

Proposition d'un suivi numérique centralisé de l'état de conservation et de restauration d'une statue

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



Roxane Roussel // TPER
ENSA Marseille // Année 2018-2019

Je tiens avant tout à remercier Marine Bagnéris pour son encadrement tout au long de l'année, Livio de Luca, Philippe Bromblet et Odile Guillon pour les documents transmis et les conseils précieux, les ingénieurs Anas Alaoui M'Darhri, Adeline Manuel et Anthony Pamart pour leur aide concernant la plateforme aïoli, ainsi que toute l'équipe du MAP-gamsau pour leur accueil chaleureux pendant mon stage.

Source photographie de couverture : Odile Guillon, CICRP (2011)

INTRODUCTION

I LE DIAGNOSTIC AUJOURD'HUI ET SES PERSPECTIVES 9

1. L'outil numérique : un changement des pratiques dans le diagnostic et la restauration 11

- a. De l'approche traditionnelle du diagnostic aux possibilités actuelles 11
 - L'approche traditionnelle du diagnostic et de la restauration d'œuvres sculptées 11
 - Des premières expériences exploitant les outils numériques 15
 - Les possibilités de l'outil numérique aujourd'hui 17
- b. Une nouvelle vision de la discipline qui rencontre des limites 24
 - Des limites matérielles et des savoirs encore peu répandus 24
 - La question de l'exploitation des données 24
 - Une nouvelle vision de la discipline 25

2. Un but à atteindre 26

- a. Première étape dans la création de nouveaux échanges : un vocabulaire commun 26
 - Une meilleure communication dans le cadre de l'interdisciplinarité grandissante 26
 - L'enjeu du développement d'un vocabulaire commun 27
- b. Vers une plateforme numérique de suivi 28
 - La question du vocabulaire au service d'un suivi centralisé des œuvres sculptées 28
 - Les travaux précédemment effectués sur cette question 29

3. La question du vocabulaire aujourd'hui 31

- a. Différents vocabulaires existants : définitions et exemples 31
 - Définitions et état de l'art des vocabulaires existants 31
 - Une difficulté de corrélation des vocabulaires 34
- b. Les possibilités du numérique : définition du principe d'ontologie 39
 - Origine du terme et étymologie 39
 - Définition de l'ontologie en informatique 39
 - Les différents types d'ontologie 41

II L'ETUDE DE CAS : LES STATUES DE LA MAGALONE 43

1. Cas et lieu d'étude 45

- a. Les jardins de la Magalone 45
 - L'histoire des jardins 45
 - Les jardins aujourd'hui 47
 - Le statuaire des jardins 49
- b. Les statues des quatre saisons 53
 - Description et histoire des statues 53
 - Choix pour l'étude de cas : la statue «L'automne» 55
 - Un sculpteur inconnu pour ces statues 57

2. Un diagnostic cartographié grâce à la photogrammétrie 59

- a. l'acquisition photogrammétrique 59
 - Méthode d'acquisition 59
 - Exploitation de l'acquisition 61
 - Définition du cadre de travail : utilisation d'aïoli en version de janvier 2019 65
- b. Les matériaux de la statue 67
 - Description des matériaux 67
 - Des difficultés pour annoter sémantiquement sur la plateforme 69
- c. Les dégradations de la statue 71
 - Les difficultés d'annotation 71
 - Les cartographies 71
- d. Les restaurations 83
 - Une indication des restaurations souhaitables 83

- Un modèle pour cartographier les restaurations effectuées	83
3. Bilan du diagnostic numérique	85
a. Conclusions du diagnostic réalisé	85
- Aïoli : les possibilités et améliorations potentielles	85
- Le diagnostic numérique : une méthode innovante	87
- Les limites actuelles à la démocratisation du diagnostic numérique	87
b. Le fonctionnement actuel de la plate-forme aïoli	88
- Résolution de bugs entre les deux versions	88
- Une version bientôt accessible au public	91
III . DEFINITION DE L'ONTOLOGIE	93
1. Phase de documentation : définition d'un vocabulaire contrôlé	94
a. Une situation expérimentale	94
- Objectif de l'étude	94
- Définition d'une ontologie pour un seul objet	95
b. Choix des termes	97
- Un point de départ : la question du vocabulaire pendant les cartographies	97
- Choisir les termes : quelles sont leurs composantes ? Quelles sont leurs sources ?	99
- Liste exhaustive des termes	101
c. Définitions des termes	103
- Les altérations environnementales et humaines	109
- Les composants	109
- Technique de réalisation	112
- Thématique	113
2. Phase de structuration	115
a. Les propriétés de l'ontologie	115
- Propriété fonctionnelle et fonctionnelle inverse	115
- Propriété transitive	115
- Propriété symétrique et asymétrique	117
- Propriété réflexive et irreflexive	117
b. Le modèle CIDOC-CRM	119
c. Conception d'une représentation non-taxonomique	121
- Définitions des classes de description	121
- Modélisation conceptuelle des champs de connaissance : processus et modélisation	121
d. Proposition de schémas conceptuels	125
- «Thématique»	125
- «Matériau»	125
- «Technique de réalisation»	127
- «Statue»	127
- «Altération»	129
- Synthèse	129
3. Bilan critique	133
a. Quelle suite pour la construction de cette ontologie ?	133
- Une application au domaine entier	133
- La fusion avec CIDOC-CRM	133
- Une intégration à aïoli pour faire émerger de nouveaux savoirs	133
b. Les limites rencontrées	135
- Un travail chronophage	134
- Une multiplicité d'informations et d'acteurs	134
c. Conclusions de la construction de l'ontologie	135
CONCLUSION	137

Proposition d'un suivi numérique centralisé de l'état de conservation et de restauration d'une statue

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 travail, 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.

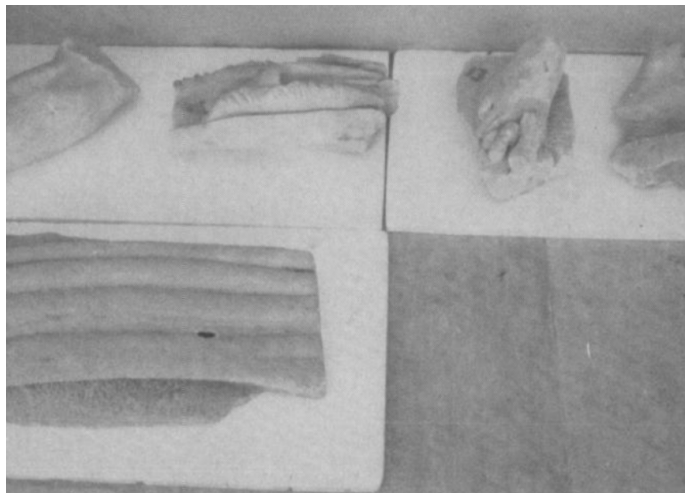
Cette étude pose la question de savoir comment ces outils numériques pourraient être mis au service du diagnostic des statues, afin de les rendre interactifs, évolutifs, et accessibles au plus grand nombre.

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'offre 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 existants ou en cours de développement. Cette première partie 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.

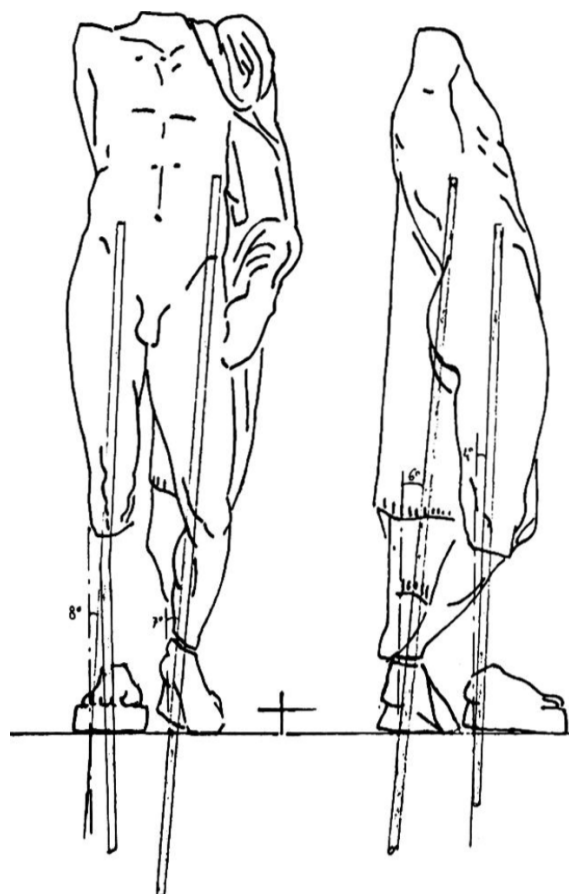
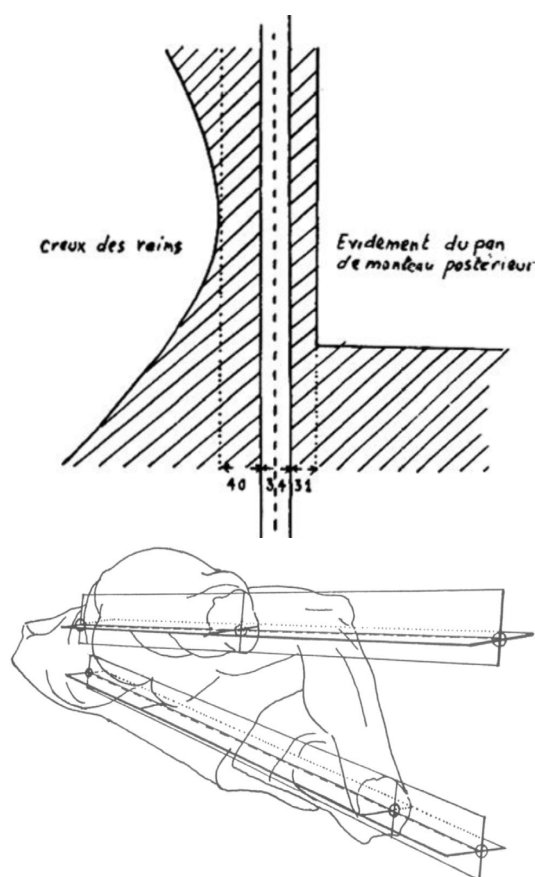
Dans un second temps, est posée la question de savoir comment il est possible de rendre ces outils encore plus performants, et utiles pour tous les professionnels de la restauration. L'étude de cas est alors envisagée sous un nouvel angle : celui du vocabulaire partagé. Il est alors utile de formuler une introduction au concept d'ontologie, afin de mesurer si, déjà à l'échelle d'un seul objet, l'étude des termes et d'un vocabulaire peut en apprendre davantage sur une oeuvre. Ce travail expérimental a alors pour but de mesurer si ces approches très différentes de celles d'une expertise traditionnelle permettent de remettre en question les savoirs ou de les envisager sous un nouveau jour.

I

LE DIAGNOSTIC AUJOURD'HUI ET SES PERSPECTIVES



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 : un changement des pratiques dans le diagnostic et la restauration

a. De l'approche traditionnelle du diagnostic aux possibilités actuelles

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

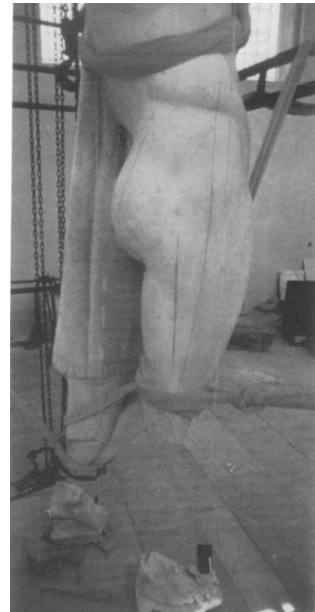
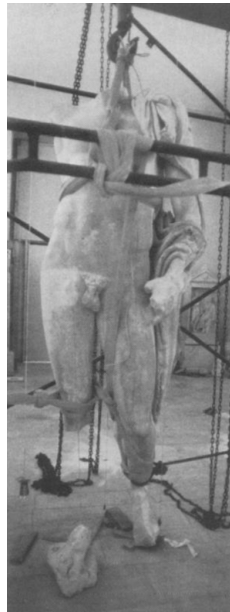
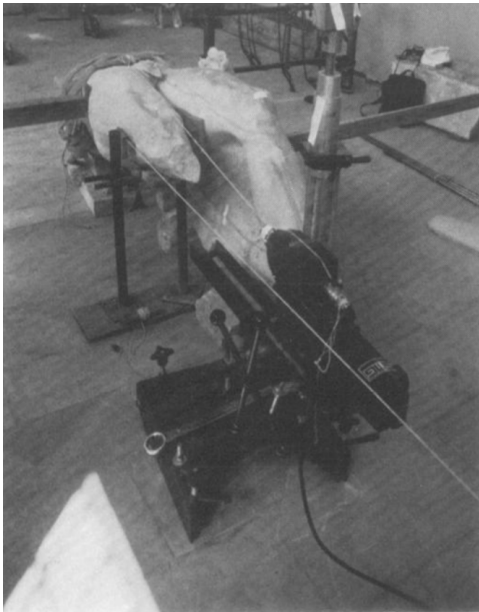
On constate dans tous les domaines scientifiques et culturels, une évolution constante des moeurs. Concernant la restauration, la sauvegarde et la présentation de statues, ces prises de position semblent évoluer face aux constats des échecs qui les précèdent ainsi qu'en fonction des prises de position 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 endormmagé 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

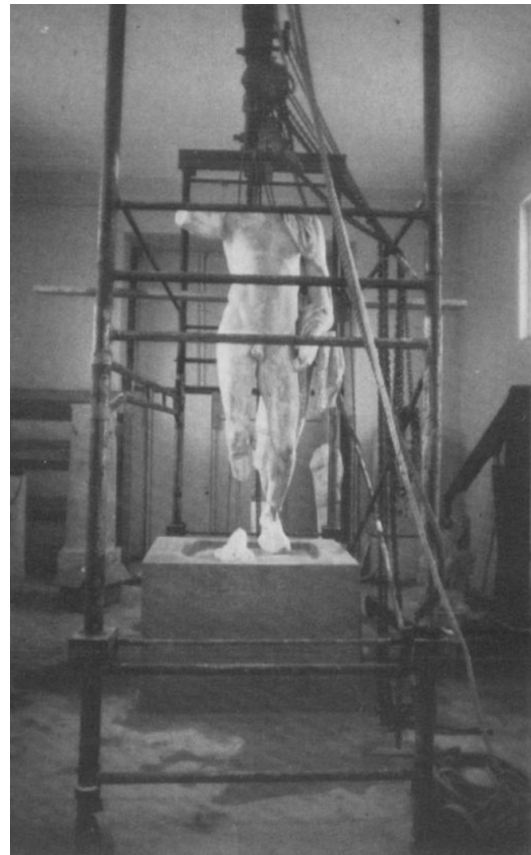
1 p10, Barthe et Besnainou, « Restauration de l'effigie-portrait de Caius Ofellius Ferus à Délos ».

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 principaux 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 points 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

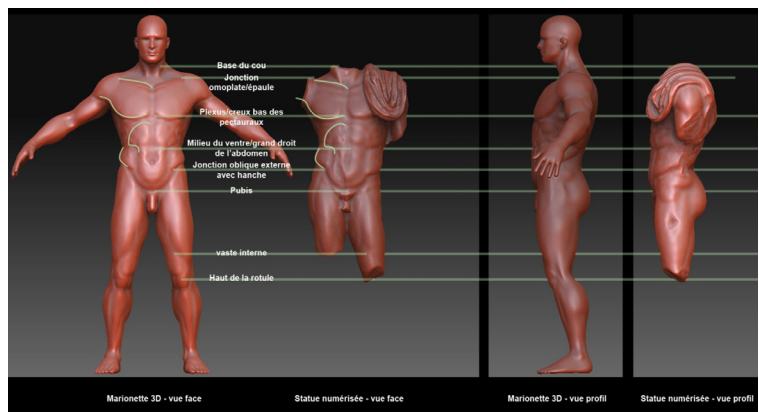
exigences en terme de renforts, d'appuis, etc. Ainsi, on peut adopter une économie de matière, au plus proche de ses besoins minimums pour être consolidée, maintenue, soignée...

- Des premières expériences exploitant les outils numériques

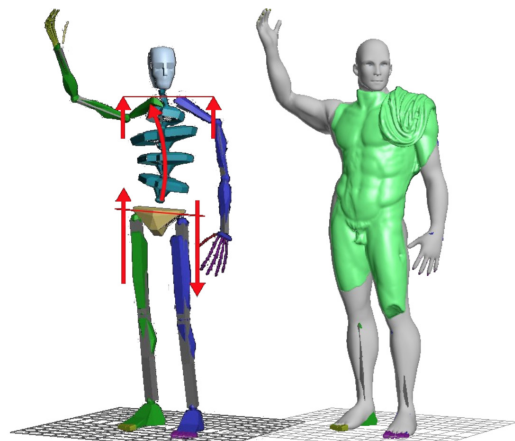
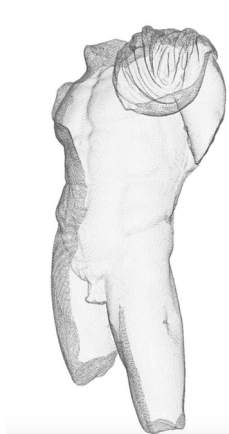
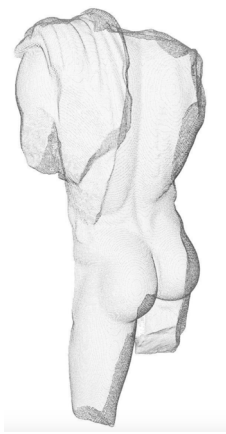
La statue d'Auguste, est, en 1994, la première oeuvre restaurée par simulation informatique préalable.⁶ C'est au musée d'Arles qu'a été réalisée cette première expérience de montage virtuel. Néanmoins, Sandrine et Benoit Coignard témoignent dans leur rapport, de la difficulté à l'époque à convaincre 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.

