre de photographies. Cette dernière a été effectuée autour de midi, comme recommandé, afin d'éviter d'avoir de trop importants changements d'ombres sur les prises de vues. En revanche, le temps s'est progressivement éclairci, obligeant à modifier parfois l'exposition afin d'éviter les trop grands contre jours. De plus, en effectuant les tours, les prises de vues ont été plus compliquées lorsque la façade de la bastide s'est trouvée en arrière-plan. En effet, cette dernière réfléchissait la lumière et créait des contrastes importants.

J'ai finalement effectué deux acquisitions, par mesure de précaution. Chacune d'entre elle comprenait plus de photos que nécessaire, avec un total de 180 environ. En effet, n'étant pas habituée à ces méthodes, il m'a semblé préférable d'en effectuer plus que nécessaire, au cas où le réglage de l'exposition soit mauvais sur certaines, ou que d'autres soient floues, quitte à ne pas toutes les utiliser au moment du traitement des données.

Magalone2

RUN PROJECT

Finished!



Création du nuage de point sur C3DC



Nuage de point crée sur Micmac, ouvert sur Meshlab

b. L'exploitation de l'acquisition

Suite à l'acquisition, j'ai d'abord utilisé le logiciel photoscan afin de créer le nuage de points. Cependant, en ayant mis toutes les photos d'une acquisition, le logiciel affichait des temps de calcul de plusieurs heures, voire de plusieurs jours, le nombre de données à traiter étant trop important.

J'ai alors sélectionné une partie des photographies, environ 60, que j'ai mis sur le logiciel C3DC afin de vérifier que l'acquisition était suffisamment bonne pour générer un nuage. C3DC, soit «Culture 3D clouds» est une plateforme informatique, disponible en ligne, permettant une numérisation 3D, et qui vise à créer une documentation et une diffusion du patrimoine culturel.²⁶ Cette dernière part du constat que la technologie et le matériel utilisé pour la numérisation 3D nécessitent des compétences spécialisées, et souhaite remettre ces captations dans les mains des photographes. La plateforme pourrait ensuite permettre une redistribution de la banque d'images et des reproductions 3D générées.²⁷

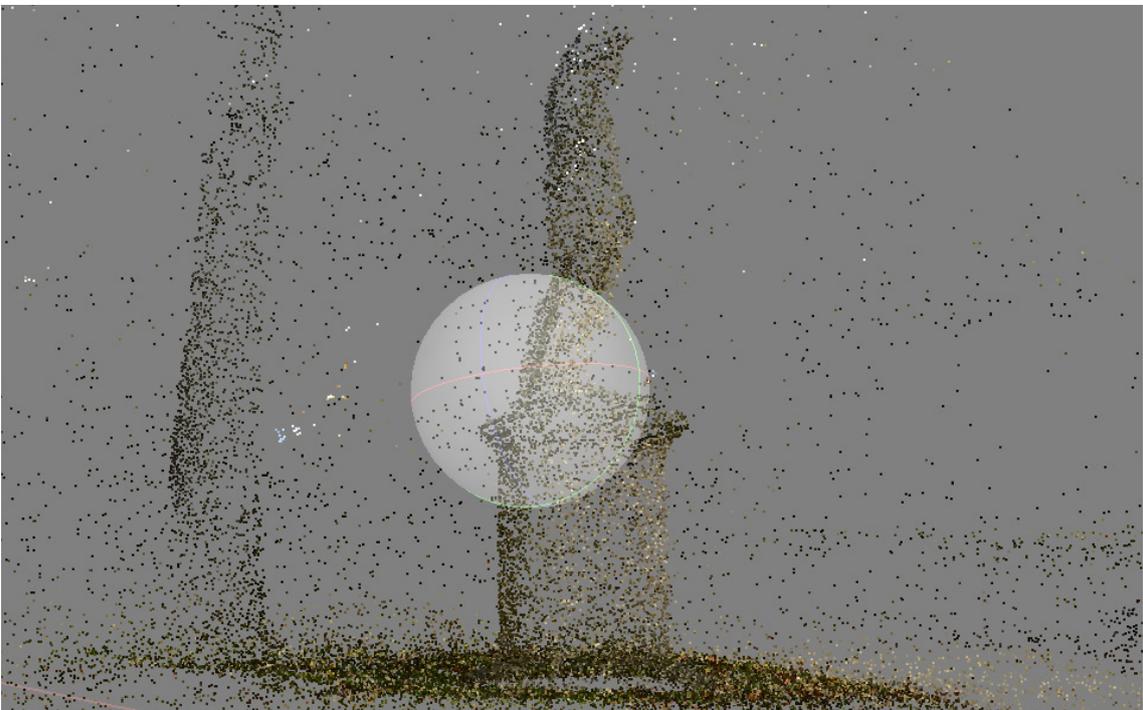
Elle nous permet ici, en tant qu'étudiant, de tester nos acquisitions photogrammétriques, en les traitant sur serveur, et non sur nos propres ordinateurs. Très simple d'utilisation, il s'agissait pour nous d'un premier test, avant de réaliser les nuages de points sur d'autres logiciels. Dans mon cas, après plusieurs heures de calcul, le nuage de points dense a abouti. En revanche, il est difficile de zoomer et de déplacer le point de vue sur C3DC, il était donc compliqué de voir la statue, le contexte étant prépondérant sans recadrage.

Puisque le nuage de points avait pu être généré par C3DC, j'ai finalement voulu le créer sur la plateforme Aioli. Aioli est actuellement en développement au map-gamsau, notamment grâce au travail des ingénieurs qui y travaillent. Conçue comme une plateforme d'annotation sémantique 3D, cette dernière doit servir à documenter les objets et bâtiments patrimoniaux. En 2016, la thèse d'Adeline Manuel²⁸, soutenue à l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Paris marque le début de ce travail. Dans cette dernière, réalisée sous la direction de Livio de Luca, elle aborde le fait que les annotations sémantiques sur des modèles 3D sont encore insuffisantes à l'heure ac-

26 Alliez, P., Forge, F., De Luca, L., Pierrot-Deseilligny, M., & Preda, M. (2017). Culture 3D Cloud: A Cloud Computing Platform for 3D Scanning, Documentation, Preservation and Dissemination of Cultural Heritage. *ERCIM News*, (111), 64. Retrieved from <https://ercim-news.ercim.eu/en111/special/culture-3d-cloud>

27 Pamart, A., & Alliez, P. (2016, December). Live presentation of Culture 3D Cloud (C3DC) platform. Presented at the PARTHENOS Workshop Digital 3D objects in Art and Humanities: challenges of creation, interoperability and preservation, Bordeaux. Retrieved from https://www.canal-u.tv/video/humanum/live_presentation_of_culture_3d_cloud_c3dc_platform.34039

28 Manuel, Adeline, «Annotation sémantique 2D/3D d'images spatialisées pour la documentation et l'analyse d'objets patrimoniaux», thèse de doctorat en Science des Métiers de l'ingénieur, sous la dir. de Livio DE LUCA, Paris, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, 2016.



Vues du nuage de point sur photoscan

tuelle pour aborder efficacement les artefacts patrimoniaux. Aioli cherche aujourd'hui à comprendre les enjeux de ces objets, et à palier ce manque en permettant d'insérer des éléments sémantiques, des zones colorées et autres signaux visuels. De plus, un des enjeux majeurs de l'application est de permettre la correspondance des annotations sur l'ensemble des photographies de l'acquisition, ainsi que sur le nuage de points. Pendant ce semestre, il nous a été permis d'utiliser la version d'essai d'aioli, afin d'y reconstituer nos nuages de points, et d'y créer une série d'annotations. Nous avons également toujours pu compter sur les conseils des ingénieurs du map-gamsau, Anthony Pamart, Adeline Manuel et Anas Alaoui M'Darhri, lorsque nous avons rencontré des obstacles.

Afin d'y traiter mon acquisition, j'ai effectué plusieurs essais successifs. Le logiciel ne pouvant traiter que 800Mo de données par projet, j'ai réduit la qualité de mes photos. En effet, ces dernières dépassaient chacune les 25Mo. Il aurait donc fallu ne mettre qu'une trentaine de photos pour ne pas dépasser les capacités du logiciel. Ce nombre de photos étant trop faible pour créer un nuage de points suffisamment dense, il a fallu réduire la taille à environ 5Mo chacune.

N'étant pas habituée à ces acquisitions ni au logiciel en développement aioli, il a été dans un premier temps un peu compliqué de comprendre quels choix faire, que ce soit dans le nombre de photos à retenir avant de créer un nuage trop épars, ou encore dans le fait de comprendre les bugs d'aioli. En effet, même en respectant le temps de chargement des photographies, certains projets n'arrivaient pas à aboutir.

J'ai donc essayé de lancer un projet avec une centaine de photographies. Ce dernier n'a pas abouti. J'ai donc réduit le nombre de photos progressivement, et remplacé certaines d'entre elles, jusqu'à obtenir un nuage fonctionnel. Finalement, environ 70 photos ont été utilisées pour reconstituer le nuage qui m'a ensuite servi à appliquer toutes mes annotations.