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

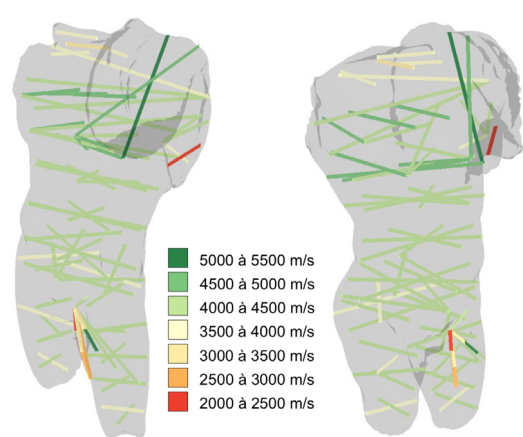
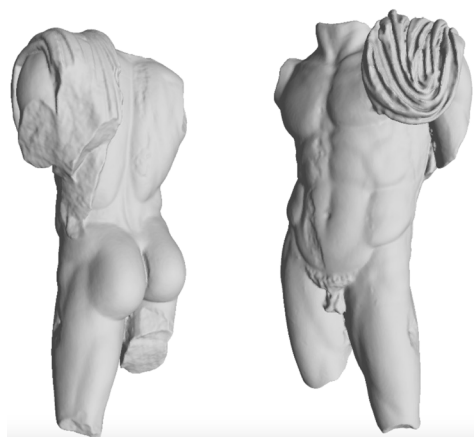


A gauche : La statue de l'empereur lors de son dégagement dans le temple de Bagnols
A droite : Modélisation de la marionnette 3D de la statue de l'empereur dans Zbrush



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

Cependant, cette application a rencontré certaines limites, dues à un temps réduit, et à une technologie et une méthodologie encore inconnue pour certaines exploitations numériques. 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'oeuvres sculptées et une approche scientifique, d'ingénierie. Ce pont semble aujourd'hui bel et bien installé : on peut notamment citer 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 Aïoli.

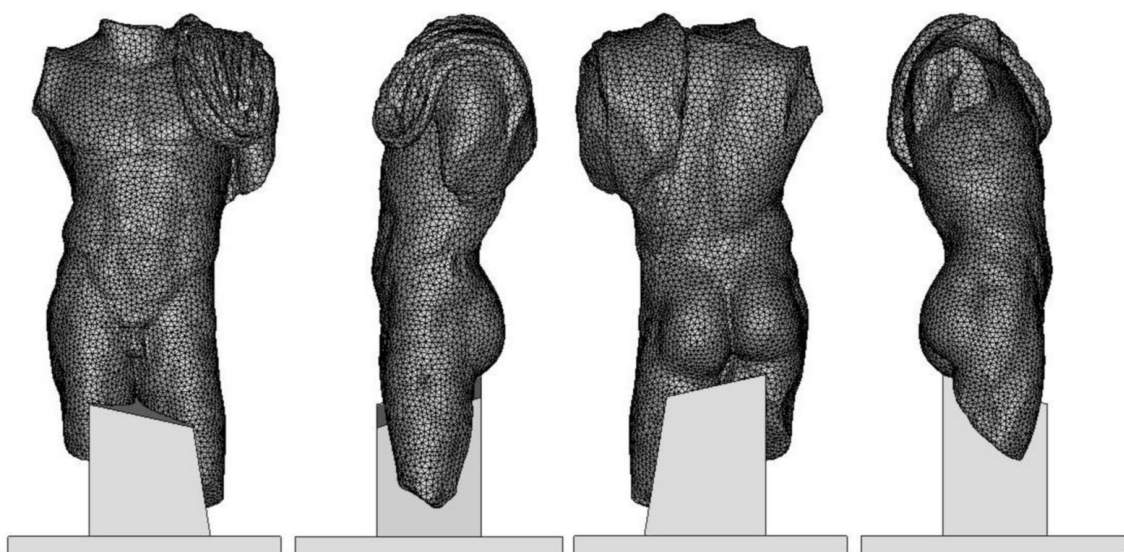
Enfin, évoquant leurs souhaits pour l'avenir de cette technologie, ils mettent parfois assez justement le doigt sur des choses qui seraient réalisées moins de 10 ans plus tard. Ils évoquent par exemple la possibilité que la scannerisation des membres d'un modèle en représentation puisse permettre de 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 dû, 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.

- 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.



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

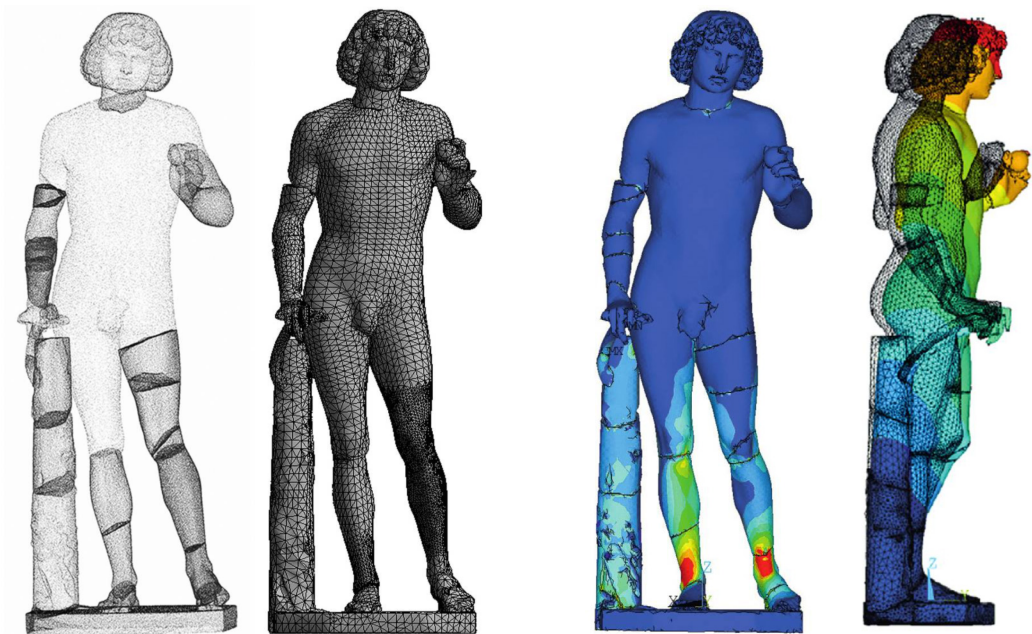
L'acquisition photogrammétrique est d'abord réalisée⁷ afin de réaliser un nuage de points. La statue étant actuellement couchée, il a fallu en réaliser deux : un de la face avant et un de la face arrière. Le logiciel MIC-MAC a ensuite permis de générer des cartes de profondeur, permettant finalement 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.

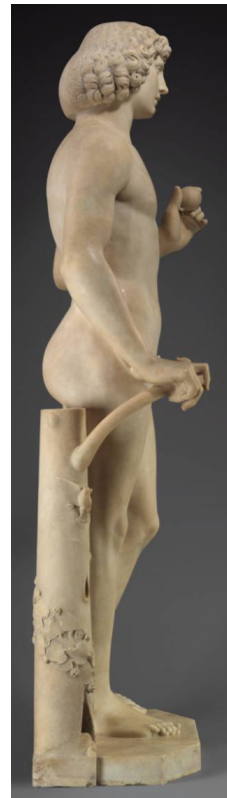
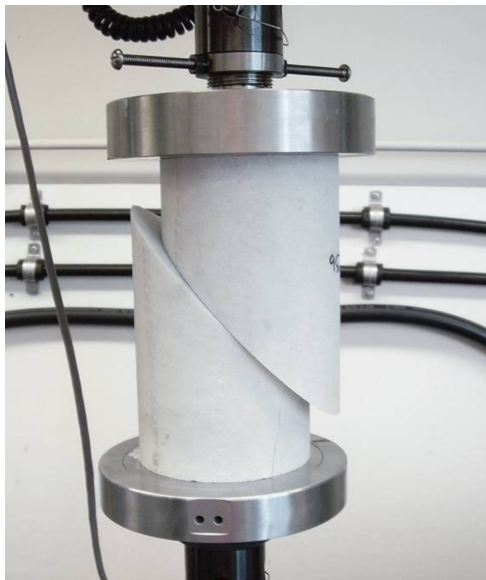
L'enjeu du socle était en revanche grand, en prenant le parti de ne pas réaliser de percement de la statue. Différentes solutions étaient donc envisageables : un enchâssement dans le socle, un carcan au niveau des jambes ou une surface enveloppante. Bien que ces solutions masquent toutes une partie de 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.

⁷ Le principe d'une acquisition photogrammétrique sera détaillée à partir de la deuxième partie de ce travail.



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

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 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.

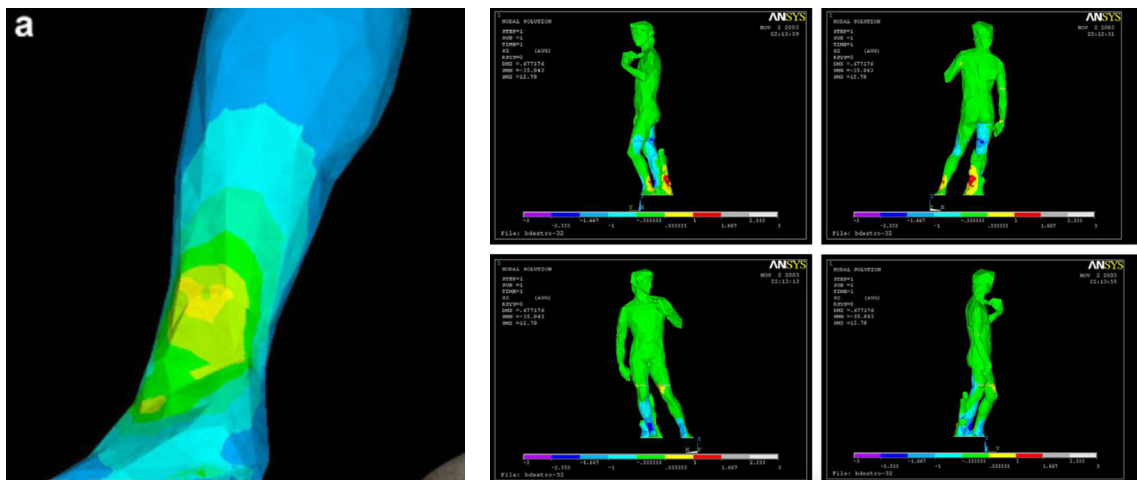
D'autres exemples, montrent en revanche que la pluridisciplinarité peut permettre de sauver des statues endommagées ou même effondrées. On peut citer parmi eux la reconstruction de la statue D'adam de Tullio Lombardo⁸. Cette dernière, brisée en 28 morceaux et fragments multiples depuis l'effondrement 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.

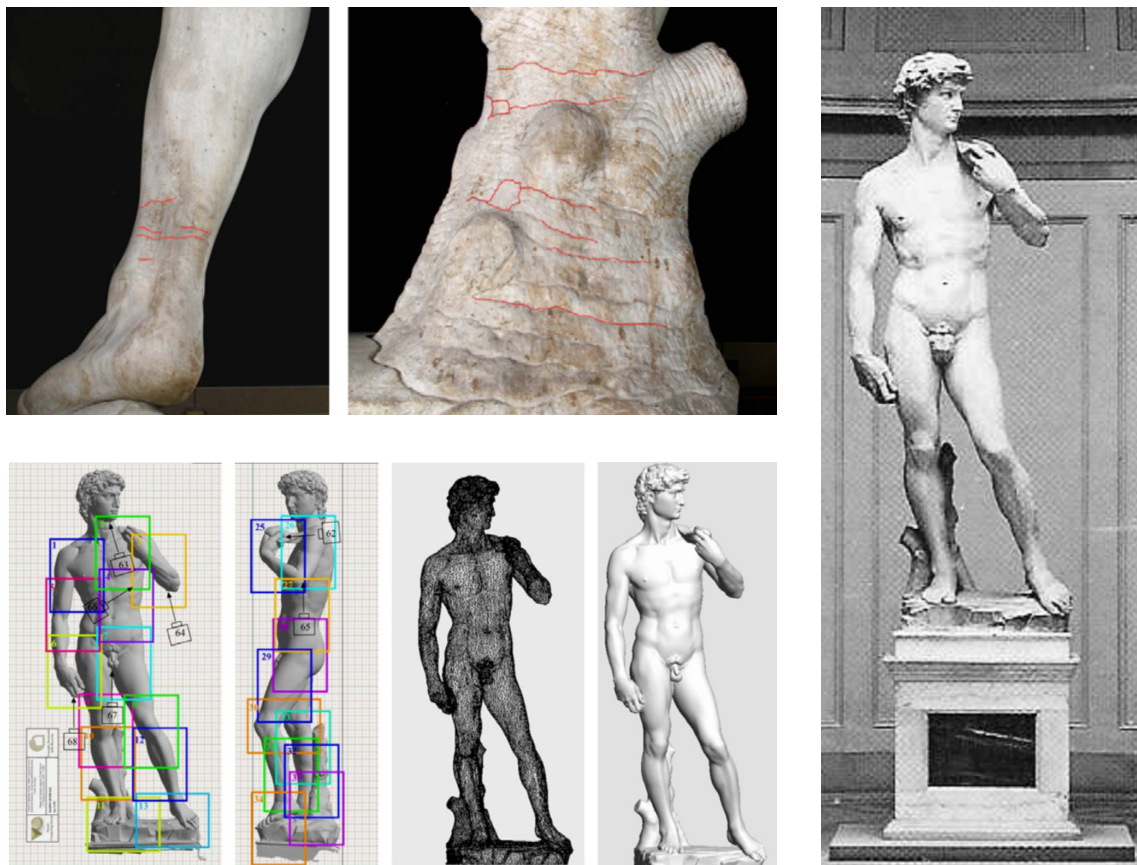
La conclusion du rapport de restauration évoque elle-même le fait qu' *«Il peut être évident que l'aspect multidisciplinaire de ce projet a été important pour son succès, mais il est peut être encore plus important de souligner l'importance de créer des connections fonctionnelles entre et au sein des 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

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, 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

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 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 XIX^{ème} 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.

b. Une nouvelle vision de la discipline qui rencontre des limites

- 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 aïoli¹¹. 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.

- 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 II du mémoire, à partir de la page 61.

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.

- 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 transformées, 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, 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.

2. Un but à atteindre

a. Première étape dans la création de nouveaux échanges : un vocabulaire commun

- Une meilleure communication dans le cadre de l'interdisciplinarité grandissante

Face au développement de cette pluridisciplinarité dans le domaine du diagnostic et de la rénovation, se pose alors une question très contemporaine : celle de la communication, de l'échange entre les différents partis. Les restaurateurs, conservateurs, scientifiques et ingénieurs échangent désormais quotidiennement. Pourtant, leurs formations différentes peuvent les conduire à des incompréhensions, dues à l'emploi de termes différents. De même, ces professionnels sont ensuite amenés à échanger avec des architectes chargés de la conservation des lieux. On remarque alors les mêmes difficultés.

En effet, selon les corps de métier, le vocabulaire employé peut être différent, et certains termes identiques peuvent à l'inverse, avoir des définitions différentes. Alors que ces derniers semblent être amenés à travailler de plus en plus souvent ensemble, il semble justifié de penser la création d'un langage qui leur soit commun, afin d'éviter les quiproquos et de permettre une plus grande efficacité du travail.

Cette volonté de créer un consensus de termes, une universalité des emplois qui leur serait propre est souvent évoquée en préface de glossaires ou vocabulaires établis, publiés en ligne.

Ainsi Michael Petzet, Président de l'ICOMOS, évoque en effet, en préface du glossaire illustré des dégradations de la pierre « (...) Les confusions terminologiques conduisent à des problèmes de communication majeurs entre conservateurs, restaurateurs et scientifiques. Dans ce contexte, l'établissement d'un langage commun est primordial. Si les figures d'altération peuvent être montrées, nommées et décrites, elles peuvent être reconnues et comparées de façon exacte avec d'autres dans des investigations ultérieures. Le glossaire illustré de l'ISCS constitue ainsi un outil important pour les discussions interdisciplinaires sur les phénomènes et processus de dégradation. »

Par extension, c'est un enjeu plus large qui s'offre à nous : celui de la diffusion du vocabulaire, de l'accessibilité d'un savoir précis, scientifique et culturel. Ainsi, il s'agit là de mettre tous les acteurs de la discipline sur un pied d'égalité, en leur donnant les mêmes outils, les mêmes connaissances, afin de permettre une amélioration des conditions de diagnostic.

- L'enjeu du développement d'un vocabulaire commun

Néanmoins, l'établissement d'un vocabulaire commun, pose de nombreuses questions s'il ambitionne a devenir utilisé par tous.

Ce dernier ne pourra se démocratiser et devenir véritablement commun, que si chacun des corps de métier le trouve cohérent avec leur exercice. Il doit ainsi réussir à mettre tout le monde d'accord, en convoquant des termes à la fois suffisamment précis et exact, mais qui dans le même temps, parlent à tous. Pour cela, une consultation méthodique et répétée des différents experts en présence semble obligatoire. Ainsi chacun doit pouvoir émettre un avis en amont de sa création, afin qu'un langage ne leur soit pas imposé, ou ne leur semble pas marginal, déconnecté de la réalité de leur domaine d'étude. Il s'agit donc d'un travail d'aller-retour constant entre les professionnels du domaine de la conservation du patrimoine statuaire et la ou les personnes chargées de centraliser les informations et d'établir le lexique désigné.

Afin d'être diffusé, commun à tous, le vocabulaire semble de plus devoir être formalisé, explicité et défini. Ce dernier peut notamment prendre différentes formes : vocabulaire contrôlé, lexique, glossaire. En effet, il doit être écrit, potentiellement publié ou tout du moins, accessible en ligne, afin de quitter le domaine oral, du langage «instinctif» et diffusé par le bouche à oreille au sein d'un milieu donné. Sa mise à l'écrit pourra ainsi lui permettre d'être diffusée à plus grande échelle.

De plus, chacun des termes choisis doit être défini, son emploi doit être expliqué, potentiellement illustré. Au-delà du choix des termes, se pose également la question de leur définition, leur signification : comment faire en sorte qu'un même mot, potentiellement déjà utilisé dans plusieurs domaines, désigne un seul et même phénomène, afin d'éviter tout quiproquos, comme évoqué par Michael Petzet dans l'extrait précédent.

b. Vers une plateforme numérique de suivi

- La question du vocabulaire au service d'un suivi centralisé des oeuvres sculptées

Fort de ces constats et face aux enjeux que représente l'opportunité de développer un vocabulaire commun, de plus en plus de travaux réfléchissent à une proposition innovante afin de tirer parti des nombreux acteurs et experts en présence, et des nombreux termes et vocabulaires utilisés par les différents corps de métiers, qu'ils soient des scientifiques, des artisans, des professionnels de la conservation.

Plusieurs idées pertinentes peuvent émerger alors. On peut tout d'abord citer l'idée de créer des plateformes permettant le suivi centralisé d'oeuvres.

Cette perspective s'attache à l'intérêt de proposer une structuration possible d'annotation dans des plateformes d'annotations sémantiques en deux et trois dimensions, afin d'y intégrer un vocabulaire donné et défini. Chacun des acteurs aurait ainsi accès aux mêmes termes, ainsi qu'aux mêmes structurations de ces termes, offrant ainsi à chacun les mêmes outils pour se faire comprendre et communiquer les savoirs qu'il a collecté.

De plus, cette proposition impliquerait de grandes opportunités concernant le croisement des données, à la fois entre les époques (comparer des annotations présentes à des travaux plus anciens) et entre les différents experts (il serait alors possible d'afficher certains calques, certaines informations et alors les comparer entre elles).

Cependant, il nous faut pour cela comprendre les étapes nécessaires à la réalisation d'une structuration d'annotation au sein de tels outils, les pré-requis pour pouvoir l'envisager. Avant d'envisager toute forme d'implémentation au sein d'un outil informatique, le travail débute par cette même question du vocabulaire.

Il est alors nécessaire de poursuivre l'état de l'art, en s'intéressant cette fois aux différentes formes que peuvent adopter des différents recueils de vocabulaire, de quel niveau d'expressivité sémantique ces derniers disposent. Cette étude nous permettra alors de comprendre quels outils peuvent permettre une structuration du vocabulaire.

Avant ces étapes, il est important de citer les travaux qui se sont déjà interrogés sur ces questions et ont réalisé des propositions au sein de thèses ou encore de stages.

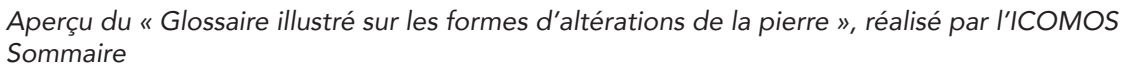
- Les travaux précédemment effectués sur cette question

Des travaux ont déjà été réalisés sur ces questions. Ce travail se trouve en résonnance directe avec le travail de thèse réalisé par Tommy Messaoudi et soutenu en juillet 2017. En effet, cette thèse intitulée «Proposition d'une ontologie de domaine dédiée à l'annotation d'images spatialisées pour le suivi de la conservation du patrimoine culturel bâti»¹², se pose la question de la corrélation des données récoltées et construites au cours des études pluridisciplinaires, au sein des systèmes numériques nouveaux. Ainsi, des données peuvent se référer à un même objet, mais elles ne sont néanmoins liées que par des méthodes d'indexation manuelle. Il était donc intéressant de chercher à les spatialiser autour d'un même référentiel. Ici l'ontologie devient alors un échafaudage conceptuel qui permet de structurer les informations récoltées et dédiées à la corrélation spatiale des jeux d'annotations.

Des travaux de différentes natures ont également été réalisés récemment sur ce thème. C'est notamment le cas du travail d'Alexandra Stoleru intitulé «Proposition d'une ontologie de domaine dédiée à la description des traces anthropiques des grottes ornées» réalisé dans le cadre d'un stage. Comme son nom l'indique, ce travail cherche cette fois-ci à concevoir une ontologie de domaine s'appliquant non pas au patrimoine architectural, mais plutôt à l'art paléolithique. Néanmoins, on y retrouve les mêmes questions : celles de savoir comment corréler des données et des informations de nature hétérogène, et à l'inverse, comment croiser les informations produites afin de faire émerger de nouvelles connaissances.

Ici, la question est cette fois posée dans le domaine du statuaire, afin de voir comment les diagnostics de demain peuvent être plus performants que ceux d'aujourd'hui, autorisant, par conséquent une meilleure connaissance des oeuvres sculptées et une meilleure protection de ces dernières. La spatialisation des connaissances est alors nécessaire et doit pour cela permettre de relier les points d'analyses réalisés par tous les experts du domaine. Il est pour cela important de connaître les vocabulaires contrôlés déjà existants dans le domaine, et de se demander comment les relier sémantiquement. Enfin reste à voir de quelle façon la structuration de ces données peut permettre l'émergence de nouveaux savoirs.

12 Tommy Messaoudi. Proposition d'une ontologie de domaine dédiée à l'annotation d'images spatialisées pour le suivi de la conservation du patrimoine culturel bâti. Autre. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM, 2017. Français. <NNT : 2017ENAM0021>



Aperçu du « Glossaire illustré sur les formes d'altérations de la pierre », réalisé par l'ICOMOS
Définitions du terme «fissure»

3. La question du vocabulaire aujourd'hui

a. Différents vocabulaires existants : définitions et exemples

- Définitions et état de l'art des vocabulaires existants

Il existe actuellement différents types de lexiques, qui peuvent aussi bien avoir un support papier qu'un format numérique, être évolutifs ou figés. Ces derniers peuvent de plus être distingués par leur expressivité sémantique plus ou moins importante, c'est-à-dire leur capacité à décrire certains concepts avec précision.

Le vocabulaire contrôlé

Ainsi, on trouve tout d'abord le vocabulaire contrôlé. Il s'agit d'un lexique, qui organise les connaissances et les termes qui lui sont propres, afin que la recherche d'informations précises soit facilitée. En effet, il mène à l'utilisation de termes définis, choisis par l'auteur de ce vocabulaire. Il s'agit donc de la première étape vers un consensus de termes, une universalité du langage. Par conséquent, ce dernier s'oppose donc au langage « naturel », parlé et individuel, où chacun emploie des termes qui lui sont propres, qu'il connaît. Il impose ainsi une certaine forme de restriction, mais qui est mise au service du partage des connaissances et des échanges pluri-disciplinaires. On notera qu'il peut être employé dans des formes de lexiques plus vastes, telles que les thésaurus ou les taxinomies.

Le glossaire

Le Glossaire est le deuxième lexique à évoquer. Sa définition dans le dictionnaire Larousse le définit comme un recueil de Gloses, qui vise à générer une « Explication de quelques mots obscurs d'une langue par d'autres mots plus intelligibles. ». En effet, ce dernier se concentre sur un domaine technique, scientifique ou culturel précis, afin de citer et définir tous les termes qui s'y attachent.

Dans le cadre de cette étude des lexiques et cette étude de cas, c'est précisément un glossaire qui va aider à la constitution des légendes des cartographies se rapportant aux figures d'altération. Il s'agit du « Glossaire illustré sur les formes d'altérations de la pierre », réalisé par l'ICOMOS. Ce dernier, réalisé en français et en anglais, mentionne déjà une visée interdisciplinaire, l'usage de ce vocabulaire comme un outil commun, servant aux discussions interdisciplinaires, comme évoqué précédemment. Il présente l'avantage certain d'être illustré et de proposer des définitions très complètes des termes, s'attachant à en citer et définir les sous-catégories, les phénomènes avec lesquels ils peuvent être confondus, les causes de ces altérations, et même les synonymes.

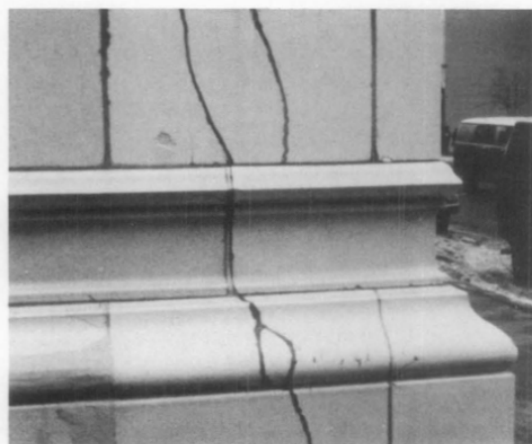
Cracking

A term describing narrow fissures from 1/16 to 1/2 inch wide in a block of masonry. Cracking may result from a variety of conditions, such as structural settlement of a building, too hard a repointing mortar, or it may be an inherent characteristic of the masonry itself, such as unfired brick or adobe. Small cracks within a single block of masonry may not be serious, but longer and wider cracks extending over a larger area may be indicative of structural problems, and should be monitored.

Preservation Treatment: See Mechanical Repair, p.58; Replacement/Patching with Like or Compatible Substitute Materials, p.59.



Cracking of limestone. Photograph: John H. Myers.



Cracking of glazed terra cotta. Photograph: National Park Service.

Aperçu de « A glossary of historic masonry deterioration problems and preservation treatments »
Définitions du terme «fissure» (soit cracking)



Art & Architecture Thesaurus® Online Hierarchy Display

[New Search](#)

[Previous Page](#)

[View Selected Records](#)

[Clear All](#)

Click the  icon to view the hierarchy.

Check the boxes to view multiple records at once.

- ☐  Top of the AAT hierarchies
- ☐  Physical Attributes Facet
- ☐  Conditions and Effects (hierarchy name)
- ☐  <conditions and effects by specific type>
- ☐  cracks
- ☐  crackle
- ☐ age cracks
- ☐ mechanical cracks
- ☐ traction crackle
- ☐ crazing
- ☐ microcracks

1. ☐  **age cracks**
(crackle, cracks, ... Conditions and Effects (hierarchy name)) [300228342]
age crack
cracks, age
cracks, late
late cracks
2. ☐  **cracks**
(<conditions and effects by specific type>, Conditions and Effects (hierarchy name)) [300209168]
crack
3. ☐  **mechanical cracks**
(crackle, cracks, ... Conditions and Effects (hierarchy name)) [300228353]
cracks, mechanical
mechanical crack
4. ☐  **nutcrackers**
(<culinary equipment for preparing and cooking food>, culinary equipment, ... Furnishings and Equipment (hierarchy name)) [300200533]
cracks, nut
nut cracks
5. ☐  **traction crackle**
(crackle, cracks, ... Conditions and Effects (hierarchy name)) [300228347]
alligator cracks
cracks, alligator
cracks, drying
cracks, early
cracks, shrinkage
cracks, traction
drying cracks
early cracks
shrinkage cracks
traction cracks

Aperçu en ligne du thésaurus « Art and Architecture thesaurus » réalisé par le Getty Institut
Définitions du terme «fissure» (soit cracking)

Bien que très précis, ce dernier n'est pas évolutif ou numérique. Il s'agit d'un lexique destiné à être imprimé, utilisé tel qu'elle. Il s'agit cependant bien d'un véritable outil, dont la clarté et l'exhaustivité concernant les dégradations de la pierre, semblent bel et bien faciliter les échanges. De plus, il devient ainsi très accessible, et facilement compréhensible, même par des non sachants.

Dans une époque plus ancienne, on trouve également « A glossary of historic masonry deterioration problems and preservation treatments » réalisé en 1984. Comme son nom l'indique, ce dernier cherche davantage à se concentrer sur les figures d'altérations identifiées sur les maçonneries. Cependant, on trouve un grand nombre de termes identiques dans les deux lexiques, puisque certaines figures d'altération sont communes à la pierre et aux maçonneries qui les entoure. Ce dernier a été un des supports sur lequel se sont appuyés les auteurs du lexique réalisé par l'ICOMOS, pour le réaliser.

La taxonomie

La taxonomie est une « science des lois de classification » (Larousse) et est basée sur un vocabulaire contrôlé et permet d'établir des listes. Il s'agit d'une suite d'éléments, reliés entre eux par des relations de subsumption ou d'inclusion (en note : hyponymie, hénymie, cf tamba en 1991), dont les catégories sont distinctes, mais définies par leur caractéristiques (cf Bruseker et Al. 2017).

Le thésaurus

Le thésaurus est proche d'une taxonomie, et se distingue par l'établissement de relations sémantiques entre les termes qui abrite. Il développe ces relations grâce à des connections logiques qui relient chacun des concepts. Il structure ainsi le vocabulaire, grâce à des relations de synonymie, de hiérarchie, et d'association. Chaque terme va ainsi appartenir à une catégorie ou un domaine donné. Ici, c'est donc moins la définition du terme qui prime, mais plutôt la relation entre les termes et leur sélection.

Le « Art and Architecture thesaurus » réalisé par le Getty Institut est également un élément précieux de référence dans le cadre de cette étude. Il est présenté comme un outil pouvant évoluer, grâce à des contributions de particuliers et d'institutions extérieures. A titre d'idée, il regroupe actuellement plus de 375 000 termes, et examine encore quelques 15 000 candidatures. On peut noter qu'un mot ne se rapporte qu'à un seul élément donné. Ainsi, pour compléter le sens ou si ce terme a plusieurs significations, le sens ou le contexte du mot est explicité dans des notes. Ces dernières permettent de spécifier son sens et son utilisation, afin que chacun de ces termes ne comporte plus d'ambiguïté. Ces informations peuvent servir aussi bien aux musées, librairies et archives, des spécialistes et scientifiques, des projets archéologiques ou architecturaux

etc. Son utilisation peut cependant être déroutante car elle sert une utilisation générale, universelle, et non réservée à une discipline particulière. Son évolution à travers le temps permet néanmoins le changement et l'adaptation, dans le cas où des termes nouveaux apparaissent, ou s'ils ne font plus consensus, que leur usage change. L'aspect multilingue du vocabulaire est également souligné comme un atout de cet outil. Il est également possible, en cherchant un terme, de voir les relations hiérarchiques qui le composent, et donc, si on le souhaite, de visualiser les termes parents. Cela peut enrichir la connaissance du terme, la précision de l'analyse, et peut-être conduire à sélectionner un terme plus adapté.

- Une difficulté de corrélation des vocabulaires

La diversité des supports et des époques de réalisation permet en recherche de constater des disparités plus ou moins importantes entre chacun des lexiques, qui peuvent entraîner une trop grande multiplicité des sources, et à terme, une confusion dans l'esprit commun. Cependant, la spécificité de ce domaine d'étude a montré que les références n'étaient pas très nombreuses, limitant ainsi l'impact négatif d'une trop grande disparité d'informations. Ce manque de corrélation est rencontré à plusieurs niveaux : entre les langues, entre lexiques d'un même type ou même entre des formes de lexiques très différentes.

Dans le glossaire des dégradations de la pierre, réalisé par l'ICOMOS, on remarque d'abord une différence de précision selon les langues. En effet, à titre d'exemple, le terme seul de dégradation est traduit par trois termes différents en anglais « dégradation », « damage » et « decay », permettant d'offrir une définition plus précise et complète. Une partie des informations complémentaires et plus fine semble alors perdue en français.

D'autre part, on trouve des exemples montrant un certain décalage entre les définitions de lexiques du même type. C'est notamment le cas pour les deux glossaires évoqués en exemples (note bas de page) A titre d'exemple, voici les deux définitions du terme « fissure » proposées par ces deux ouvrages :

Fissure - définition du historic masonry deterioration : (traduit de l'anglais)

Un terme désignant une fine fissure mesurant entre 1/16 inch et un demi inch de large, dans un bloc de maçonnerie. Les fissures peuvent résulter de plusieurs conditions, tels que le tassement structurel d'un bâtiment, l'utilisation d'un mortier trop dur, ou peut être une caractéristique inhérente de la maçonnerie même, comme une brique en terre crue ou le pisé. De petites fissures au sein d'un même bloc ne sont pas forcément graves, mais des fissures plus larges, se prolongeant sur des aires plus larges peuvent être indicatrices de problèmes structurels, et devraient être surveillées.

Fissure - définition du glossaire ICOMOS :

Une fissure est un plan de rupture vu en coupe qui résulte de la séparation d'une pierre en deux parties.