En revanche, il est regrettable de ne pas pouvoir modifier un nuage de points sur le logiciel, une fois que ce dernier a été calculé. En effet, dans le cas d'une statue, les photographies comprennent toutes une partie de l'arrière-plan. Ce dernier a donc été également reconstitué. Il aurait été possible de créer des masques sur les photographies avant de les injecter dans Aioli, afin de cacher l'environnement. Cependant, afin de ne pas perdre les métadonnées des photos, il aurait fallu les réaliser manuellement sur photoshop. Le nuage comprenant 70 photographies, cela semblait néanmoins être une demande déraisonnable dans l'hypothèse où l'outil servirait à effectuer un diagnostic réel d'une statue. En effet, si un expert ou un chercheur souhaitait utiliser le logiciel pour y créer son diagnostic, il ne semblerait pas logique de lui demander un travail de plusieurs heures afin de créer des masques, avant même que le travail d'annotation de l'oeuvre n'ait commencé.



Vue du nuage de point sur Aioli

Une autre réponse à ce problème aurait été d'avoir la possibilité d'importer son propre nuage de points sur Aioli. En effet, sur des logiciels tels que photoscan, meshlab ou cloudcompare, il est facile de supprimer les points non désirés, et par extension, un contexte qui serait inutile à l'étude. Il est prévu, dans la prochaine version d'aioli, de pouvoir réaliser cette opération, qui permettra donc de solutionner ce problème.

On note toutefois qu'en cliquant sur les photographies, aioli nous permet déjà de repérer directement la statue, et nous affiche le nuage de points qui correspond à la photographie sélectionnée. En passant de photographies en photographie, nous restons donc souvent centrés sur l'objet d'étude, et non sur les éléments parasites qui pourraient l'entourer. Contrairement à C3DC, nous avons donc la possibilité de naviguer plus facilement dans le nuage de points et de mieux visualiser la statue, ce qui permet que le contexte ne nuise pas à l'étude de la statue et à la création des calques d'annotations.

En parallèle de ce travail, Anthony Pamart, qui devait nous faire une démonstration de l'utilisation de meshlab et de cloudcompare, a utilisé Micmac pour créer le nuage de points issu de mon acquisition. J'ai pu le récupérer et l'ouvrir sur meshlab afin de le comparer avec mon propre nuage de points, crée sur Aioli.

Les deux nuages sont finalement assez denses pour permettre une lecture de la statue et de ses reliefs. Cette dernière étant déjà très érodée, ne présente actuellement plus énormément de détails dans les drapés, la chevelure ou les traits du visage. Cela autorise donc à avoir un nuage moins dense, sans perdre de l'information concernant les reliefs de la statue.

On observe cependant un manque d'information au niveau du sommet du crâne. En effet, les points sont très éparses voir manquants sur cette petite partie du nuage. Cela n'est pas dû à l'exploitation de l'acquisition, mais à l'acquisition photogrammétrique elle-même. Puisque le trépied ne permettait pas de s'élever à plus de 2,5m de hauteur, la prise de photographie en plongée n'a pas été faite depuis suffisamment haut, ce qui entraîne ce manque d'informations.

Néanmoins, puisque ce dernier était bien reconstitué sur le reste de la statue, j'ai pu commencer à concevoir les calques d'annotations du nuage de points et des photographies.



Photographie de la statue - Odile Guillon cicrp 2011

PIEDESTAU X	Pierre de la Couronne - molasse coquillère à ciment inter granulaire
SOCLE	Calcaire coquillier + goujons métalliques dans les assemblages
STATUE	Pierre de Calissane - calcaire mirifique crayeux, compact, fin et blanc crème
GREFFES	Pierre des Estailades - calcaire blanc, un peu crayeux (avec une patine plus grise que la pierre de Calissane)

Tableau représentant le calque «matériaux»

2. L'utilisation d'aioli : une volonté de transmettre autrement les informations des diagnostics

L'intérêt d'aioli était de pouvoir annoter les photos et de distinguer des zones sur ces dernières. Cela m'a semblé être pertinent dans le cadre de cette problématique, en imaginant qu'un expert, chargé d'effectuer le diagnostic ou un constat d'état sur une statue, pourrait directement se connecter au logiciel et voir les annotations et informations déjà collectées sur la statue. Ces dernières pourraient être de différentes sortes et informer aussi bien sur des dégradations, des évolutions de l'objet, des rénovations mises en place ou sur la nature de la statue en elle-même en traitant de ses matériaux ou ses modes d'assemblages par exemple.

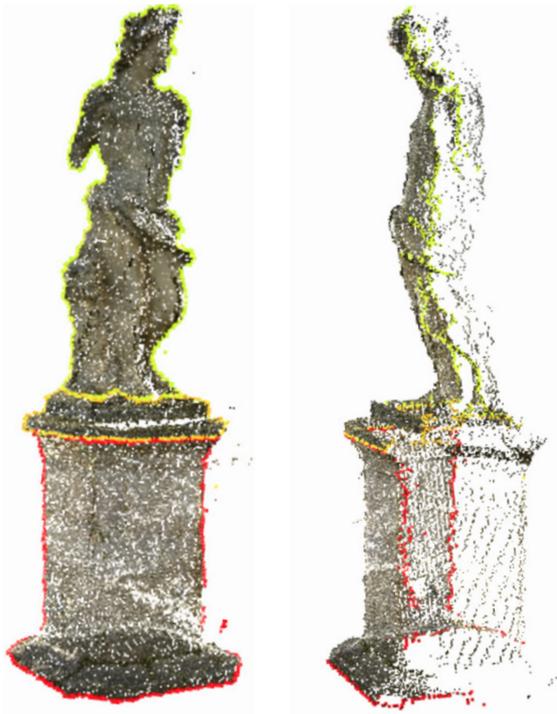
Afin de définir des thèmes à étudier pour ce cas d'étude, je me suis basée sur les rapports effectués précédemment ainsi que sur les observations de l'état actuel de la statue. Finalement, j'ai défini plusieurs calques correspondant à ces constats :

- les matériaux de la statue
- les dégradations de la statue en 1999 (état avant les rénovations)
- les dégradations de la statue en 2011 (constat d'état 12 ans après les rénovations)
- les dégradations de la statue en 2018 (constat de l'état actuel)

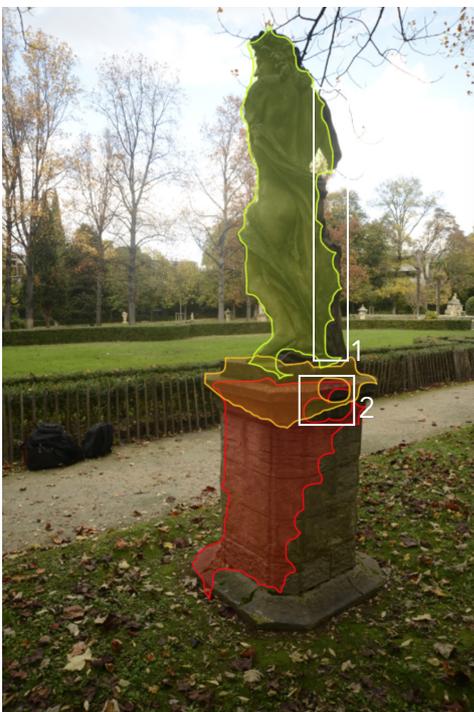
Certaines de ces catégories regroupant beaucoup d'éléments, j'ai réalisé une série de tableaux qui synthétiserait les informations devant être indiquées dans chacun des calques. Cette étape était particulièrement importante afin de savoir précisément quelle information annoter, puisqu'une fois réalisée, une sélection ne peut plus être modifiée. En effet, il n'est actuellement pas possible d'en modifier le nom, la couleur ou le contour, ce qui a posé problème au moment d'annoter.

a. Les matériaux de la statue

Comme évoqué dans la présentation des statues des quatre saisons, différents matériaux composent l'essentiel de la statue : une pierre de la Couronne, une pierre de Callissane et un calcaire coquillier. De la pierre des Estailades a également été employée sur les statues qui ont connu des greffes anciennes, ce qui n'est pas le cas pour la statue de l'automne. Ci-contre, se trouve la répartition des différentes pierres sur la statue. Ce tableau représente le calque «matériaux» créé sur la statue. Chacune des lignes représente une zone de sélection et donc une couleur, sur les photographies.



Nuage de point sur Aioli et positionnement des calques matériaux



Photographies sur Aioli et positionnement des calques matériaux

légende du calque



Pierre de Calissane



Calcaires coquillers



Pierre de la Couronne

La première photographie présentée est celle où les annotations ont été effectuées. Les contours y sont donc nets, les zones sont bien délimitées et ont pu être correctement légendées. De même, on voit sur le nuage de points que lorsqu'on est dans la même position que la photo, le contour des sélections s'adapte bien au relief et à chacun des points. En revanche, lorsqu'on effectue le tour de la statue, on constate que les zones colorées s'adaptent parfois moins bien aux photographies et aux limites réelles des zones initialement repérées par les sélections. Ces bugs sont visibles aussi bien sur le nuage de points que sur les autres photographies de la statue. Ils ont des causes différentes et se manifestent donc différemment, visuellement parlant.

On trouve d'abord des «trous» dans les zones colorées (bug 2 sur les photos ci-contre). Ces derniers s'expliquent par la densité du nuage. En effet, il faut noter qu'un nuage de points est quatre fois moins dense qu'une photographie. Il arrive donc que sur certaines photos, le logiciel ne repère pas de point sur ce qu'il a face à lui, mais repère à la place un point situé sur la face arrière. Il va donc ajouter à sa sélection ce point qui est plus loin, en se déformant et en adoptant une forme conique. Cela donne alors une apparence de trou sur la sélection.

On voit également que les contours de la zone sont parfois irréguliers (bug 1 sur les photos ci-contre). Cela n'est pas un problème de qualité de photo ou d'acquisition non plus : en effet, il s'agirait d'un problème d'affichage du logiciel. Lorsque l'on trace une zone, le logiciel les décompose en plusieurs sous-zones. Ces dernières sont affichées au formats sfg. Ces sont certaines de ces plus petites zones qu'il réussit à lire, mais pas à afficher dans l'interface des photographies. On voit d'ailleurs que sur le nuage de points, les zones sont elles plus fonctionnelles et suivent mieux les contours de la statue.

Le problème de l'annotation reste le fait que lorsqu'on regarde le point de vu opposé à celui de la photographie annotée, le logiciel ne reconnaît aucun point en commun avec la photographie d'origine. La sélection disparaît alors totalement (bug 3 sur les photos ci-contre). Afin de parer à ce problème, il était envisagé de créer une autre zone de la même couleur, avec la même légende, à l'arrière de la statue. Cependant, la lecture de l'image était alors confuse et les bugs cités précédemment empêchaient malgré tout, une lecture claire. Il semblait donc préférable de ne pas «bricoler» ainsi, et de montrer les zones telles qu'elles.

Enfin, on trouve parfois des bugs « exceptionnels » (bug 4 sur les photos ci-contre) ou des zones colorées se retrouvent en des endroits inattendus ou se déforment. Dans ces cas-là, le logiciel pense reconnaître un point à un endroit inattendu, sans que l'on sache véritablement pourquoi.

	DEGRADATIONS 1999	DEGRADATIONS 2011	DEGRADATIONS 2018
FISSURES	- fissures locales, peu nombreuses	- fissures et éclatement	- fissures anciennes et peu actives, partiellement colonisées + quelques unes signalées en 2010 à contrôler (à l'interface avec d'anciennes zones de reprises au mortier ou attribués à l'oxydation d'armatures posées en 1999)
DÉTACHEMENT	- pulvérulence faible - desquamation forte (jambe droite)	- désagrégation granulaire : sur le socle forte, patine peu à pas visible ; sur la statue généralisée, plus importante au Sud - desquamations sur la statue, sur les zones colonisées, flancs, ragréages du genou droit	- décollement de la couche de protection jaune/orangée appliquée en 1999 faisant apparaître l'épiderme blanc de la pierre - desquamation de la pierre en cours
PERTE DE MATIÈRE	- creusement faible - parties manquantes devant et derrière la base du socle (deux pièces parallélépipédiques)	- contour scalling proche des bords du socle, sur parties horizontales - épaufrures : quelques unes récentes sur les arrêtes du socle - écaillages : quelques uns sur la statue, sur les parties saillantes des draperies, 1/2 inférieure - pitting sur les statues, sur ragréage à gauche des zones blanchies, là où il y a des algues	- écaillages : nouveaux écaillages, zones d'altération active, sur les arrêtes des drapés, sur les surfaces non colonisées, ocres sur la partie inférieure des statues dans les zones abrités - érosion actuelle (qui se surimpose à une érosion ancienne généralisée sur les modèles) sur les pieds notamment
ALTÉRATIONS CHROMATIQUES ET DÉPÔTS	- coloration grise - coloration beige (ragréage) - croutes noires développées dans les parties abritées	- coloration gris sombre, uniforme sur le socle - encrassement : un peu sur les parties les plus abritées de la statue - blanchiment : peu visible globalement : sels ou voile calcite, léger sur le socle ; faibles au niveau des parties saillantes de la statue	- blanchiment : a gagné en importance : érosion active et lessivage qui créent des surfaces blanchies qui s'étendent. Présente sur le buste et plissés des vêtements.
COLONISATIONS BIOLOGIQUES	- lichens nitrophiles oranges sur l'épaule droite et commissure sur le cou et l'épaule gauche - lichens nitrophiles jaunes verdâtres sur la base du socle de face et sur les côtés senestre et dextre - lichens gris anciens incrustés un peu présents sur le socle - algues grises et vertes sur la moitié supérieure et draperie, pied et socle	- lichens vert à orangés : un peu présents sur l'avant du socle - algues noires : partout sur le socle ; recouvrement important et coulures sur la statue - algues vertes : sur les parties verticales et au nord du socle ; présentes localement sur la statue, au niveau des joints - mousses : un peu sur le socle, que base et dans les joints au Nord	- lichens vert à orangés : prolifération mais pas étendue à des nouvelles surfaces - algues noires (cyanophycées) : prolifération mais pas étendue - algues vertes : mêmes surfaces qu'en 2010, mais coloration plus verte et moins noire
MONTAGE	- surface altérée et joints creusés sur le piédestal - joints d'assemblage visibles - bougeons visibles sur les bras	- joints peu visibles sur le socle	
RESTAURATIONS	- restauration anciennes : ragréages beige au ciment sur le genou droit et la cuisse droite, tour du genou gauche (pas de greffe)	- restauration de 1999 : disparition d'une partie des ragréages, plus importante dans les parties inférieures	- restauration de 1999 : couche à l'eau forte teintée et adjuvantée persiste dans les zones abritées des pluies (jambes) mais se décolle sinon

b. Les dégradations de la statue

Ci-contre, se trouve le tableau correspondant aux calques des dégradations de la statue. Comme évoqué précédemment, ces dernières sont classées en fonction de trois dates :

- 1999 : date à laquelle une rénovation de la statue a été envisagée et le premier constat d'état réalisé
- 2011 : date à laquelle un constat d'état a été réalisé afin de constater les dégradations subies par la statue 12 ans après la rénovation et en conservation in-situ²⁹
- 2018 : date du rapport de philippe Bromblet sur les statues³⁰ et période d'observation actuelle

Elles sont également divisées en sept catégories : fissures, détachement, perte de matière, altérations chromatiques et dépôts, colonisations biologiques, montage et état des restaurations antérieures. Ces dernières ont été définies de façon à être communes à chacune des années, afin de permettre également de réaliser une comparaison grâce à une entrée thématique plutôt que par une entrée de temps. L'objectif était donc que chacune des cases présentes dans ce tableau puisse être affichée indépendamment du reste. On pourrait donc voir toutes les dégradations pour une année particulière³¹ ou pour un thème particulier³².

A ces calques pourraient être ajoutées des photographies montrant plus précisément l'objet du calque, comme proposé par le logiciel aïoli. En effet, quand on visualise les annotations d'une époque passée, ces dernières s'affichent sur le nuage de points et les photographies actuelles qui font partie de l'acquisition. Il pourrait donc être intéressant de joindre une photographie de 1999 et de 2011 aux calques correspondant, afin d'observer la statue à l'époque.

Néanmoins, comme mentionné précédemment, les bugs actuels du logiciel, ont rendu difficile l'annotation de la statue et la création des calques. En plus des problèmes déjà rencontrés sur le calque des matériaux, d'autres ont été constaté ici, notamment lors de l'annotation de petites zones.

29 Vallet et Mérindol, « Impact de la restauration de quatre statues du jardin de la Magalone (Marseille, France) après douze années de conservation in situ ».