Sous-type(s) :

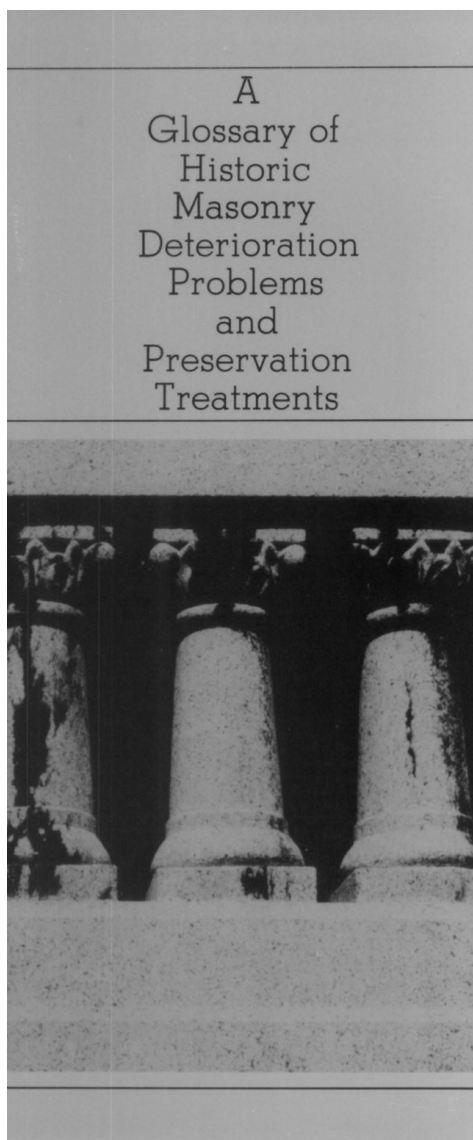
- *Fracture : Fissure traversant complètement une pierre.*
- *Fissuration en étoile : Ensemble de fissures se développant de façon rayonnante. La corrosion d'éléments métalliques, l'impact de projectiles sont des causes possibles de fissuration en étoile.*
- *Microfissure : Fissure d'ouverture inférieure à 0,1 mm.*
- *Craquellement : Réseau de fissures peu ouvertes. Le terme faïençage n'est pas approprié pour la pierre : il décrit un réseau de fissures affectant un émail, un enduit.*
- *Clivage : Décrit le développement d'une cassure le long de plans de faiblesse tels que microfissures, couches argileuses, dans le cas où ces éléments structuraux sont orientés verticalement. Une pierre posée en délit, par exemple une colonne, peut se cliver le long des plans de litage si la charge qu'elle supporte est trop importante.*

Autres remarques :

La fissuration peut être due à des défauts dans la pierre, des problèmes de statique, à la corrosion d'éléments métalliques, à la présence de mortiers de rejointoiement à la fois adhérents et beaucoup plus durs que la pierre. Les vibrations liées aux tremblements de terre, les incendies, le gel font aussi partie des causes de fissuration.

Les fissures et fractures des enrochements sculptés sont habituellement dénommés selon la terminologie géologique : diaclase s'il n'y a pas de déplacement de part et d'autre de la fissure ou fracture, faille s'il y a déplacement.

On remarque en effet que dans un des cas, on commence par définir les mesures précises auxquelles correspond une fissure, des dimensions afin de qualifier ce terme. Puisque le premier extrait fait parti des documents d'après lesquels se sont appuyés les auteurs du glossaire de l'ICOMOS, il est donc logique que la deuxième définition semble être plus complète. En effet, elle ne contredit pas la définition première, mais en reprend le fond et l'approfondi, tout en laissant de côté la description de la mesure, comme pour créer une définition qui n'est pas restrictive. Cette dernière est donc d'avantage générale dans un premier niveau de lecture, avant de se préciser et détailler par la suite, offrant alors des définitions de sous-catégories de fissures. Il s'agit donc d'un exemple où les deux définitions ne sont certes pas opposées, mais ont une façon différente d'approcher la définition du terme.



ICOMOS-ISCS :
 Illustrated glossary on stone deterioration patterns
 Glossaire illustré sur les formes d'altération de la pierre



English-French version
 Version Anglais-Français



ICOMOS International Scientific Committee for Stone (ISCS) - Comité scientifique international "Pierre" de l'ICOMOS

A gauche : couverture de « A glossary of historic masonry détérioration problems and préservation treatments »

A droite : aperçu du « Glossaire illustré sur les formes d'altérations de la pierre », réalisé par l'ICOMOS

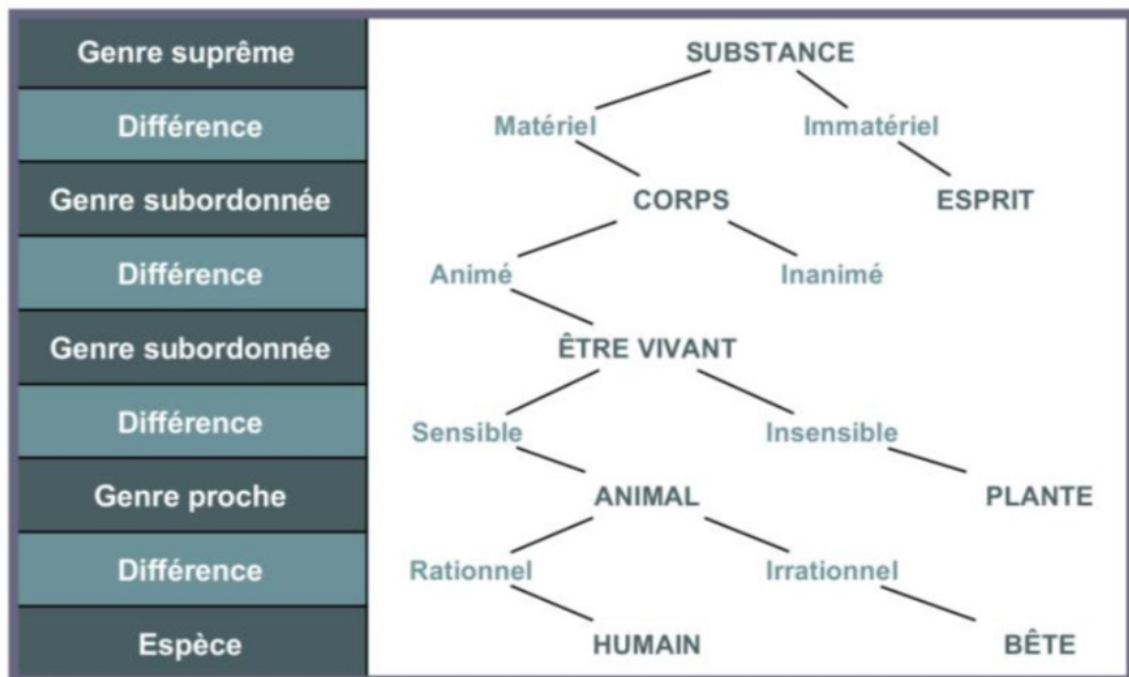
Lorsque l'on compare deux lexiques de nature différente, la différence semble d'autant plus grande. En effet, de par sa structuration particulière, il est parfois difficile de corréler les thésaurus avec des lexiques prenant la forme de glossaires ou de simples vocabulaire, où la définition précise d'un terme donné prime.

Par exemple, le glossaire de l'ICOMOS va, lui, convoquer souvent des mots composés, qui désignent en fait des figures d'altérations précises. Par conséquent, en cherchant le terme sur ATT, il peut arriver de ne pas trouver de correspondance, ou bien que sa définition soit moins précise que celle du glossaire. La différence de vision fondamentale causant le premier à privilégier les relations sémantiques entre les termes et le second à privilégier la définition de ce dernier, explique ces grandes disparités. Il s'agit néanmoins de la forme qui se rapproche le plus d'une ontologie, grâce à sa structuration.

Ces deux exemples posent donc une réelle question : celle de savoir comment créer un consensus. En effet, le glossaire propose ici, presque volontairement, un vocabulaire figé, donné. Son aspect fixe, semble vouloir encourager le fait qu'un terme désigne un phénomène bien précis, aux yeux de chaque personne qui l'entendrait ou le convoquerait. Il faciliterait ainsi la communication, en donnant un statut et une définition claire de certains mots. A l'inverse, le thésaurus, lui, a la capacité d'évoluer avec son époque, de faire évoluer son contenu et donc, de s'enrichir sans cesse. Ainsi, plus la discipline progresse, plus son vocabulaire progresse avec elle, devenant de plus en plus complète au fil du temps. Cependant, lorsque la définition de terme change, ou lorsque de nouvelles catégories sont ajoutées, les professionnels peuvent se trouver en décalage par rapport aux termes qu'on leur propose, se l'approprier de façon moins importante, en raison de son caractère plus évolutif, plus complexe. Là, réside une des problématiques qui va guider la conception de l'ontologie dans cette étude : comment désigner des termes de la façon la plus juste possible dans une période de temps donnée tout en permettant le dialogue interdisciplinaire, et donner un fort pouvoir évocateur aux termes que l'on convoque.



Frise représentant les niveaux de formalisation des connaissances, selon l'ordre croissant de l'expressivité sémantique



Arbre de Porphyre
Source : Thèse Messaoudi

b. Les possibilités du numérique : définition du principe d'ontologie

- Origine du terme et étymologie

Le lexique présentant l'expressivité sémantique la plus forte est cependant l'ontologie. Ce terme fut d'abord utilisé en philosophie pour désigner le concept philosophique étant l'étude de l'être en tant qu'être. Le dictionnaire Larousse en donne la définition de « théorie de l'être ». Il s'agit alors d'une discipline qui cherche à caractériser les modes d'existences d'éléments ou d'objets, suivant les types d'objets existants.

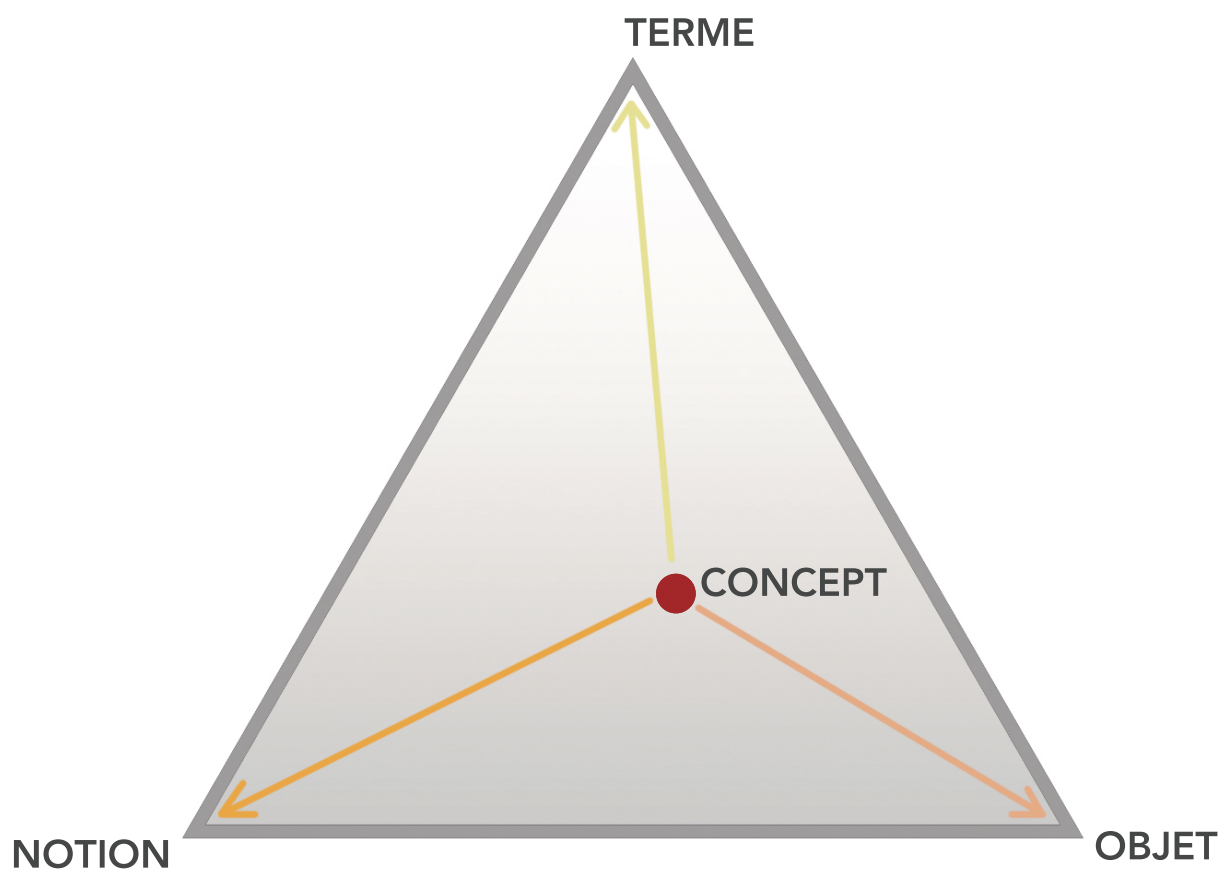
- Définition de l'ontologie en informatique

C'est par analogie à son usage dans la philosophie, que ce terme désigne aujourd'hui dans le domaine de l'informatique, un ensemble structuré de concepts, de termes, représentant le sens d'un champ d'information. D'après Borst (1997), elle cherche à créer une « spécification explicite et formelle d'une conceptualisation partagée ». Ainsi, l'ontologie mène donc une structuration sémantique, au même titre que le thésaurus, étudié précédemment, et une structuration formelle. C'est-à-dire que les concepts et les contraintes qui les relient doivent être explicitement définis mais que l'ontologie doit être également compréhensible par un ordinateur.

Ainsi, pour voir le jour, elle s'appuie nécessairement sur un vocabulaire contrôlé ainsi que sur des concepts clairement définis, et se constitue de classes et de propriétés qui permettent de spécifier les règles d'inférence. Les propriétés (ou les relations) qui relient ces concepts peuvent être de deux catégories : propriétés de données et propriétés d'objets. Les propriétés de données servent à décrire un lien entre un élément et une valeur de données. Les propriétés d'objets, elles, décrivent les relations entre les éléments, et peuvent être fonctionnelles, symétriques, réflexives etc.

L'arbre de Porphyre est un des exemples du fonctionnement et de la structuration d'une ontologie. En effet, il lie peu à peu un genre, avec les différences qu'il peut présenter, ainsi que les genres correspondants eux-mêmes à ces particularités.

De plus, l'ontologie emporte une dimension consensuelle, qui résulte du croisement des points de vue des différents experts du domaine en question. Le fait qu'il s'agisse d'une entité partagée est en effet un point important de sa définition, puisqu'elle vise à partager les connaissances d'un domaine, et pour cela, cherche l'approbation de tous ses utilisateurs. Elle permet donc une communication entre membres d'une discipline donnée, mais également une communication entre la machine et l'utilisateur.



Le triangle sémantique de la notion de concept, d'après Dumez

L'ontologie regroupe également plusieurs langages : les connaissances sont souvent représentées en format RDF, ensuite transformées au format DL, qui est un langage de logique de description. Le langage utilisé peut aller de totalement informel à formel, en fonction de son niveau d'expressivité sémantique.

Ainsi, les ontologies générées peuvent être très différentes, allant d'une ontologie légère à une ontologie lourde et qualifier plus ou moins justement, précisément des concepts. La première crée des associations générales, tandis que la seconde comprend également des règles d'inférences ainsi que des axiomes, pour structurer les termes.

- Les différents types d'ontologie

On trouve cependant différents types d'ontologies, qui ont notamment été classées en quatre catégories par Guarino¹³ selon leur niveau d'expressivité sémantique.

Dans le cadre de ce mémoire, on s'attachera davantage à l'ontologie de domaine. Comme son nom l'indique, celle-ci cherche à modéliser les connaissances dans un domaine donné. Ainsi, les termes qui y sont explicités proviennent de vocabulaires contrôlés. Il s'agit d'une formalisation des connaissances partagées dans un domaine. Ici, l'ontologie de domaine va pouvoir s'appliquer à la discipline de diagnostic des figures d'altérations observées sur des oeuvres sculptées. CIDOC-CRM en est un exemple notable.¹⁴

A celle-ci s'oppose l'ontologie générique, qui peut être utilisée dans de nombreux domaines d'étude, la rendant plus générique. Ce modèle spécifie ainsi des concepts de très haut niveau, et peuvent d'ailleurs être appelées «top-ontologie», grâce à la synthèse qu'elles peuvent créer entre différentes ontologies de domaine.

On peut également citer l'ontologie applicative, qui est une ontologie dédiée, rarement réutilisable, car elle cherche à représenter uniquement les connaissances qui sont nécessaires à une application donnée.

Enfin, l'ontologie des représentations cherche à conceptualiser les primitives des langages de représentation de connaissances. Elle contient donc des représentations primitives et fournit alors une manière de structurer les concepts.

13 [Guarino N., 1998] [Guarino N., 1997] [Niang, C. A. T., 2013]

14 Voir page 118-119 «Le Modèle CIDOC-CRM»

II

L'ETUDE DE CAS : LES 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. Cas et lieu d'étude

a. Les jardins de la Magalone

- 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.¹⁵ 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.

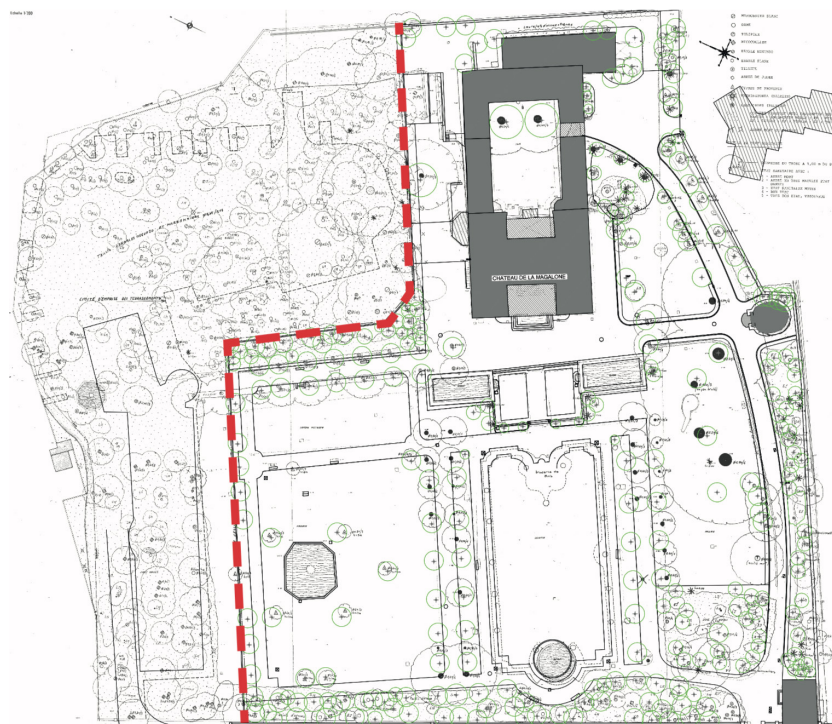
Au fond des jardins, on trouve une bastide, dont la construction s'est déroulée entre 1670 et 1710, d'après les plans de Pierre Puget.¹⁶ Les frères de Magalon, négociants armateurs, acquièrent la propriété en 1713 et donneront leur nom à la propriété, qui deviendra plus tard celui des jardins également. 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 succédés 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.

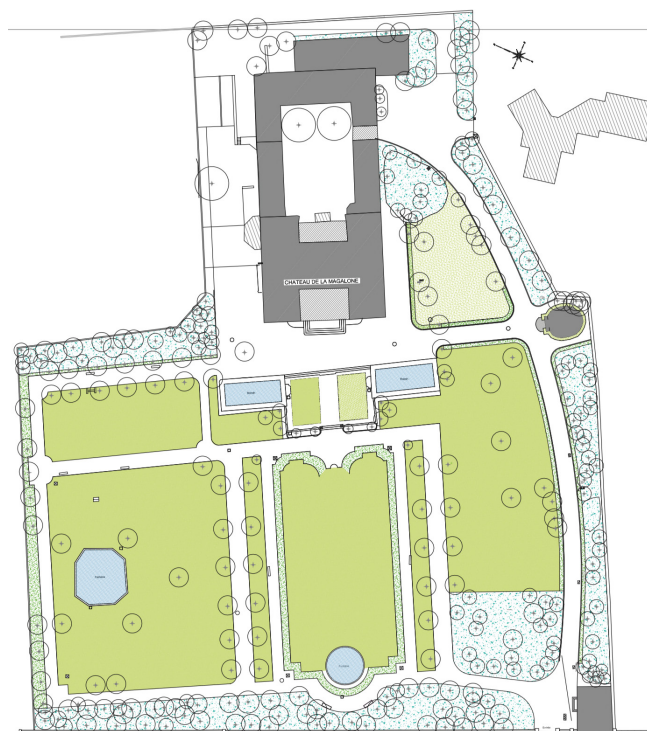
Les jardins tels que nous les connaissons actuellement, ne constituent en réalité qu'une partie de ceux d'une propriété auparavant bien plus étendue. Cette dernière, occupant une place de choix dans la ville, a progressivement été réduite au fil du temps, afin de permettre aux habitations alentours de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

¹⁵ Vallet et Mérindol, « Impact de la restauration de quatre statues du jardin de la Magalone (Marseille, France) après douze années de conservation in situ ».

¹⁶ « 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

En février 1986, un plan de constat de la végétation existante est réalisé pour le compte 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.¹⁷ 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.

- Les jardins aujourd'hui

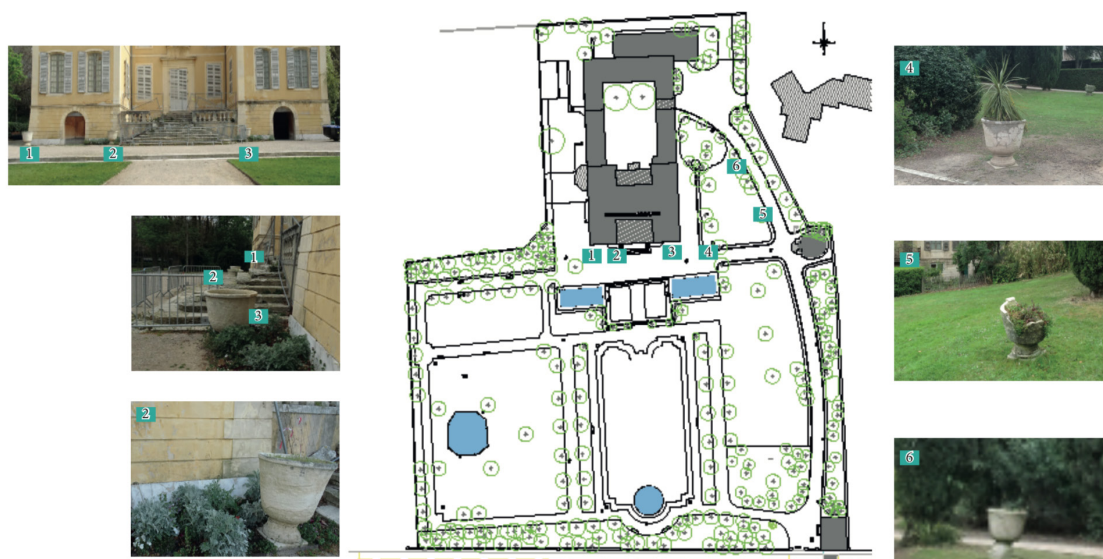
Aujourd'hui propriété de la ville, la bastide a été transformée en école de musique. Les jardins sont, eux ouverts au public.

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 statuares. 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'herbe. 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* ».

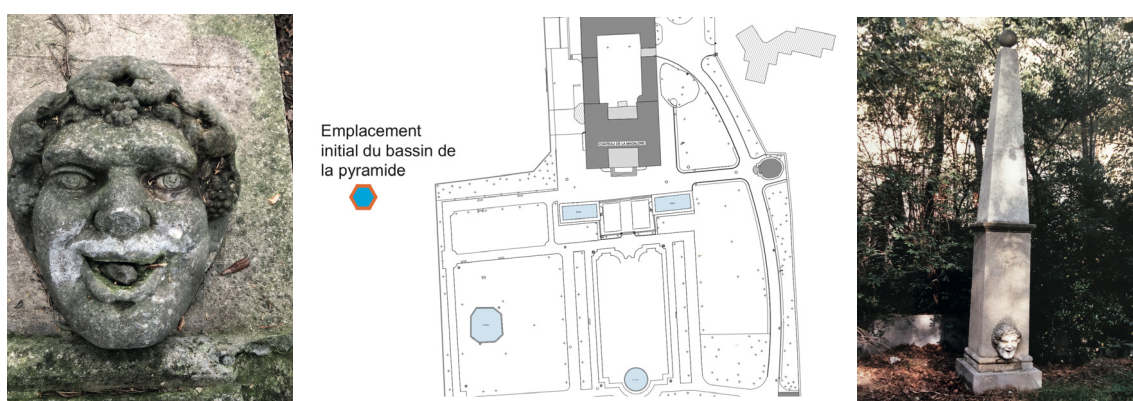
La façade sur rue fait aujourd'hui 120 mètres de long, et la profondeur des jardins se situe entre 79 et 145 mètres selon les endroits. Leur surface totale est désormais de 1,4 hectares¹⁸, suites aux réductions précédemment évoquées. Le graphique ci-dessous présente la décomposition actuelle des jardins, ce dernier montrant une dominance des pelouses et des allées, suivis par les bosquets et la bastide elle-même.

¹⁷ Jardins d'histoire et ses ateliers up+, « Jardin de la Magalonne, élaboration d'un plan de gestion ; Phase 2, diagnostic de l'état actuel ».

¹⁸ Ibid.



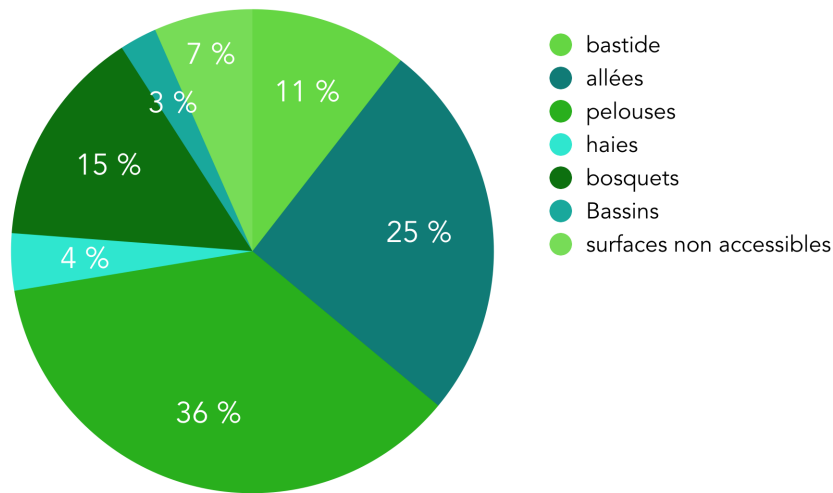
Plan de répartition des vases et photographies de leur état



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

- 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.

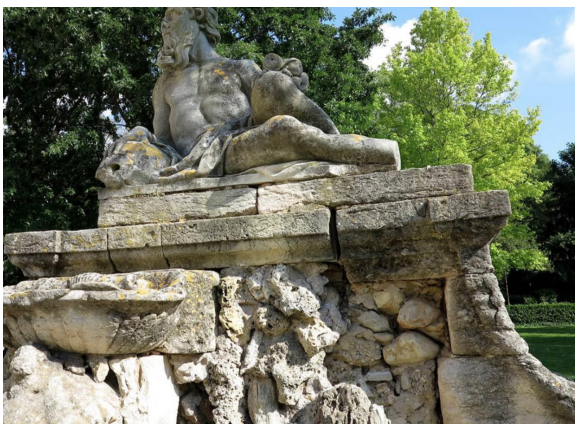
Les vases se trouvent ainsi tout autour de la bastide. Ces 6 vases à pied de Grignan sont globalement en bon état, exception faite de l'un d'entre eux, complètement cassé. Par le passé, on trouvait également d'autres vases, utilisés pour orner les balustres du perron et les margelles des viviers.

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.¹⁹

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 calcaires denses, par les conglomérats oligocène local jusqu'au molasses coquillères...

D'après le rapport de Philippe Bromblet²⁰, 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.

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

20 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 Magalone

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 de restauration du patrimoine (CICRP)
Marseille

Pierre Mérindol
Quélin Mérindol
Avignon
(France)

Le jardin de la Magalone 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 intérieur, 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 XX^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 Magalone se trouvent des sculptures en pierre cal-



Fig. 1. Vue du jardin de la Magalone depuis le perron de la villa. En face se dresse la Cité Radieuse.

SESSION 3



Centre interrégional de conservation et de restauration du patrimoine

Marseille, le 28 mai 2018

M. Roland MAY
Directeur

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

OBJET : étude de l'état de conservation de la statuaire 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. Sarrailh, 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 (Conservation régionale 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

b. Les statues des quatre saisons

- 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.²¹

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 CICRP²² « 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 développé²³. 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.

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

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

23 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 Bromblet²⁴ réalisé en 2018, établissent 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.

- Choix pour l'étude de cas : la statue «L'automne»

Considérant le temps imparti, 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, cette étude pourrait être poursuivie et complétée, ce qui permettrait 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.

24 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

- 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 lion²⁵, 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 mourant²⁶, représentant une figure masculine également, bien que celle-ci soit cette fois 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.²⁷ 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.

À droite on trouve également une statue en marbre, intitulée Le faune²⁸.

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

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

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

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



Acquisition photogrammétrique :

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

2. Un diagnostic cartographié grâce à la photogrammétrie

a. l'acquisition photogrammétrique

- Méthode d'acquisition

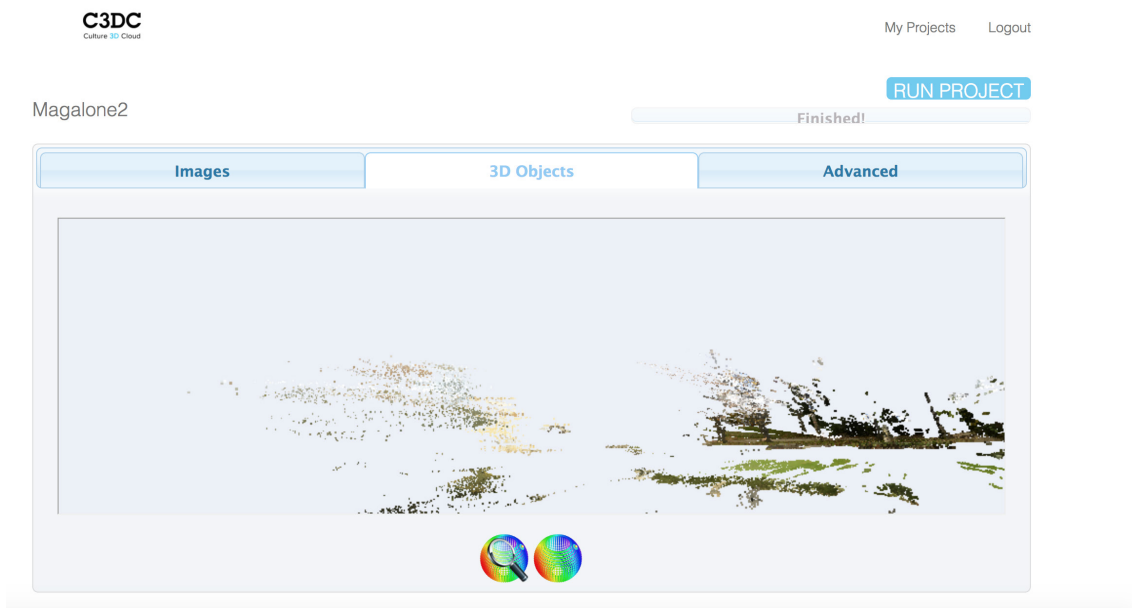
La première étape de l'étude de la statue était de réaliser son acquisition photogrammétrique, selon un protocole défini préalablement. L'acquisition d'une statue, à cause de ses détails et de l'obligation d'avoir une vue à 360° de l'objet, obligeait à prendre un nombre de photographies conséquent. Il 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.

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 a 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.



Création du nuage de point sur C3DC



Nuage de point crée sur Micmac, ouvert sur Meshlab

- 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.²⁹ 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.³⁰

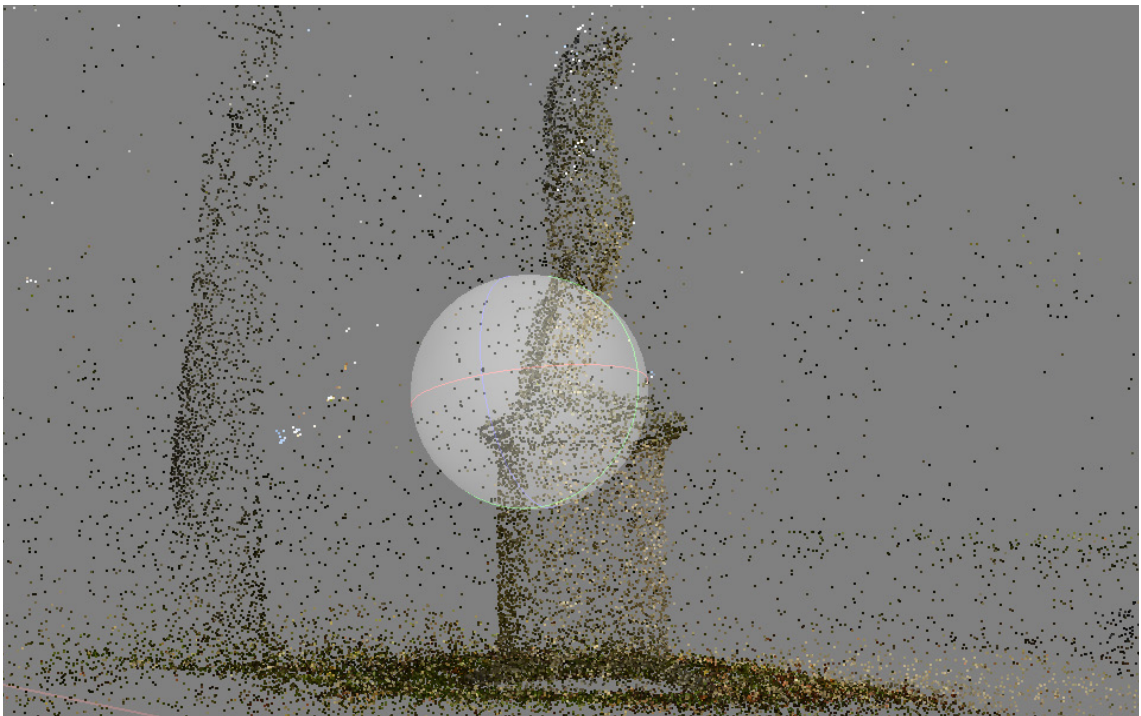
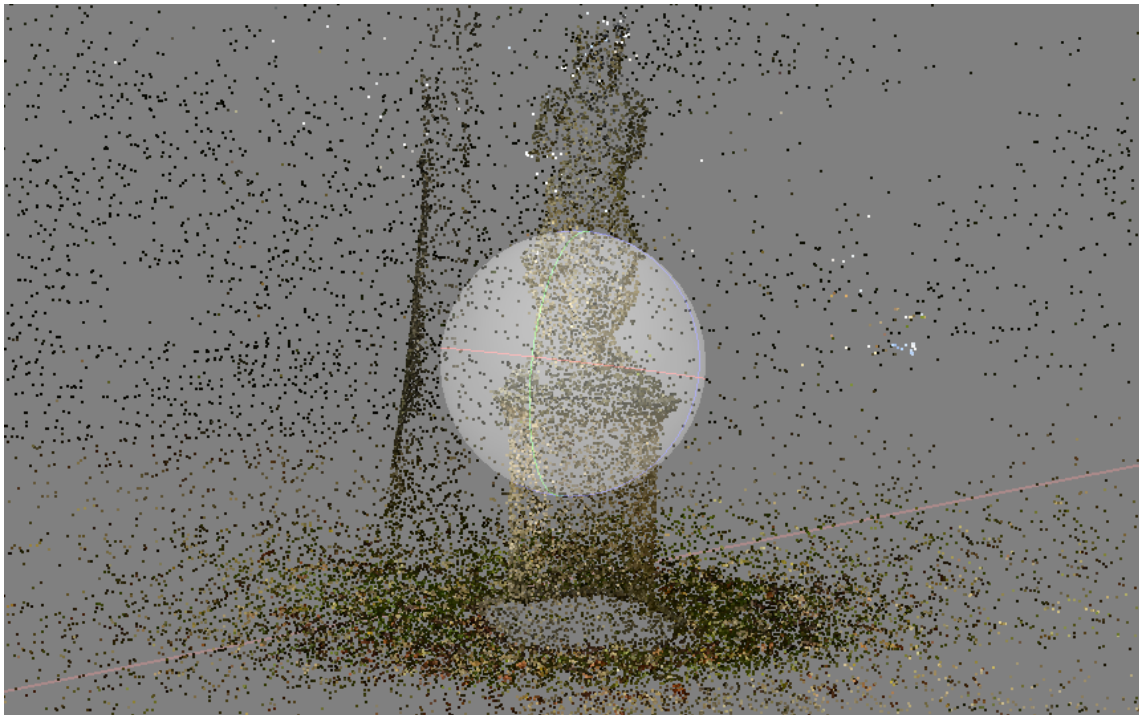
Elle nous permet ici, en tant qu'étudiant, de tester nos acquisitions photogrammétriques, en les traitant sur serveur, et non sur nos propres ordinateurs. Très simple d'utilisation, il s'agissait pour nous d'un premier test, avant de réaliser les nuages de points sur d'autres logiciels. Dans mon cas, 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 Aïoli. Aïoli est actuellement en développement au map-gam-sau, 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 Manuel³¹, 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-

29 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>

30 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

31 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. Aïoli 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. Il nous a été permis d'utiliser la version d'essai d'aïoli, 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 aïoli, 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'aïoli. 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 Aïoli, 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.