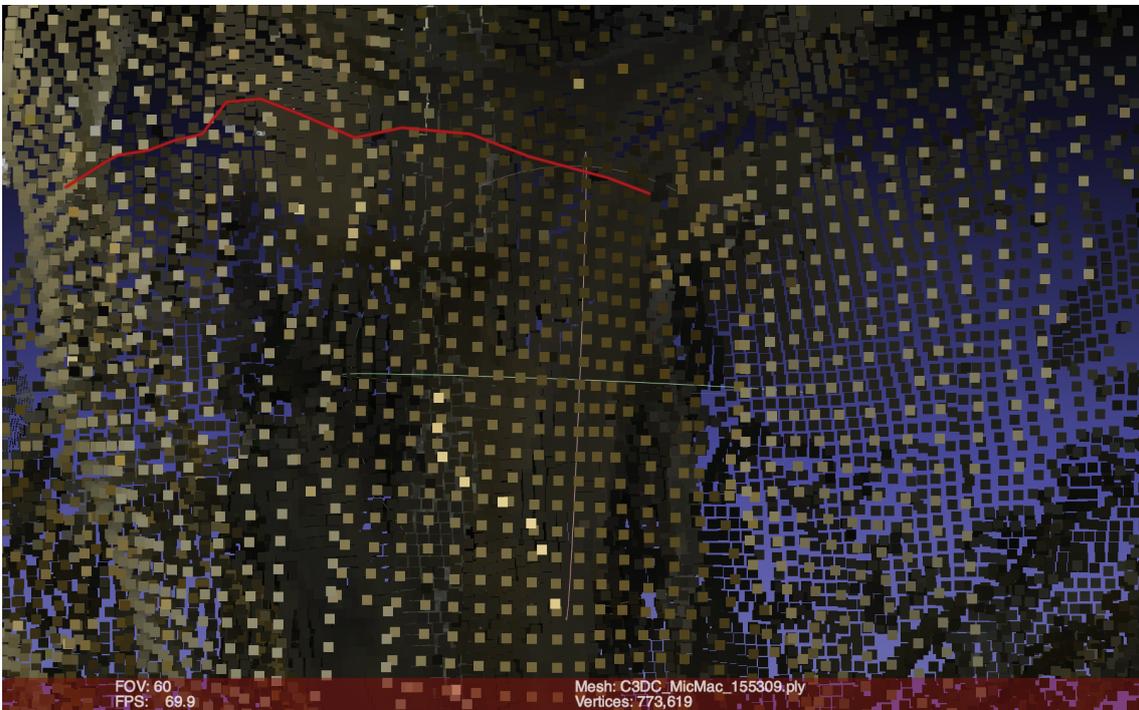
30 Bromblet, « Etude de l'état de conservation de la statuaire et de son évolution depuis 2011, préconisations générales ».

31 Voir pages 60 à 65

32 Voir pages 66 et 67



Situation de la fissure sur la statue



Vue du nuage de point généré sur äioli, ouvert avec MicMac

Les premiers problèmes ont été rencontrés alors qu'il fallait signaler une fissure sur la jambe droite de la statue. Dans l'idéal, cette dernière aurait dû être désignée par une ligne, enfin d'en noter la forme, l'emplacement et la longueur.

Comme le trait n'existe pas pour le moment sur Aioli, la solution était de tracer un polygone très fin, qui se serait donc apparenté à une ligne en s'éloignant. Ci-contre, se trouve une démonstration de ce fonctionnement : en haut, se trouve le visuel que nous aurions idéalement sur Aioli. Cependant, en traçant ce polygone fin, ce dernier n'apparaît sur aucune photo, et pas non plus sur le nuage de points.

Il faut alors reprendre en compte le fait que la résolution du nuage de points est quatre fois moins important que celle d'une photo, pour comprendre cet échec. On voit en bas le nuage de points d'Aioli, ouvert sur meshlab, et sur lequel j'ai placé l'emplacement de la fissure de la jambe. On se rend alors compte qu'il est tout à fait possible qu'en faisant une sélection fine, le polygone ne repère pas de point sur le nuage puisque le tracé ne passe pas tout le temps par un point existant. Le logiciel ne peut alors pas créer le polygone. Il montre donc le trait que nous avons tracé sur la photo, sans avoir repéré de point correspondant à ce tracé, et ne peut donc pas le recréer sur les images qui suivent, ou encore moins sur la 3D.

Suite à ce problème, j'ai alors tenté d'utiliser le point, qui existe déjà sur Aioli, bien que ce dernier donnerait bien moins d'informations sur les fissures. Comme pour le trait, ce dernier n'a pas fonctionné, n'apparaissant sur aucune photographie. Deux explications sont possibles quant à cet échec : cela pourrait être le même souci que précédemment. Cependant, après avoir refait un test sur une zone où le nuage est plus dense (ici sur le socle), on s'est aperçu que ce dernier n'apparaissait pas non plus. Il est donc possible qu'il y ait eu un problème avec le script, qui avait été modifié récemment.

Bien que la présence de bugs soit normale sur un logiciel qui n'est pour le moment qu'en développement, elle nuit ici à la problématique. Par conséquent, afin de ne pas faire l'impasse sur certaines annotations que le logiciel ne serait pas capable de traiter, et de mieux se rendre compte de ce à quoi pourrait ressembler une annotation réalisée après un constat d'état, j'ai réalisé les annotations sur photoshop pour proposer une simulation «idéale» de ces calques. Cela a permis de réaliser des annotations plus proches de ce qui aurait du être fait dans la réalité, et de voir de quels outils devrait être doté le logiciel dans l'idéal, afin de proposer une annotation la plus complète et la plus lisible possible.

Ces calques ont été réalisés à partir d'une photo extraite de l'acquisition photogrammétrique, qui a servi à créer le calque «matériaux» exposé précédemment. Ils ont tous été réalisés sur cette photographie, afin de pouvoir les comparer entre eux. En revanche, cette simulation ne permet pas, contrairement à ce qui sera ensuite permis par Aioli, d'apercevoir tous les côtés de la statue, et donc ses annotations en trois dimensions.



LEGENDE

Fissures

— Fissure ancienne

Détachement

■ Désquamation de la pierre

Perte de matière

■ parties manquantes

altérations chromatiques et dépôts

⊕⊕⊕⊕ coloration grise

⊗⊗⊗⊗ ragréage au ciment (rénovation ancienne)

■ croute noire

colonisations biologiques

■ algues noires

■ lichens oranges

■ lichens verts

montage

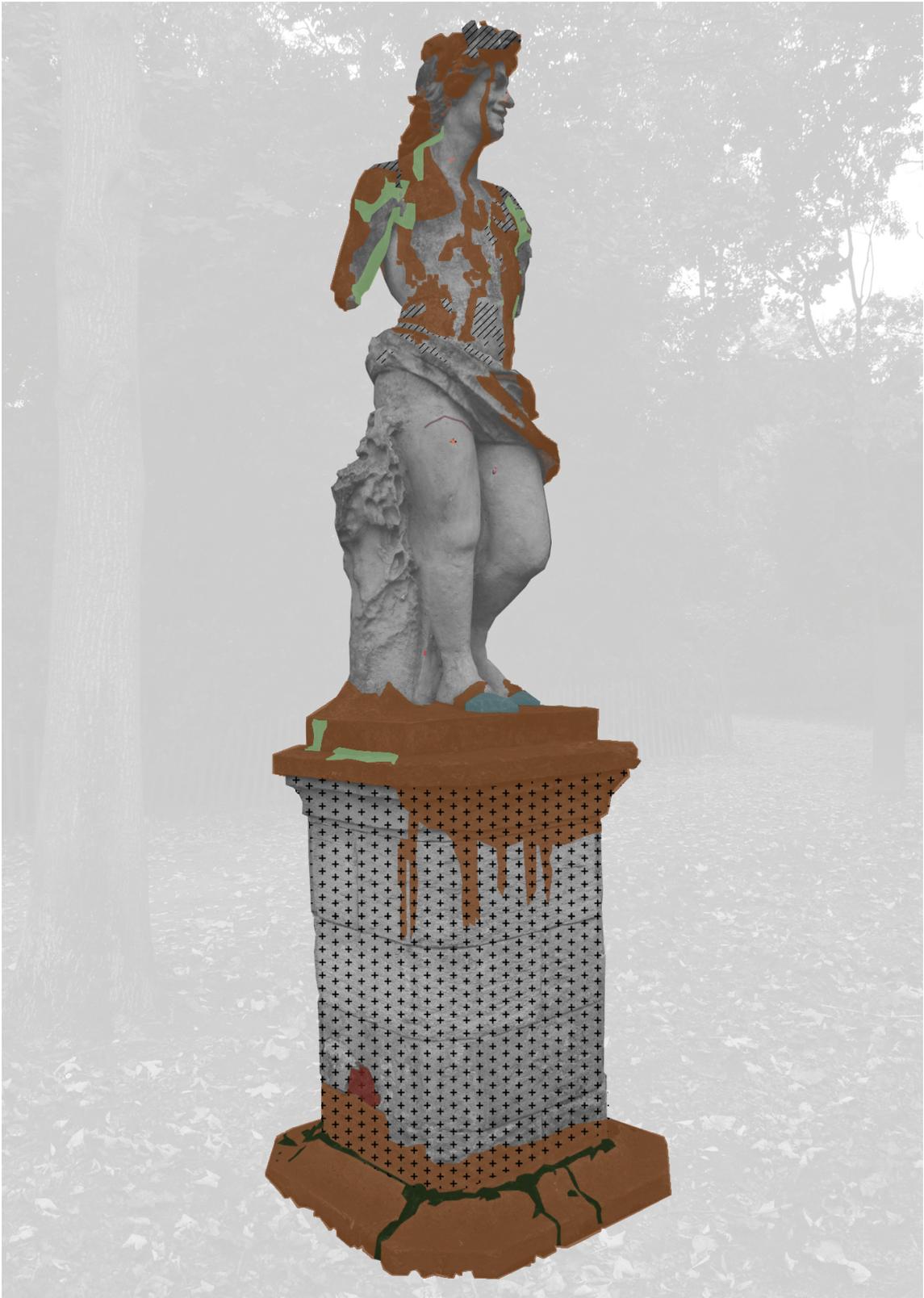
■ joint d'assemblage

Ne disposant que d'une photographie de l'état de la statue en 1999 avant les rénovations, il était parfois compliqué d'identifier l'emplacement des dégâts mentionnés. Sur le socle par exemple, je n'ai finalement placé aucune dégradation, puisque la photo ne permettait pas de voir son état. J'ai donc préféré ne rien annoter, plutôt que de faire des hypothèses ou des interprétations.