Vues du nuage de points sur Aioli

Une autre réponse à ce problème aurait été d'avoir la possibilité d'importer son propre nuage de points sur Aïoli. En effet, sur des logiciels tels que photostan, 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'aïoli, de pouvoir réaliser cette opération, qui permettra donc de solutionner ce problème.

On note toutefois qu'en cliquant sur les photographies, aïoli nous permet déjà de repérer directement la statue, et nous affiche le nuage de points qui correspond à la photographie sélectionnée. En passant de photographie 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, créé sur Aïoli.

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'informations 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.

- Définition du cadre de travail : utilisation d'aïoli en version de janvier 2019

L'intérêt d'aïoli 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.



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»

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 correspondants 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) et les dégradations de la statue en 2018 (constat de l'état actuel).

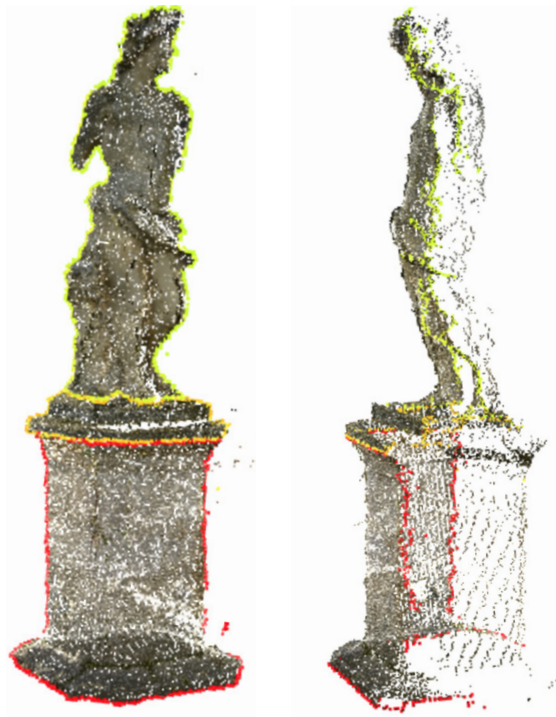
Certaines de ces catégories regroupant beaucoup d'éléments, j'ai réalisé une série de tableaux qui synthétiserait les informations devant être indiquées dans chacun des calques. Cette étape était particulièrement importante afin de savoir précisément quelle information annoter, puisqu'une fois réalisée,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

On peut noter que ce travail a été réalisé entre les mois d'octobre et janvier. La plateforme aïoli, dont le développement se poursuit, est aujourd'hui disponible dans une version plus récente que celle avec laquelle il m'a été permis de travailler. Par conséquent, l'interface utilisateur, a depuis été modifiée, et certains bugs rencontrés lors de l'exploitation de mes jeux de données et de l'annotation sémantique des nuages de points sont aujourd'hui corrigés. A la fin de cet axe, au cours du bilan du diagnostic numérique, un comparatif entre les deux versions sera réalisé, afin de comprendre quels bugs pourraient aujourd'hui être évités, et de quelle façon la nouvelle version développée permettra de faciliter un travail tel que celui-ci. En effet, il a été choisi de ne pas refaire les cartographies, mais plutôt de présenter le travail effectué comme une expérience de l'utilisation de la plateforme à un moment donné de son évolution. De plus, puisque son développement est encore en cours, recommencer ce travail perdrait de son sens, puisque ce dernier deviendrait lui même obsolète quelques mois plus tard. Par conséquent, il a été choisi de considérer ce travail comme une analyse de l'état d'une oeuvre à un moment précis, afin d'évaluer la façon dont il était possible de retranscrire et communiquer un savoir, et de poursuivre davantage ce travail par un autre angle de lecture, celui du vocabulaire partagé, de l'évolution vers une ontologie, permettant d'envisager le sujet sous un nouveau jour.

b. Les matériaux de la statue

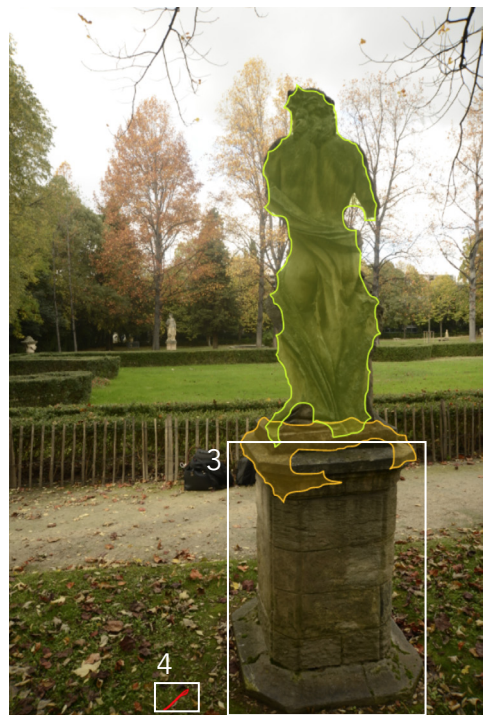
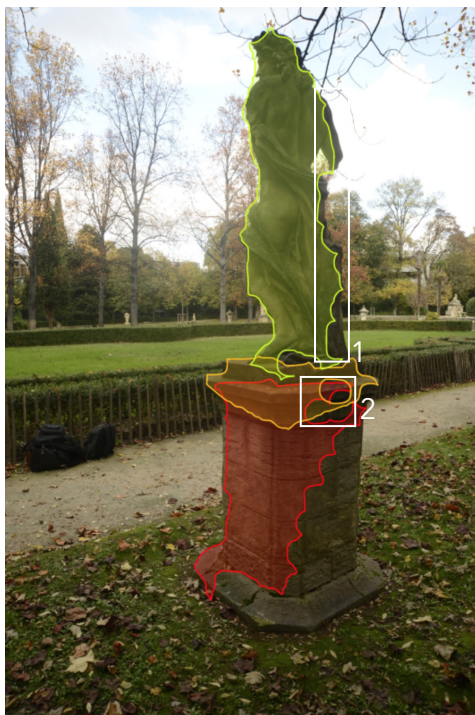
- Description des matériaux

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 Calissane 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 points sur Aïoli et positionnement des calques matériaux

Pierre de Calissane
 Calcaires coquillers
 Pierre de la Couronne



Photographies sur Aïoli et positionnement des calques matériaux

- Des difficultés pour annoter sémantiquement sur la plateforme

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. Ce 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 vue 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

c. 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-situ³²
- 2018 : date du rapport de philippe Bromblet sur les statues³³ 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 particulière³⁴ ou pour un thème particulier³⁵.

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 correspondants, afin d'observer la statue à l'époque.

- Les difficultés d'annotation

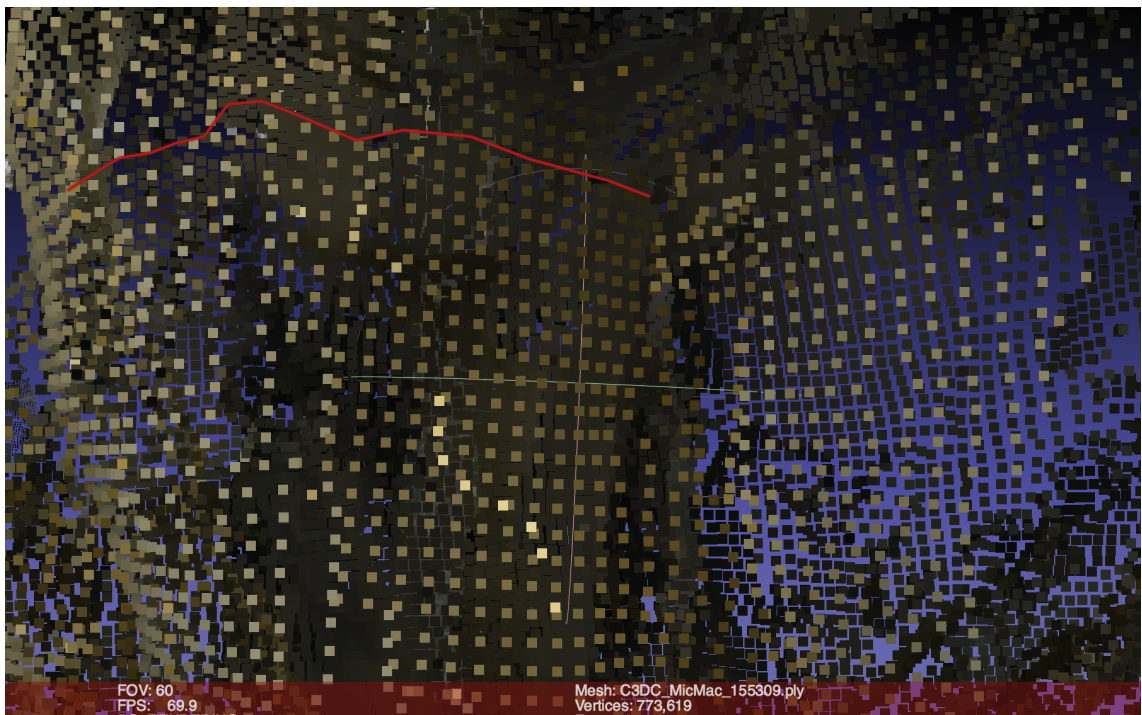
Comme mentionné précédemment, les bugs actuels du logiciel, ont rendu difficile l'annotation de la statue et la création des calques. En plus des problèmes déjà rencontrés sur le calque des matériaux, d'autres ont été constaté ici, notamment lors de l'annotation de petites zones. Les premiers problèmes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

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

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

34 Voir pages 74 à 79

35 Voir pages 80 et 81



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

Comme le trait n'existe pas pour le moment sur Aïoli, 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 Aïoli. 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 importante que celle d'une photo, pour comprendre cet échec. On voit en bas le nuage de points d'Aïoli, 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 Aïoli, 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 dû 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 Aïoli, 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