Cette cartographie met en évidence l'importance de la coloration grise sur la statue, qui couvre sa moitié supérieure. Sur la partie inférieure, la desquamation de la pierre et le ragréage au ciment sont prépondérants visuellement parlant, et donnent un aspect disparate aux modelés des jambes. L'apparition de lichens et les joints d'assemblages viennent s'ajouter aux éléments les plus visibles de la statue.



Photographie de la statue en 1999



LEGENDE

Fissures

— Fissure ancienne

Détachement

■ Décollement de la couche de protection

■ Désquamation de la pierre

■ Désagrégation granulaire

Perte de matière

■ érosion

■ parties manquantes

altérations chromatiques et dépôts

⊕⊕⊕⊕⊕ coloration grise

//// blanchiment

colonisations biologiques

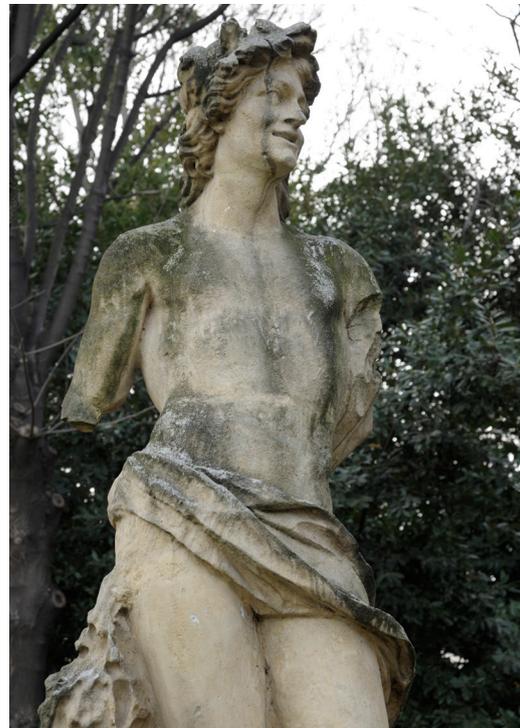
■ algues vertes

■ algues noires

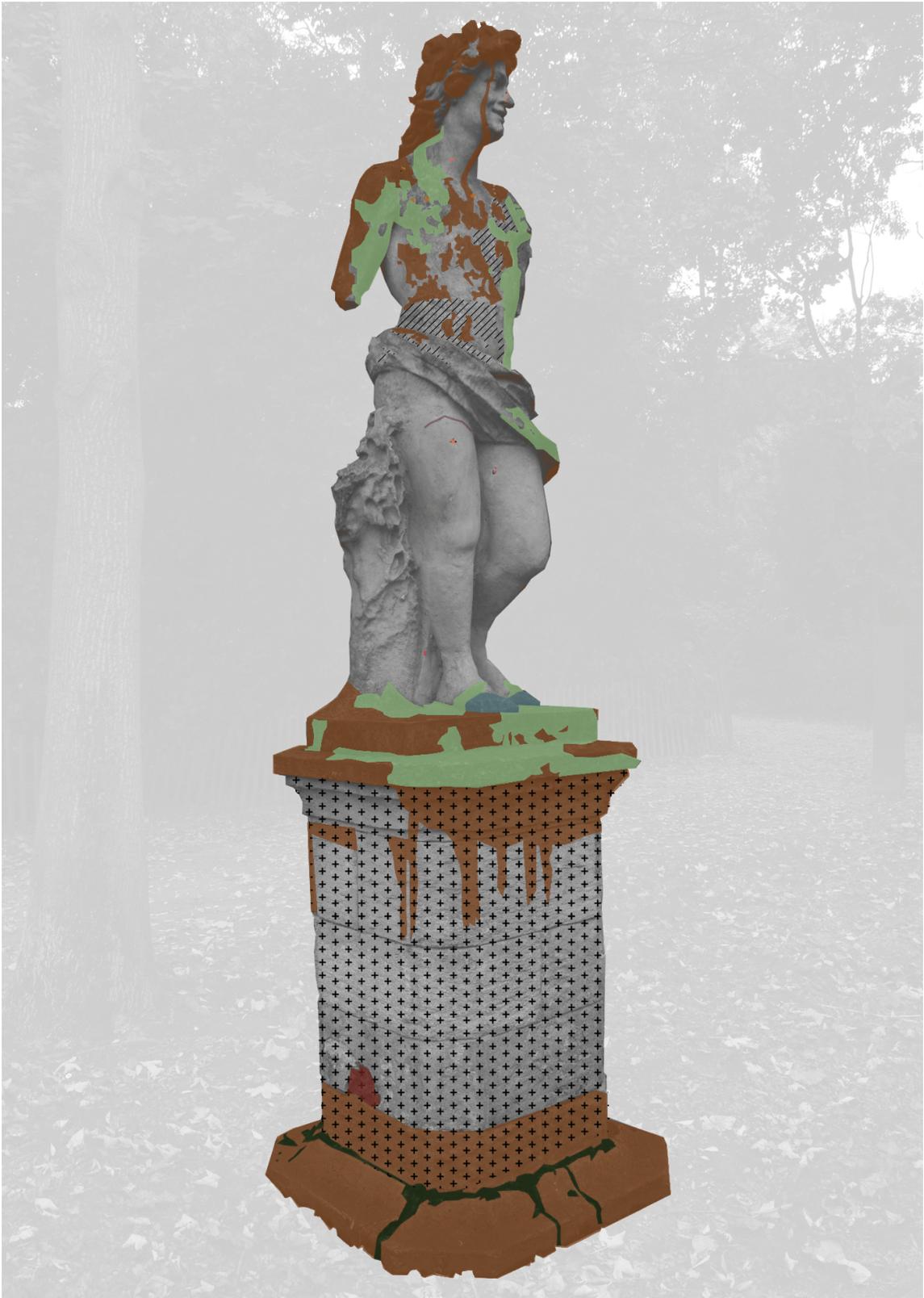
■ lichens oranges

■ lichens verts

Les dégradations observées en 2011 sont différentes de celles observées avant toute rénovation contemporaine. En effet, la couche protectrice appliquée couvre encore la statue presque en sa totalité, bien que certaines zones d'écaillages soient visibles. Par conséquent, les assemblages, ragréages anciens ne sont plus visibles. En revanche, les colonisations biologiques sont très présentes sur la statue, notamment à cause des méthodes d'arrosage des étendues d'herbe, qui viennent parfois arroser la statue. D'autre part, les altérations chromatiques sont très visibles : le socle adopte une coloration grise tandis que le buste de la statue blanchit à cause du lessivage de la pierre. Enfin, des fossiles sont mis à nu par ce blanchiment.



Photographie de la statue en 2011



LEGENDE

Fissures

 Fissure ancienne

Détachement

 Décollement de la couche de protection

 Désquamation de la pierre

 Désagrégation granulaire

Perte de matière

 érosion

 parties manquantes

altérations chromatiques et dépôts

 coloration grise

 blanchiment

colonisations biologiques

 algues vertes

 algues noires

 lichens oranges

 lichens verts

On remarque que les dégradations entre 2011 et 2018 sont beaucoup plus semblables entre elles, que celles constatées en 1999 et 2011. Cela semble logique, puisqu'aucune rénovation de la statue n'a été effectuée pendant ce deuxième intervalle de temps.

Cela confirme néanmoins l'efficacité et la durabilité de la couche de protection, qui, presque 20 ans après son application, permet encore de masquer les ragréages anciens. De même, sur cette statue, elle ne semble pas s'être beaucoup plus décollée en 2018 qu'en 2011.

Les dégradations déjà constatées en 2011 sont cependant toujours présentes, voire ont gagné du terrain. Tandis que blanchiment et colonisations biologiques se disputent du terrain, on constate toujours la présence d'une coloration grise sur le socle. Les colonisations semblent avoir pris en importance sur le crâne de la statue, au détriment du blanchissement de la pierre. Elles prennent également davantage de place sur le socle.

La nature des colonisations semble quelque fois avoir changé. Ainsi, dans la plupart des zones, l'emplacement des colonisations biologiques n'a pas changé, mais ces dernières sont davantage vertes que noires.



LEGENDE

Emplacement des algues



Ici, la cartographie présente l'évolution de l'emplacement des algues à travers le temps. Elle montre ainsi que ces dernières, peu nombreuses en 1999, se sont multipliées en 2011, notamment au niveau du socle, du sol et du buste de la statue. Jusqu'en 2018, ces zones ont continué à s'étendre, bien que la progression des algues soit bien moindre que celle constatée pendant la période précédente.

Cette cartographie révèle le fait que les jambes semblent presque totalement épargnées par les colonisations. Grâce au drapé du buste qui les protège et à leur forme plus abrupte, ces dernières doivent être moins propice à la stagnation de l'eau, et donc être mieux préservées. De même, la tranche intermédiaire du socle semble moins touchée par cette progression, bien qu'au fil des ans on remarque de plus en plus de colonisations d'algues qui semblent adopter la forme des coulées d'eau. Au pied de la statue,, ces dernières semblent également plus conséquentes, sans doute à cause de l'arrosage automatique du jardin, qui venait éclabousser la statue en ces zones.

Cette cartographie, qui s'effectue cette fois grâce à une entrée thématique et non grâce à une unité de temps, permet une lecture qui se différencie vraiment de celle d'un rapport traditionnel, qui, lors de la désignation des dégradations, se concentre davantage sur un état de toutes les dégradations à un moment donné. En cela, les cartographies précédentes se rapprochent davantage d'une version cartographiée d'un constat d'état tel qu'il est actuellement.

Ici, on entrevoit peut être davantage une façon dont l'outil numérique pourrait permettre une utilisation innovante dans le diagnostic des statues. Ainsi, on pourrait imaginer que lorsque les différents experts au fil des ans, auraient réalisé leur rapport et leurs annotations sur la plateforme, il serait possible d'observer directement un type de dégradation et son évolution. Ainsi, comme présenté ici, si on souhaitait observer la variation de l'emplacement des algues sur la statue, on pourrait simplement afficher les calques correspondants. Il ne serait donc pas obligatoire de parcourir tous les rapports précédents lorsque nous serions à la recherche d'une information précise. Nous n'aurions pas à sillonner toutes les informations pour en trouver une seule. Cela permettrait donc un gain de temps et une lisibilité plus grande. Ainsi, il serait possible de mieux mesurer l'évolution des dégradations.

RESTAURATIONS ANCIENNES	RESTAURATION 1999	RESTAURATIONS SOUHAITABLES
<ul style="list-style-type: none"> - greffes de pierre (Pierre des Estailades, calcaire blanc) - collages divers - ragréages de couleur orange abricot faits au ciment prompt, de type ciment « Valentine » 	<ul style="list-style-type: none"> - nettoyage manuel et mécanique des poussières, mousses, lichens par brosse souple et aspiration - traitement biocide appliqué, rinçage à la vapeur - pré consolidation au silicate d'éthyle par vaporisation et application au pinceau - purge manuelle des goujons oxydés, ragréages au ciment et des joints - micro gommage pour éliminer les croutes noires - consolidation au silicate d'éthyle des parties fragiles par pulvérisation, injection ou au pinceau - collage à la résine époxydique par injection dans les fissures importantes - moulinage d'un lait de chaux dans les joints les plus profonds - réfection et réalisation de ragréages à la chaux avec dans certains cas utilisation d'un liant acrylique, après mise en place de goujons et ligatures en acier inoxydable sous des ragréages de plus de 2cm d'épaisseur - platine d'harmonisation appliquée, à base de chaux aérienne, fixée par une résine acrylique et qui assure aussi une légère hydrofugation de surface 	<p>d'après le rapport de Philippe Bromblet :</p> <ul style="list-style-type: none"> - nettoyage biocide à réappliquer - nettoyage des ré-encrassements qui apparaissent à nouveau (statue été) - traitement préventif tous les deux ou trois ans / traitement superficiel de protection sacrificiel (badigeon à la chaux pure) - mise à l'abri recommandée pour les statues automne et été

Tableau : les restaurations de la statue



De gauche à droite : photographie en 1999 ; avant restauration ; après restauration et en 2011

Extrait du rapport de Philippe Bromblet, « Etude de l'état de conservation de la statuaire et de son évolution depuis 2011, préconisations générales ».

c. Les restaurations

En plus des dégradations subies par la statue, la question des restaurations qu'elle a connues semble tout aussi importante. Sur ce cas d'étude, une seule restauration a été effectuée pendant la période contemporaine. Cette dernière a eu lieu en 1999, après la réalisation du constat d'état³³. Les différents traitements et opérations réalisées à l'époque ont été consignées dans le tableau ci-contre. Depuis, les constats réalisés en 2011 en 2018 n'ont pas entraîné de rénovations, bien que des recommandations pour l'avenir de la statue aient été données. On note également que des restaurations anciennes ont été réalisées au fil du temps, à mesure que la statue se dégradait, comme évoqué précédemment dans le mémoire.

On pourrait également imaginer que le principe de cartographie adopté pour représenter les dégradations et les matériaux de la statue, pourrait être appliqué pour les restaurations faites au fur et à mesure des années. Cela pourrait cependant être plus compliqué que pour les domaines d'études précédents, puisque les traitements préventifs, l'application de couches protectrices ou les nettoyages peuvent souvent être réalisés sur la statue entière. Ce système de cartographie pourrait donc être moins lisible que pour traiter des dégradations. En effet, beaucoup de sélections se superposeraient donc, et brouilleraient la lecture du document. Il serait alors plus parlant de les afficher une par une, afin de prendre davantage la mesure de la surface et de l'emplacement de chacune des actions effectuées.

Sans avoir le rapport du restaurateur, il était ici trop compliqué de faire une simulation de ce à quoi pourrait ressembler une telle cartographie, sans faire d'hypothèses risquant d'être erronées. Il semblait donc préférable d'en établir simplement la liste pour le moment. Cependant, ce travail pourrait être approfondi et poursuivi au semestre prochain lors de l'élaboration du TPER.

D'autre part, on pourrait penser faire aussi ce travail de cartographie pour exposer les restaurations souhaitables pour une statue. Dans ce cas précis, cela ne semble cependant peut être pas nécessaire, puisque comme dans le cas précédent, les précautions recommandées ne sont que rarement locales. Sur une statue telle que «l'été» en revanche, sur laquelle on observe des encrassements, il pourrait être utile de cartographier ces zones à nettoyer. Comme évoqué précédemment, cela pourrait être une hypothèse à vérifier lors du TPER. Dans le cas le «l'automne» en revanche, sur laquelle un nettoyage biocide ainsi qu'un traitement préventif appliqué tous les deux ou trois ans sont recommandés, cette cartographie ne semblerait pas apporter d'information nouvelle, et ces recommandations peuvent tout à fait être simplement évoquées à la fin d'un rapport, tel qu'actuellement, sans que l'étude ne s'en trouve appauvrie d'une quelconque façon.

³³ Vallet et Mérindol, « Impact de la restauration de quatre statues du jardin de la Magalone (Marseille, France) après douze années de conservation in situ ».

3. Les conclusions du diagnostic numérique

a. Aïoli : les possibilités et améliorations potentielles

Cet exercice de cartographie a montré qu'un logiciel tel qu'Aïoli pourrait être un véritable atout dans l'évolution du diagnostic des statues, une fois que ce dernier serait accessible au grand public, et à condition de quelques modifications et enrichissements des options proposées par le logiciel.

Certaines de ces modifications impliquent simplement la résolution de bugs dans l'affichage des points, les polygones de petite taille ou encore dans l'affichage des contours des zones, comme évoqué dans le cas du calque «matériaux».

D'autre part, une fois la nouvelle version d'aïoli mise en ligne, la maniabilité du logiciel ne pourra rendre que plus simple l'annotation pour les experts. En effet, l'ajout de l'outil ligne ou encore la possibilité d'importer son propre nuage de points nettoyé de son contexte permettront d'avoir une zone de travail plus lisible et de ne pas avoir à imaginer devoir créer des masques pour chacune des photographies. De plus, certaines modifications qui semblent anodines, sont nécessaires pour que cet outil soit vraiment adapté à une utilisation professionnelle. Le fait de ne pas pouvoir renommer un calque en est un exemple. En effet, en cas d'erreur sur le nom d'une zone désignée, que ce soit par un diagnostic précédent, ou une faute au moment de créer l'annotation, il semble que retracer la zone entière soit une perte de temps, qui à terme pourrait décourager les utilisateurs. Il en va de même pour l'utilisation de la palette de couleur, qui ne permet actuellement pas de sélectionner facilement une couleur déjà présente sur la carte. Ainsi, pour signaler un même problème sur des calques différents, il est pour le moment nécessaire de faire une approximation de cette dernière. Enfin, il serait nécessaire de pouvoir ajouter une zone à une zone précédemment définie, ou tout du moins de pouvoir reprendre les contours, les étirer les modifier. Cela autoriserait par exemple, sur le calque des matériaux, à dessiner une zone à l'avant de la statue et une à l'arrière pour une même pierre, afin que sur le nuage de points, cette zone soit continue.