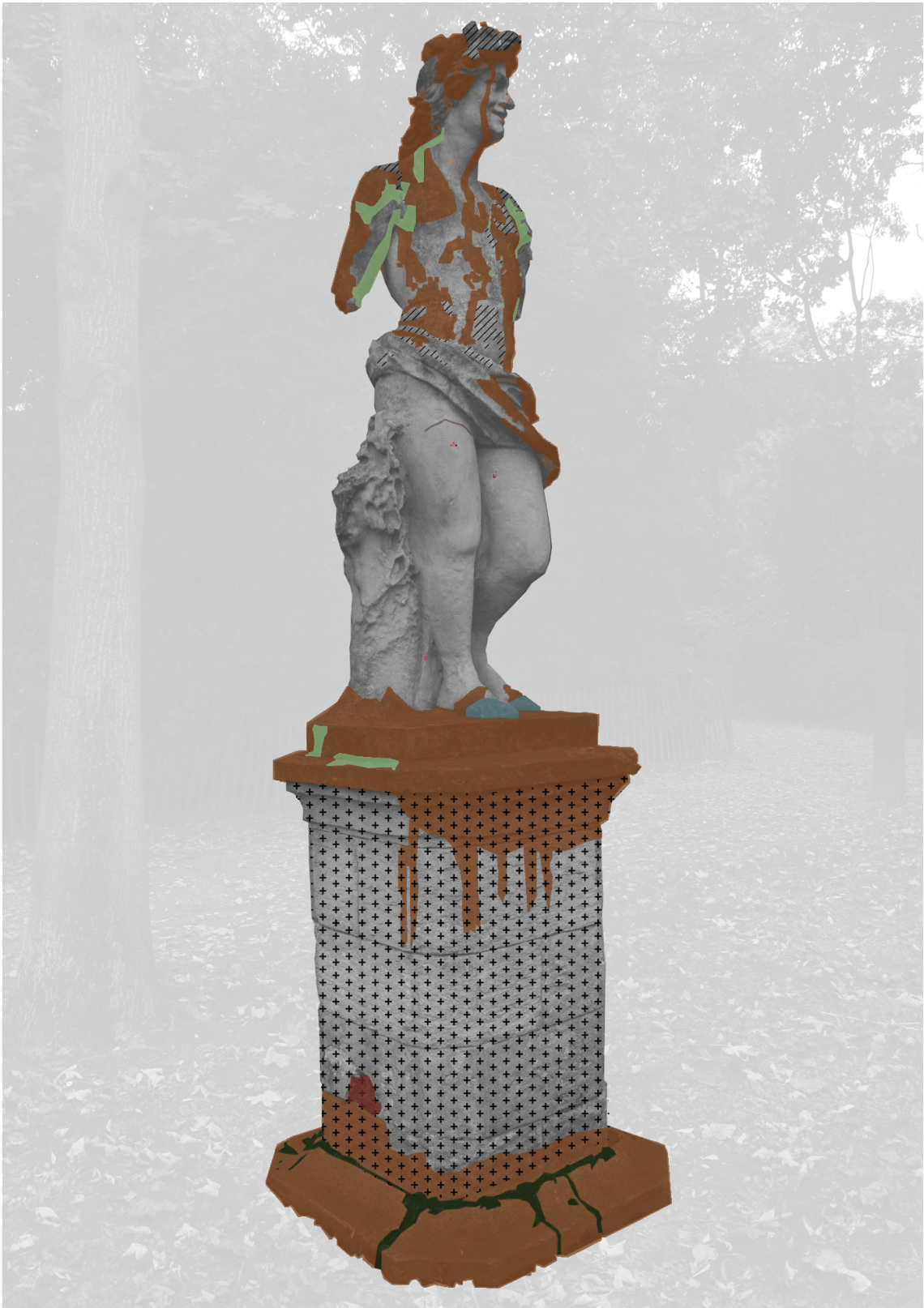
■ joint d'assemblage

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

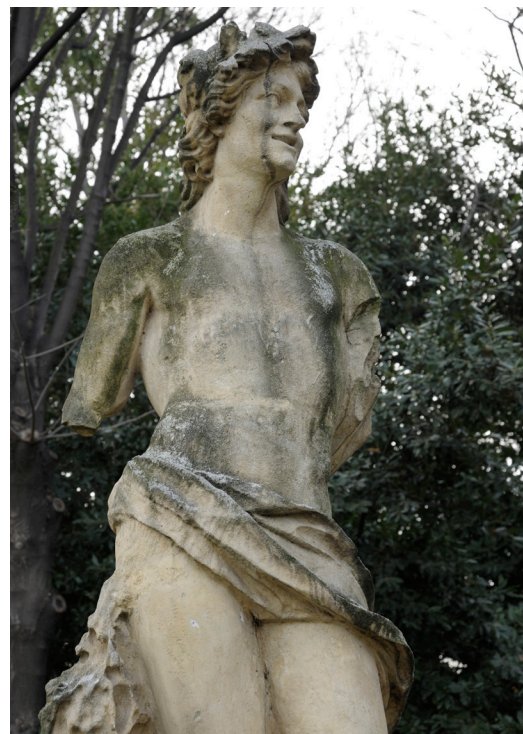
altérations chromatiques et dépôts

■ coloration grise
 ■ blanchiment

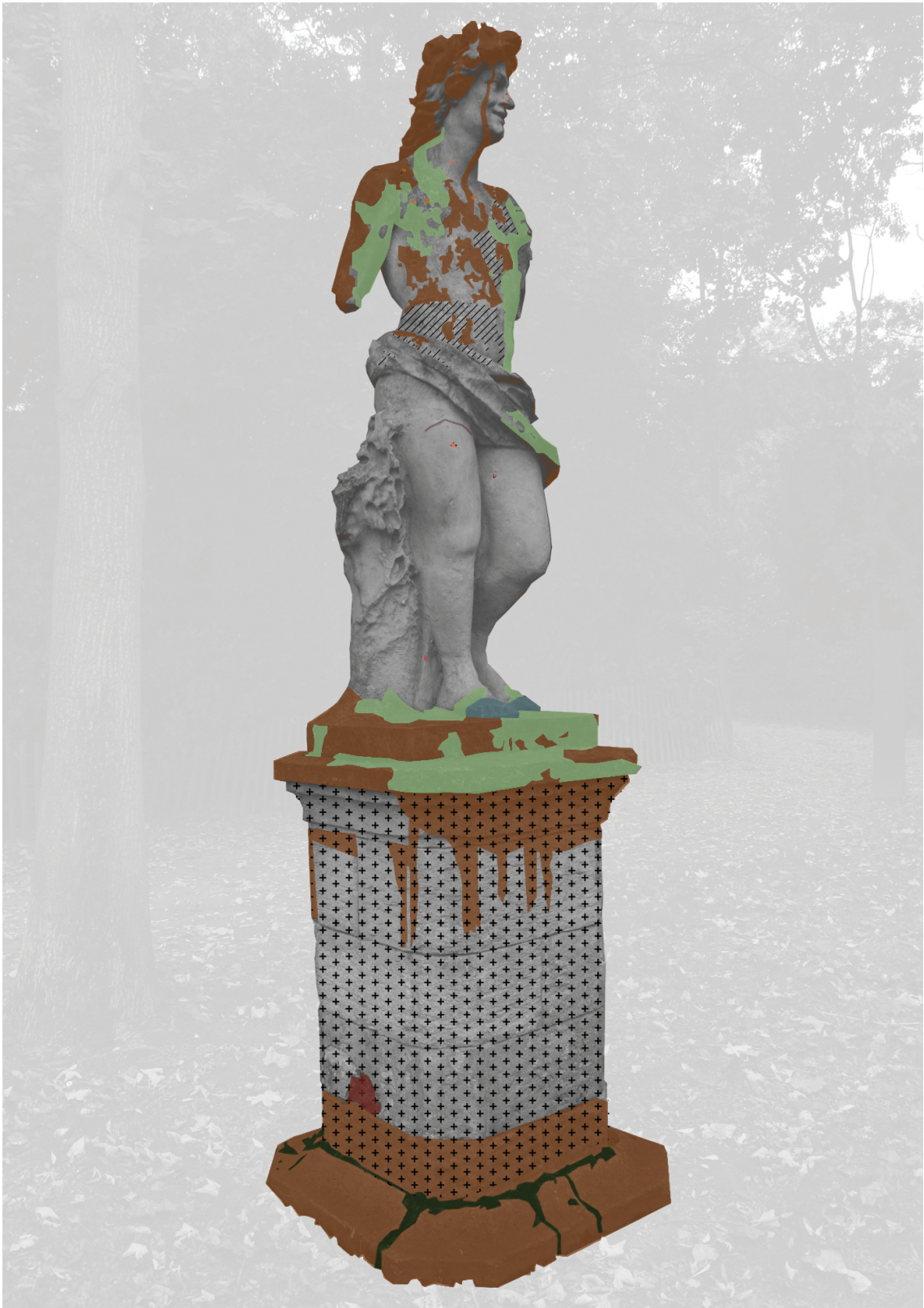
colonisations biologiques

■ 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 propices 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
- greffes de pierre (Pierre des Estailades, calcaire blanc) - collages divers - ragréages de couleur orange abricot faits au ciment prompt, de type ciment « Valentine »	- 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 - coulinage 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	d'après le rapport de Philippe Bromblet : - 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 ».

d. Les restaurations

- Une indication des restaurations souhaitables

En plus des dégradations subies par la statue, la question des restaurations qu'elle a connues semble tout aussi importantes. 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'état³⁶. 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.

- Un modèle pour cartographier les restaurations effectuées

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 effectuée.

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 dans le cas d'une étude complète d'oeuvres sculptées.

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. Dans le cas le «l'automne» en revanche, sur laquelle

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

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.

3. Bilan du diagnostic numérique

a. Conclusions du diagnostic réalisé

- 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 photos pourrait entraîner une perte d'informations 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'apporter 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.

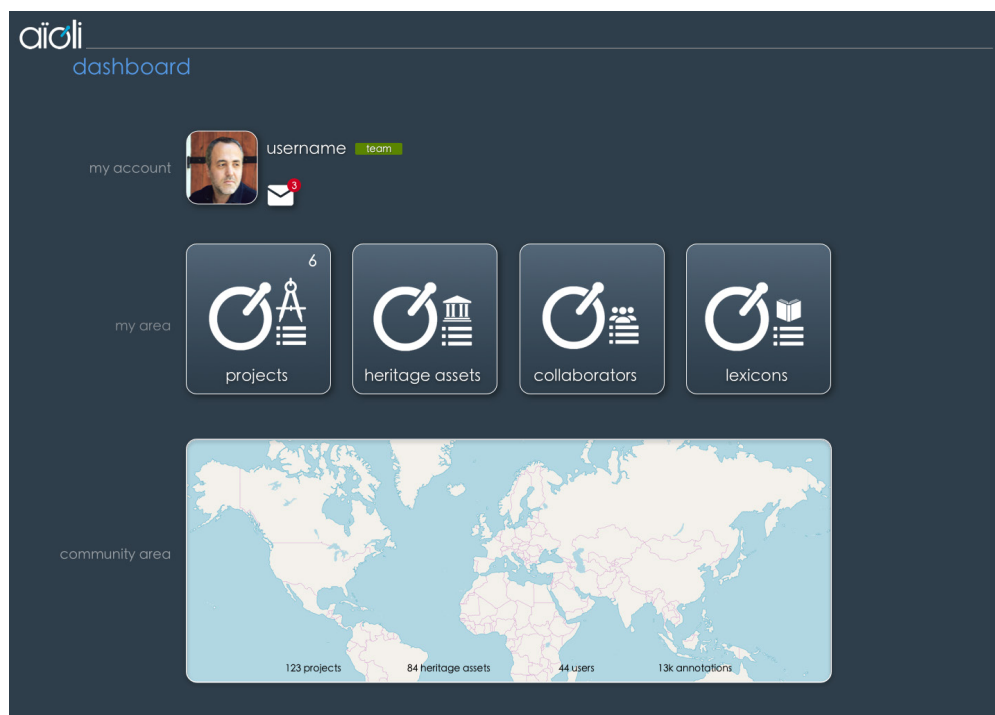
- Le diagnostic numérique : une méthode innovante pour faire progresser le diagnostic des statues

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.

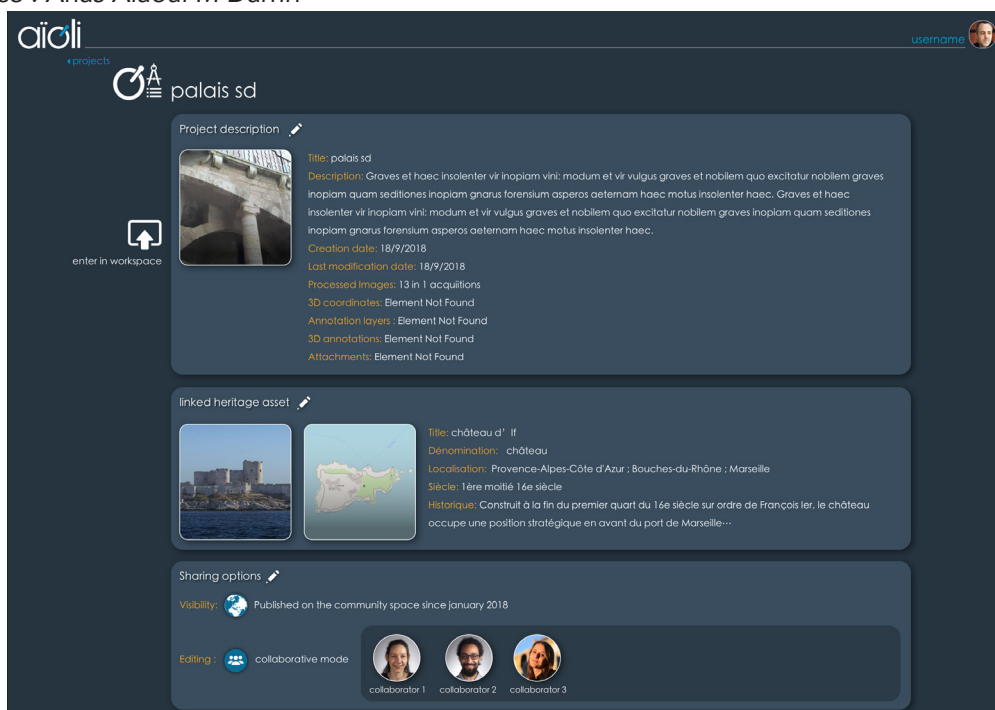
Comme évoqué brièvement précédemment, cette forme d'annotation permet de faire émerger une utilisation innovante des données récoltées. Ainsi, le fait de pouvoir observer directement un type de dégradation à différents moments de l'existence de la statue, permettrait de croiser directement les différents 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.

- 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.



Vue de l'interface d'aioli sur la nouvelle version
Source : Anas Alaoui M'Darhri



Vue de l'interface d'aioli sur la nouvelle version : le projet
Source : Anas Alaoui M'Darhri

b. Le fonctionnement actuel de la plate-forme

- Résolution de bugs entre les deux versions

Néanmoins, comme évoqué au début de ce travail, aioli est une plateforme qui est encore en développement, et qui, par conséquent, cherche à s'améliorer, à rendre son usage et son fonctionnement plus performant. De plus, entre le début de ce travail, initié en septembre, et aujourd'hui, la plateforme a été rendue accessible dans une nouvelle version.

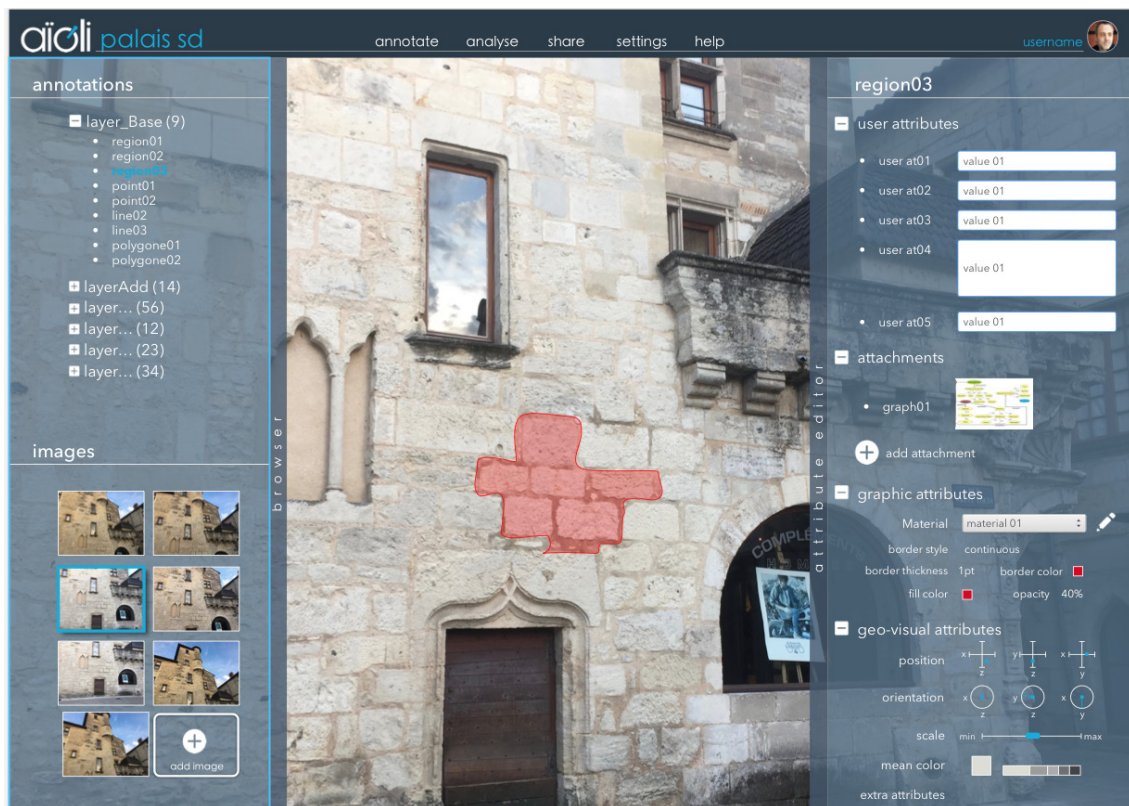
L'arrivée de cette dernière peut nous permettre d'avoir un nouveau regard sur ses possibilités, puisque certaines limites ou bugs auxquels ce travail s'est heurté, ne sont aujourd'hui plus d'actualité.

Ainsi, le principe et l'utilisation restent globalement les mêmes, en présentant toujours le nuage de point comme un médium entre les images. Cependant, le viewer a changé, en mettant en place une hybridation entre l'environnement 2D et 3D, précédemment obligatoirement séparés. Aujourd'hui, l'utilisateur dispose donc d'un environnement unique, au sein duquel les photographies sont affichées autour du nuage de point généré, montrant ainsi l'angle de prise de vues de photo par rapport à l'objet. Il est ensuite possible de cliquer sur chacune des photographies ainsi positionnées, afin de les afficher.

D'un point de vue technique et informatique, le fonctionnement de la base de données, a, lui, totalement changé. Ainsi, la base auparavant relationnelle et spl, est aujourd'hui une base de données orientée documents., plus performante et plus pratique à coder, à développer. Dans le même esprit, la bibliothèque extérieure a été supprimée, facilitant ainsi les mises à jour de la plateforme.

Le fonctionnement des régions a également été transformé. Auparavant ces dernières étaient stockées dans des champs vides, ce qui n'est plus le cas, permettant ainsi de rendre les données plus dynamiques, et de leur permettre d'évoluer. Ainsi, les phénomènes de «trous» remarqués sur les régions identifiées devraient être moins fréquents.

D'autre part, on peut noter des progrès quant à la praticité de l'usage de la plateforme, augmentant par la même occasion, la pertinence de son utilisation au sein du domaine de la conservation du patrimoine statuaire. En effet, il est désormais possible de renommer les calques, de les classer autrement ou encore de changer la couleur des régions. Ces nouvelles possibilités sont des atouts précieux, permettant un usage plus fluide pour l'utilisateur, l'autorisant ainsi à modifier des éléments et des régions déjà établies, ne l'obligeant plus à recommencer son tracé si un de ces éléments devait être changé.



Vue de l'interface d'aïoli sur la nouvelle version : l'espace de travail
Source : Anas Alaoui M'Darhri

Dans le même esprit, il est désormais possible de créer des groupes. Chacune des régions correspond alors à un alque, qui lui même peut être classé au sein de ces groupes. Cet ajout a notamment été envisagé suite aux retours de professionnels, afin, comme évoqué ici, de pouvoir classer les calques selon des périodes de temps données. Il est ainsi possible d'afficher tous les calques correspondant à un état avant restauration, et tous ceux présentant l'état après la restauration.

L'usage a également été facilité grâce au renvoi des tâches en cours en arrière plan. Alors que précédemment, la barre de chargement sur l'écran empêchait de commencer une toute autre action, cela n'est plus le cas. Ce processus s'effectue en arrière plan. Il est par exemple possible de commencer à dessiner une nouvelle région quand la précédente est en cours de chargement. Il s'agit une fois plus d'un gain de temps pour l'utilisateur, facilitant son travail et pouvant le rendre plus enclin à utiliser cet outil.

- Une version bientôt accessible au public

Néanmoins, certaines améliorations sont encore prévues et seront mises en place avant la diffusion de l'application. Parmi elle, la plus importante reste la future possibilité d'importer soi même un nuage de point sur aïoli, pouvant être créé avec un autre logiciel. Cela aurait l'immense avantage d'autoriser l'utilisateur à nettoyer son nuage de point en amont, puisque cela n'est pas possible sur la plateforme. Ainsi, chacun pourra supprimer les éléments de l'environnement ou tout autre élément non pertinent dans le cadre de l'analyse, sans avoir à mettre en place des caches, processus à la fois long et fastidieux.

Aïoli se rapproche donc peu à peu de sa sortie au public, en proposant aujourd'hui une version plus performante d'un point de vue informatique mais également du point de vue de l'usage, de la prise en main et du gain de temps pour tout utilisateur. Ces nouvelles possibilités laissent donc entrevoir une belle progression concernant l'établissement de cartographies des phénomènes d'altérations.



DEFINITION DE L'ONTOLOGIE

1. Phase de documentation : définition d'un vocabulaire contrôlé

a. Une situation expérimentale

- Objectif de l'étude

Suite au travail de cartographie et d'utilisation de plateforme d'annotation sémantique en trois dimensions, se pose la question de voir comment ces outils pourraient être encore davantage utiles au domaine de la conservation du statuaire. Comme évoqué précédemment, la conception d'une ontologie de domaine pourrait aider à concevoir un suivi numérique centralisé des oeuvres. L'ontologie ainsi réalisée pourrait alors intégrer des données autorisant les experts de la restauration à suivre les phénomènes de dégradation observés. Ainsi, cet outil permettrait d'aider à la prise de décision et d'intervenir plus rapidement sur ces oeuvres sculptées abîmées. L'annotation en trois dimensions de telles oeuvres, mêlée à une représentation formelle des connaissances peut alors aider les différents acteurs du domaine de la restauration en créant un outil partagé présentant une représentation de l'objet accessible à tous.