Tous ces éléments sont cependant déjà pris en compte par les développeurs d'aïoli, qui ont déjà comme projet, de remédier à ces problèmes et bugs, qui sont des étapes naturelles dans le développement d'un logiciel.

Cependant, certaines fonctionnalités manquent aujourd'hui au logiciel dans le cas où l'on voulait vraiment réaliser un travail de cartographie lisible et reprenant les codes des professionnels de la restauration.

Tout d'abord, dans le cas où les statues étudiées seraient de plus grande taille que

celles de ce cas d'étude, ou si celles-ci présentaient des détails remarquables, le jeu de photographies se trouverait être bien plus conséquent que celui utilisé ici. La plateforme Aïoli aurait pour le moment du mal à le calculer, et la réduction du nombre de photo pourrait entraîner une perte d'information ainsi qu'un nuage aux points trop éparses. Il serait donc important de pouvoir augmenter de manière significative la capacité maximale que puisse atteindre un projet, qui pour rappel, est actuellement limité à 800Mo.

Concernant les annotations, il serait par exemple intéressant d'avoir la possibilité d'aposer des aplats de motifs tels que des petites croix, des points ou des hachures. En effet, en réalisant les cartes sur photoshop, il est vite apparu que le fait d'utiliser uniquement des aplats couleur finissait par rendre la lecture plus confuse. De même, des aplats de motifs permettraient de distinguer les différents groupes de dégradations, ou de mieux voir quand des zones se superposent les unes aux autres.

De plus, la question de l'exportation du document se pose. L'avantage du logiciel est de pouvoir se suffire à lui-même, qui est à terme l'objectif ici. Ainsi, en se connectant, on aurait toutes les informations nécessaires, la possibilité de voir ce qui a été fait précédemment, et d'annoter à son tour. En revanche, certaines circonstances obligeront forcément à extraire des documents du logiciel : cela pourrait être le cas si des diagnostics étaient réalisés dans le cadre d'une opération grande, s'il fallait rédiger un document papier ou encore une présentation en diaporama. Il semblerait alors intéressant de pouvoir exporter une légende correspondant à un dossier. On pourrait également imaginer pouvoir exporter une photographie désignée, à laquelle serait jointe la légende correspondant à tous les calques visibles sur la photographie en question. En effet, pour le moment, il est nécessaire d'effectuer des captures d'écran du travail effectué, et d'y créer une légende, ce qui constitue également une perte de temps pour l'utilisateur.

La question de la présentation du nuage de points reste quant à elle un défi, puisqu'il est difficile de retranscrire ce document en 3 dimensions. Alors que le pdf 3D reste une possibilité pour présenter ces objets et les manipuler, ce dernier est complexe à générer et à manipuler. Il ne semble donc pas raisonnable de demander à des professionnels de se heurter à ce dernier, puisque l'idée dans cette problématique serait, en plus d'enrichir et de communiquer ce travail, de le faciliter, en le rendant notamment plus rapide. Par conséquent, le meilleur moyen semble actuellement de se connecter au logiciel et d'en manipuler directement le nuage de points. Cela pose cependant des questions : en accédant actuellement au projet, il est possible de le supprimer ou le modifier librement. N'étant pas à l'abri d'une erreur humaine, la communication des codes d'accès présenterait donc un risque de perte des données. Un accès pour des utilisateurs «spectateurs» pourrait alors être intéressant, en autorisant celui qui se connecte à naviguer à travers le sujet d'étude, les photographies et le nuage de points, sans avoir pour autant l'autorisation de le modifier.

b. Le diagnostic numérique : une méthode innovante pour faire progresser le diagnostic des statues

Malgré le fait que les logiciels et plateformes disponibles ne soient pas encore utilisables en l'état, il semble que ces outils permettent de faire un pas énorme vers la multiplication et la démocratisation des diagnostics numériques. En permettant une meilleure visualisation que le texte pour des zones qui doivent être décrites, ils semblent permettre une compréhension plus rapide des oeuvres à étudier. Ce gain de temps peut être remarquable avant même d'effectuer un diagnostic : on pourrait ainsi se connecter à la plateforme, visualiser ce qui a été fait, et le comparer directement avec nos propres observations. De plus, de tels outils semblent être en mesure de faire gagner du temps lors de certaines expertises, en permettant de reprendre un diagnostic là où il avait été laissé, et s'appuyer sur un nuage de points créé par le passé.

Comme évoqué brièvement précédemment, cette forme d'annotation permet de faire émerger une utilisation innovante des données récoltées. Ainsi, le fait de pouvoir observer directement un type de dégradation à différents moments de l'existence de la statue, permettrait de croiser directement les différents rapports établis au fil du temps. Ainsi, il ne serait pas nécessaire d'aborder toujours l'oeuvre sculptée en partant d'une date donnée, puis en détaillant les caractéristiques, mais bien de créer des entrées thématiques. Les bénéfices plus larges de l'outil numérique pour le diagnostic des statues seront évoqués en conclusion de ce mémoire.

c. Les limites actuelles à la démocratisation du diagnostic numérique

Comme évoqué précédemment dans le mémoire, une acquisition photogramétrique nécessite cependant une certaine méthodologie ainsi qu'un matériel approprié. Il est donc nécessaire pour en réaliser une, d'effectuer une courte formation ou d'avoir l'assistance d'une personne qualifiée. Il n'est pas possible d'improviser dans le domaine. De même, selon la situation, la taille de l'objet étudié, il peut être nécessaire d'utiliser une perche pour réaliser les acquisitions. Les éventuels objets présents sur le site peuvent également être un frein à la démocratisation de ce procédé. Une formation des experts intéressés serait donc nécessaire, dans le cas inverse cette acquisition devrait être effectuée par une personne extérieure.

Quels souhaits et avenir pour l'outil numérique dans le diagnostic des statues ?

L'apparition des outils informatiques semble avoir accompagné une transformation de la pratique de la restauration et du diagnostic. L'importance de la réversibilité et du respect de l'oeuvre d'origine semble grandissante, et est permis par l'apparition de ces outils qui permettent d'en apprendre plus sur les oeuvres. Ainsi, en ayant une meilleure connaissance de l'oeuvre et des dangers auxquels elle est exposée, on souhaite également la protéger davantage. L'exigence envers les interventions réalisées semble alors grandissante. L'outil numérique permet une meilleure connaissance de l'oeuvre à plusieurs niveaux :

- au niveau historique tout d'abord : en observant les types de marbres en lame fine au microscope, on peut ainsi en apprendre la provenance. De plus, l'élaboration de maquettes et de squelettes 3D peuvent permettre de retrouver les postures d'origine de statues incomplètes aujourd'hui.
- au niveau statique ensuite : les efforts, les fissures, les dommages subis et les risques sismiques pour l'oeuvre peuvent être mieux appréhendés grâce aux mesures ultrasons ou à l'étude de la répartition des efforts dans les modèles 3D.

La discipline du diagnostic et de la rénovation d'oeuvres sculptées devient alors le plus en plus pluridisciplinaire, et s'ouvre autant aux professionnels de la restauration ayant bâti un savoir empirique et artisanal au fil des siècles, qu'aux ingénieurs et mécaniciens mettant en place des analyses scientifiques. Ces transformations et connaissances nouvelles de l'oeuvre permettent également de militer pour un plus grand respect des oeuvres, en permettant d'employer une quantité de matière réduite, ou des procédés d'assemblages qui ne nécessitent plus forcément de câbles ou de goujons traversant la statue.

Néanmoins, ces procédés encore coûteux et longs peuvent encore être démocratisés davantage, notamment en les rendant plus accessibles et maniables par les professionnels. Ainsi, le développement de plateformes telles que C3DC ou aïoli ouvrent de belles perspectives quant à la systématisation de procédés, en proposant à la fois de construire un nuage de points et d'annoter ce dernier ainsi que des photographies, grâce à un système élaboré de calques et d'aplats de couleur.

En effet, le développement de ces modes de fonctionnement pourrait d'abord, comme évoqué précédemment, enrichir le diagnostic, même des oeuvres les moins reconnues, et en faciliter la lecture. De plus, il pourrait à terme mener à la création d'une importante base de données en ligne. Cette dernière pourrait évoluer au fil des analyses réalisées, mais également permettre une comparaison des oeuvres entre elles. Ainsi, ce type d'annotation pourrait être utile aux constats d'état de statues, au suivi des dégra-

dations, et pourrait permettre de décider ou non de la nécessité d'une intervention sur certaines oeuvres. En effet, comme observé lors de l'étude du diagnostic de la statue du David, certaines annotations des fissures ont été réalisées sur des photographies grâce à photoshop. On pourrait imaginer que ces annotations auraient pu être réalisées sur Aioli, afin d'observer leur emplacement en 3D, sur le nuage de points et l'entièreté des photographies. Quelques années plus tard, un nouveau relevé des fissures aurait pu être réalisé, et comparé avec le précédent afin de statuer sur la nécessité d'une intervention. Ainsi, la plateforme constituerait donc un point de départ à une potentielle rénovation.

De plus, ces procédés permettraient de sauvegarder une mémoire et un savoir sur ces oeuvres, notamment dans le cas où certaines seraient plus tard endommagées ou détruites. Une fois de plus, le savoir qui aurait pu y être accumulé pourrait servir de support à un travail de reconstruction, ou simplement se manifester comme une trace restante de l'oeuvre.

Un des enjeux majeurs du développement de ces plateformes se trouvera ensuite dans la communication de ses informations et de ses documents, à la fois envers les professionnels, mais également au grand public. En effet, il est parfois difficile de rendre compte de la richesse des savoirs que fournit le nuage de points dense et ses annotations sur une oeuvre, avec une capture d'écran.

Ces outils nombreux n'ont donc pas fini de progresser. Ces derniers se développent aujourd'hui de plus en plus vite, et les progrès effectués entre des projets actuels et des projets datant d'il y a seulement 10 ou 15 ans, laissent présager que ce développement ne fait que commencer. Difficile donc de savoir ce qu'il sera possible de faire dans quelques années, quelques décennies. Il nous appartient donc de se saisir de ces questions en cette période de bouleversements, et de nous interroger sur les apports de ces outils, de leur but à atteindre et de nos souhaits quant à l'évolution de la pratique dans les années à venir.

Articles l'outil numérique

Bagnéris, Marine, Fabien Cherblanc, Philippe Bromblet, Eloi Gattet, Léonard Gügi, Nicolas Nony, Vincent Mercurio, et Anthony Pamart. « A Complete Methodology for the Mechanical Diagnosis of Statue Provided by Innovative Uses of 3D Model. Application to the Imperial Marble Statue of Alba-La-Romaine (France) ». *Journal of Cultural Heritage* 28 (novembre 2017): 109-16. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.05.002>.

Barthe, Georges, et Didier Besnainou. « Restauration de l'effigie-portrait de Caius Ofellius Ferus à Délos ». *Bulletin de correspondance hellénique* 112, no 1 (1988): 413-32. <https://doi.org/10.3406/bch.1988.1753>.

Borri, A., et A. Grazini. « Diagnostic Analysis of the Lesions and Stability of Michelangelo's David ». *Journal of Cultural Heritage* 7, no 4 (octobre 2006): 273-85. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2006.06.004>.

Bourgeois, Brigitte. « À propos de la restauration des marbres antiques du Louvre, méthodologie de l'intervention et résultats ». *Comptes-rendus des séances de l'année - Académie des inscriptions et belles-lettres* 141, no 1 (1997): 144-55. <https://doi.org/10.3406/crai.1997.15713>.

Coignard, Benoit, et Sandrine Coignard. « RAPPORT NEPTUNE.pdf ». Rapport d'intervention, avril 2009.

« culture.gouv, fiche des monuments inscrits, la villa magalone ». Consulté le 16 décembre 2018. http://www2.culture.gouv.fr/public/mistral/merimee_fr

Riccardelli, Carolyn, Michael Morris, George Wheeler, Jack Soutanian, Lawrence Becker, et Ronald Street. « The Treatment of Tullio Lombardo's Adam : A New Approach to the Conservation of Monumental Marble Sculpture ». *Metropolitan Museum Journal* 49 (janvier 2014): 48-116. <https://doi.org/10.1086/680027>.

Digital heritage 2013

Barsanti, S. Gonizzi, L. L. Micoli, et G. Guidi. « Quick Textured Mesh Generation for Massive 3D Digitization of Museum Artifacts ». In *2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*, 197-200. Marseille, France: IEEE, 2013. <https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2013.6743732>.

Frischer, Bernard. « The Niobid Project: Digital Modeling and Restoration of a Complex Sculptural Group at Hadrian's Villa ». In *2013 Digital Heritage International Congress*

(*DigitalHeritage*), 383-86. Marseille, France: IEEE, 2013. <https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2013.6743763>.

Lorenzini, Cristian, Marcello Carrozzino, Franco Tecchia, et Massimo Bergamasco. « Automatic Creation of Bas-Relieves from Single Images ». In *2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*, 417-20. Marseille, France: IEEE, 2013. <https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2013.6743771>.

Lu, Min, Yujin Zhang, Bo Zheng, Takeshi Masuda, Shintaro Ono, Takeshi Oishi, Kyoko Sengoku-Haga, et Katsushi Ikeuchi. « Portrait Sculptures of Augustus: Categorization via Local Shape Comparison ». In *2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*, 661-64. Marseille, France: IEEE, 2013. <https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2013.6743812>.

Lulof, P. S., L. Opgenhaffen, et M. H. Sepers. « The Art of Reconstruction: Documenting the Process of 3D Modeling: Some Preliminary Results ». In *2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*, 333-36. Marseille, France: IEEE, 2013. <https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2013.6744774>.

Manuel, A., E. Gattet, L. De Luca, et P. Veron. « An Approach for Precise 2D/3D Semantic Annotation of Spatially-Oriented Images for in Situ Visualization Applications ». In *2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*, 289-96. Marseille, France: IEEE, 2013. <https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2013.6743752>.

Statue de l'empereur à Alba la romaine

Bagnéris, Marine, Eloi Gattet, Léonard Gügi, Nicolas Nony, Fabien Cherblanc, Philippe Bromblet, Vincent Mercurio, et al. « Etude et évaluation des possibilités de redressement de la statue de l'Empereur », 5 mai 2015.

Bagnéris, Marine, Fabien Cherblanc, Philippe Bromblet, Eloi Gattet, Léonard Gügi, Nicolas Nony, Vincent Mercurio, et Anthony Pamart. « A Complete Methodology for the Mechanical Diagnosis of Statue Provided by Innovative Uses of 3D Model. Application to the Imperial Marble Statue of Alba-La-Romaine (France) ». *Journal of Cultural Heritage* 28

Thèses

Michel, Laura. « Méthodologie d'analyse structurelle et de restauration d'œuvres sculptées ». université d'Orléans, 2013.

Manuel, Adeline, «Annotation sémantique 2D/3D d'images spatialisées pour la documentation et l'analyse d'objets patrimoniaux», thèse de doctorat en Science des Métiers de l'ingénieur, sous la dir. de Livio DE LUCA, Paris, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, 2016.

Les jardins de la Magalone et les statues des quatre saisons

Bromblet, Philippe. « Etude de l'état de conservation de la statuaire et de son évolution depuis 2011, préconisations générales ». Marseille, France, 28 mai 2018.

Jardins d'histoire, et sce ateliers up+. « Jardin de la Magalone, élaboration d'un plan de gestion ; Phase 2, diagnostic de l'état actuel ». Marseille, France, 27 avril 2018.

Vallet, Jean-Marc, et Pierre Mérindol. « Impact de la restauration de quatre statues du jardin de la Magalone (Marseille, France) après douze années de conservation in situ ». CICRP, s. d.

Sculpteurs : Christophe Veyrier et Pierre Puget

AGORHA. « Notice, Christophe Veyrier.pdf », 2018.

AGORHA. « Notice, Pierre Puget.pdf », 2018.

« Joconde - catalogue - dictionnaires ». Consulté le 28 novembre 2018. http://www2.culture.gouv.fr/public/mistral/joconde_fr

Lagrange, Léon. *Pierre Puget, peintre, sculpteur, architecte, décorateur de vaisseaux*. Didier et compagnie, Libraires-Éditeurs. Paris, 1868.

P. Lerot. *Les gloires maritimes de la France notices biographiques sur les plus célèbres marins*. Bertrand, 1866. http://archive.org/details/bub_gb_08O_XGLO43QC.

Pierre Puget : peintre, sculpteur, architecte 1620-1694. Musée de Marseille, Réunion des musées nationaux. Marseille, France, 1994.

Photographies

Guillon, Odile. « photos CICRP », 2011.

Roussel, Roxane. « Deux acquisitions photogrammétriques de la statue "Automne" », novembre 2018.

Plateforme C3DC

Pamart, A., & Alliez, P. (2016, December). Live presentation of Culture 3D Cloud (C3DC) platform. Presented at the PARTHENOS Workshop Digital 3D objects in Art and Humanities: challenges of creation, interoperability and preservation, Bordeaux. Retrieved from https://www.canal-u.tv/video/humanum/live_presentation_of_culture_3d_cloud_c3dc_platform.34039

Alliez, P., Forge, F., De Luca, L., Pierrot-Deseilligny, M., & Preda, M. (2017). Culture 3D Cloud: A Cloud Computing Platform for 3D Scanning, Documentation, Preservation and Dissemination of Cultural Heritage. *ERCIM News*, (111), 64. Retrieved from <https://ercim-news.ercim.eu/en111/special/culture-3d-cloud>