Ici, cette approche de l'oeuvre par l'entrée que constitue le vocabulaire et la structuration sémantique d'une ontologie a pour but d'aborder le cas d'étude sous un nouveau jour. Cette étude, au delà de constituer un premier pas vers le but qu'elle souhaite atteindre, à savoir un outil commun, cherche à savoir si déjà, à l'échelle d'un seul objet, l'introduction de ces concepts et structuration peut nous en apprendre davantage sur l'oeuvre. Il va ainsi être possible de voir si l'analyse réalisée précédemment a peut-être, à tort, négligé certains aspects de l'oeuvre.

Pour cela, le travail se décompose en plusieurs étapes, telles que définies par la méthode Lassila. Cette dernière distingue une première phase dédiée à la documentation et la décision, et une seconde, qui est la phase d'intégration. Cette dernière ne sera pas réalisée dans ce travail, puisque la dimension purement informatique ne sera pour le moment pas exploitée dans le temps imparti ici.

Il faut donc commencer par la documentation, en collectant les termes tout d'abord, puis à les définir afin de concevoir peu à peu un vocabulaire contrôlé puis un glossaire. Ainsi, chaque lecteur doit pouvoir connaître la signification des mots employés. Il devient ensuite nécessaire de structurer ces termes, qui deviennent alors des classes de description, et définir les propriétés qui les relient. Les différentes étapes de ce travail seront expliquées au fur et à mesure de leur progression.

- Définition d'une ontologie pour un seul objet

La définition d'une ontologie de domaine est un travail est un processus très long, qui ne peut pas être réalisé en quelques mois, dans le cadre d'un TPER. On peut citer à titre d'exemple le travail de Tommy Messaoudi, qui, pour traiter de cette question dans le domaine du patrimoine bâti, a dû réaliser ce travail sur une période de 3 ans, correspondant à la durée de sa thèse.³⁷

Afin de réaliser ce travail, l'objectif est donc ici, comme précédemment lors du travail de cartographie, de se concentrer sur le cas d'étude de la statue Automne, afin de réaliser une organisation sémantique, une définition de classe, et un modèle d'ontologie de domaine qui pourrait s'appliquer à ce cas d'étude.

Ainsi, on ne construit que les classes de descriptions qui sont nécessaires à cette oeuvre, ce qui réduit considérablement le nombre de termes à organiser. Toutefois, les classes et leur appellations, elles, restent par leur nature, plus générales : on pourrait ainsi imaginer qu'elles puissent s'appliquer dans le cas de nombreuses oeuvres sculptées. Ainsi, bien que réalisé pour un cas d'étude donné, ce travail de structuration trouvera une résonance auprès du reste du patrimoine statuaire, permettant simplement de réduire le nombre de termes et de définitions à établir.

Il faut désormais démarrer la phase de documentation. A terme, celle-ci doit permettre de progresser d'un vocabulaire contrôlé à un glossaire, puis à un thésaurus et enfin, à une hiérarchie formelle des termes utilisés pour la qualification de la statue Automne.³⁸

Comme évoqué en début de ce travail, une ontologie doit s'appuyer sur un vocabulaire contrôlé³⁹. Cette première étape consiste donc à essayer de construire ce vocabulaire pour le cas d'étude en présence. Cette première phase de documentation doit ainsi mener à consulter les différents experts en présence afin de collecter leur avis sur les termes retenus et sur leur définition. Chaque terme doit ainsi être choisi, approuvé puis défini avec les différents experts. Pendant tout le processus de conception, ce vocabulaire spécifique doit rester inchangé. Chacun des termes va ensuite être transformé en concepts et des classes de description composant cette ontologie de domaine. Ce travail sera réalisé dans un second temps : pour le moment, leurs liens de subsomption ne sont pas définis, il nous faut d'abord choisir les termes et les définir.

37 Tommy Messaoudi. Proposition d'une ontologie de domaine dédiée à l'annotation d'images spatialisées pour le suivi de la conservation du patrimoine culturel bâti. Autre. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM, 2017. Français.

38 Tel que défini par la méthode Lassila

39 Voir pages 38 à 41

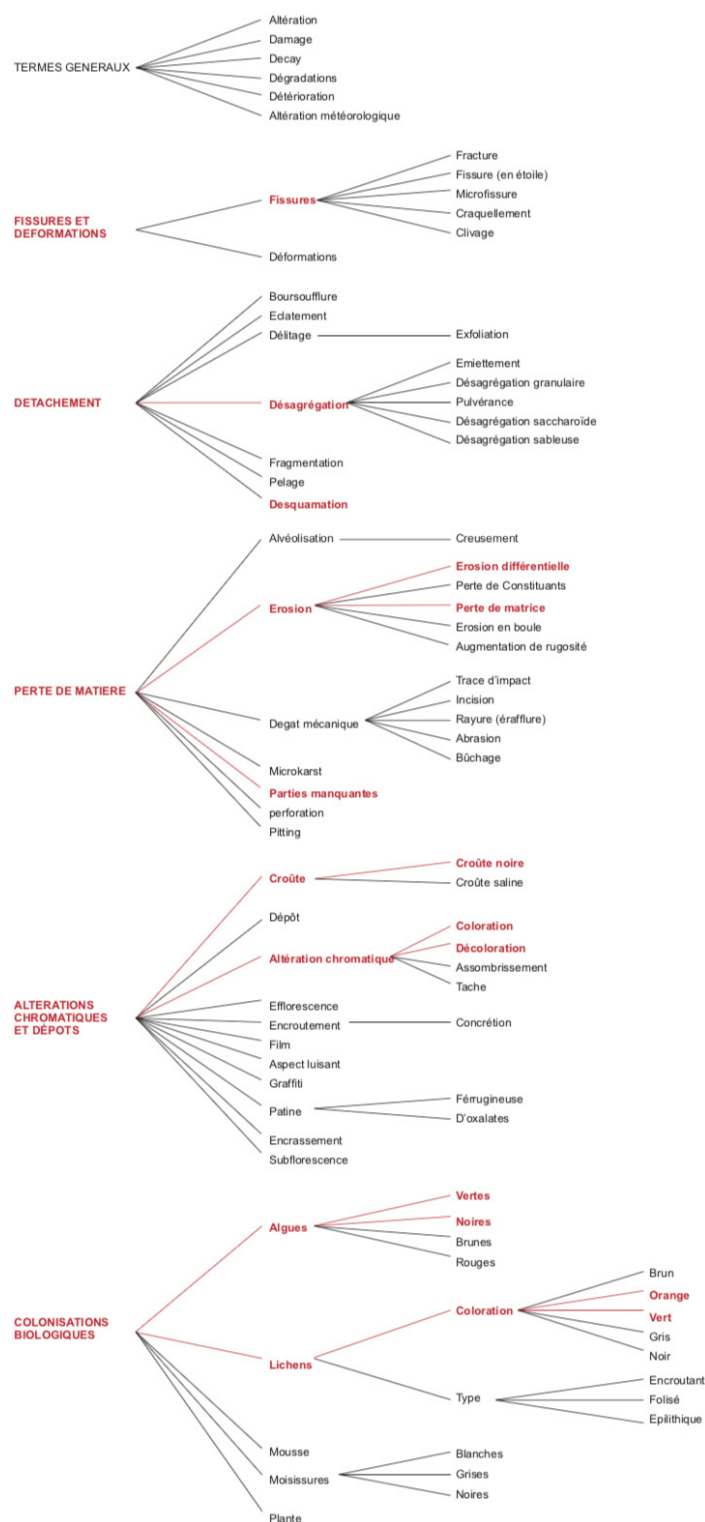


Diagramme représentant les figures d'altérations définies dans le glossaire ICOMOS et mettant en lumière celles observées sur la statue

b. Choix des termes

- Un point de départ : la question du vocabulaire pendant les cartographies

Avant de commencer ce travail, il nous faut faire un point sur la façon dont la question du vocabulaire avait été abordée lors de la conception des cartographies, et plus précisément lors de la définition de leurs légendes.

Au cours des mois précédents, certains experts tels que Philippe Bromblet et Odile Guillon notamment, ont pu suivre le travail effectué, notamment au moment de la construction des cartographies. Ils ont ainsi pu exprimer un avis concernant la pertinence des cartographies réalisées, leur lisibilité, et surtout, sur les termes choisis, notamment en ce qui concerne les altérations remarquées sur l'oeuvre.

On peut noter que ces termes étaient déjà extraits des différents constats d'état⁴⁰, ainsi que du glossaire ICOMOS sur les figures d'altérations de la pierre⁴², qui, comme évoqué en partie I, représente déjà une forme de consensus scientifique, grâce à la consultation des différents acteurs en présence, déjà réalisée pour établir le glossaire.

D'autre part, les matériaux, et autres constituants de l'oeuvre ont été de nombreuses fois évoqués dans les différents rapports d'experts réalisés au fil des années, et déjà évoqués en partie II, permettant ici de qualifier les composants avec une certaine rigueur scientifique.

L'image ci-contre représente la façon dont le vocabulaire avait été abordé afin de constituer les légendes. On peut y voir l'organisation sous forme de diagramme, de tous les termes évoqués dans le glossaire de l'ICOMOS. En rouge, sont indiquées les figures d'altérations précédemment repérées sur la statue, toutes époques confondues. Sur le second schéma (page suivante), sont extraits ces mêmes termes, et à ces derniers avaient été ajoutés deux termes supplémentaires, pour qualifier des dégradations qui n'affectaient pas la pierre, mais davantage la couche de protection ou les restaurations d'une époque ancienne qualifiées de disgracieuses. Il s'agit là de la représentation des termes tels qu'ils avaient été employés lors de la cartographie. Ces termes n'étaient par conséquent pas extraits du glossaire. Il peut donc être intéressant de voir si la conception d'une ontologie peut cette fois-ci nous amener à concevoir différemment le rapport entre les termes employés, et si ces derniers peuvent eux-mêmes être remplacés.

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

41 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.

42 Cartwright, Vergès-Belmin, and International Scientific Committee for Stone, Illustrated Glossary on Stone Deterioration, 2008.

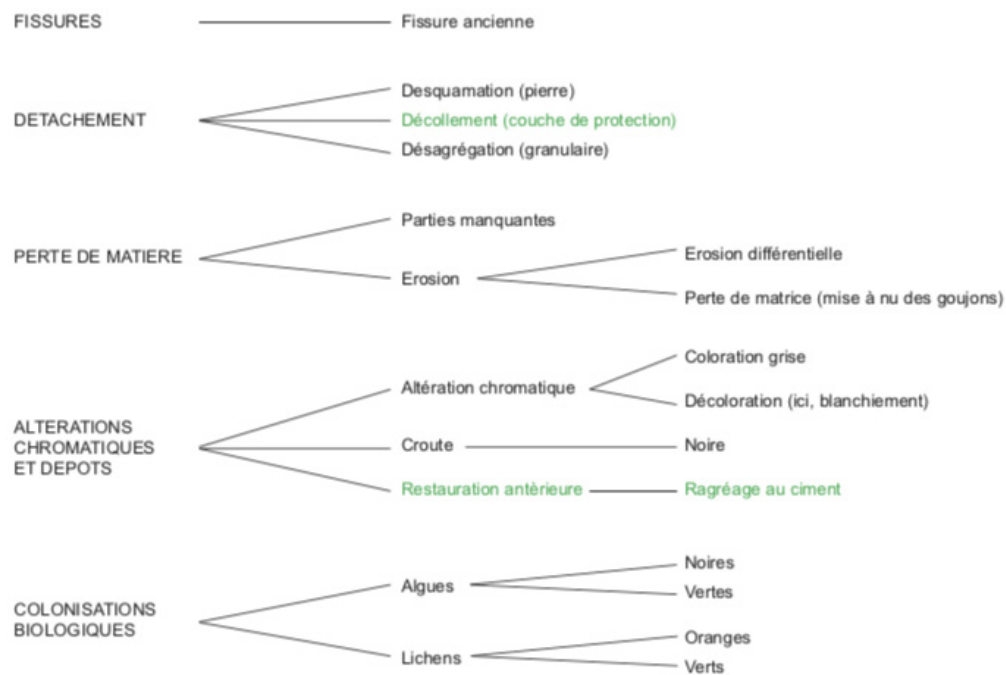


Diagramme représentant les figures d'altérations définies dans le glossaire ICOMOS et présentes sur la statue

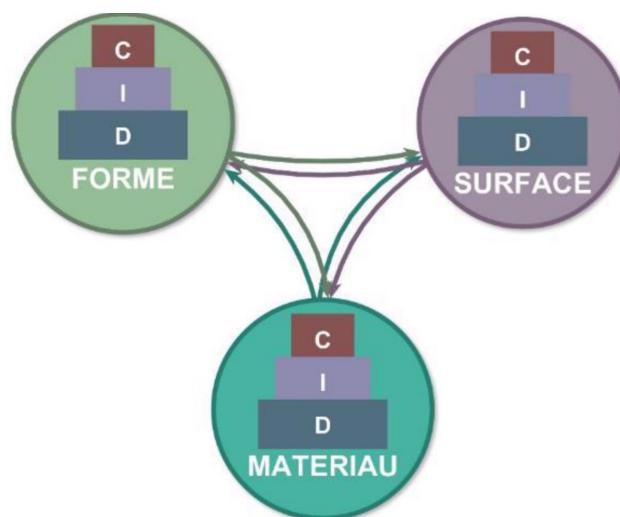


Schéma représentant le croisement des Données-Informations-Connaissances des trois composantes d'étude du domaine de la conservation
Source : thèse Messaoudi

- Choisir les termes : Quelles sont leurs composantes ? Quelles sont leurs sources ?

Pour cette nouvelle étape du travail, il faut désormais déterminer de quelles sources extraire les termes utilisés, en fonction des composantes auxquelles ils appartiennent. Il nous faut donc savoir quels aspects de l'oeuvre il nous faut caractériser, afin de savoir comment et par quels termes la caractériser.

On peut pour cela partir du constat que la communauté scientifique du domaine de la restauration, collecte lors de son travail, des données de différentes natures. Il peut s'agir de données concernant :

- la surface de l'oeuvre, se rapportant donc à une analyse visuelle
- la forme de l'oeuvre, se rapportant donc à une analyse géométrique
- les matériaux de l'oeuvre, se rapportant donc à une analyse physico-chimique

Ainsi, chaque composant permet de fournir des données, des informations et des connaissances différentes sur un objet donné, et établies dans chacune des étapes du diagnostic ou du constat d'état.

Si au semestre précédent les deux derniers ont été abordés, la question de la forme, elle, est restée quelque peu mise de côté, le travail s'étant davantage attaché à la caractérisation des figures d'altérations. Il peut donc être intéressant ici, de chercher à réinjecter cette notion très importante dans la description d'une oeuvre, et dans la perspective de sa conservation. En effet, il ne faut pas oublier qu'il s'agit ici d'une oeuvre d'art, et que l'analyse de ses composants par une approche scientifique ne permet pas de lui rendre totalement justice, omettant ainsi sa part artistique et créative.

Ainsi, dans cette nouvelle étape du travail, les termes se rapportant aux dégradations, aux altérations, mais aussi aux composants et aux matériaux de l'oeuvre, et aux différentes restaurations, ont les mêmes sources que lors de la réalisation des cartographies, et sont donc bien extraits du glossaire ICOMOS ainsi que des constats d'états réalisés au fil des ans. Cependant, ils seront ici définis, et structurés de façon plus pertinente et plus complète, les relations entre les termes n'ayant pas été étudiées ou remises en question lors de la cartographie.

En effet, les termes, s'attachant par exemple à la forme ou à la thématique de l'oeuvre, n'avaient pas été abordés ni cartographiés. Des termes, moins scientifiques, mais plus visuels doivent ainsi être ajoutés, afin de qualifier également l'oeuvre en fonction de son sens, de ce qu'elle représente, de sa thématique. Ces termes plus communs, et génériques ont cette fois-ci pu être définis grâce aux dictionnaires communs tels que le Larousse ou le CNRTL⁴³.

43 Centre national de ressources textuelles et lexicales

Altérations

Fissure
Détachement
Désquamation
Désagrégation
Pulvéraence
Perte de matière
Partie manquante
Erosion
Erosion différentielle
Perte de matrice
Altération chromatique
Dépot
Croute
Coloration grise
Décoloration
Colonisation biologique
Algue
Lichen
matériaux inadapté
Décollement
Mise à nu
Arrosage automatique
Engrais
Encrassement

Forme et Thème représenté par l'oeuvre

Oeuvre figurative
Figure humaine
Homme
représentation métaphorique
Saison
Automne

Techniques de restauration et construction

Greffe
Collage
Injection
Ragréage
Liaison acrylique
Pré-consolidation
Pulvérisation
Application au pinceau
Traitement biocide
Coulinage
Application de patine
Fixation
Hydrofugation de surface
Réfection
Assemblage
Nettoyage manuel
Nettoyage mécanique
Purge manuelle
Micro-gommage

Composants et matériaux de l'oeuvre

Roche sédimentaire
Molasse coquillère
Pierre de la Couronne
Calcaire coquiller
Calcaire mirifique crayeux
Calcaire blanc
Pierre de Calissane
Pierre des Estailades
Ciment
Chaux
Lait de chaux
Chaux aérienne
Joint
Goujon
Ligature
Résine époxydique
Résine acrylique

- Liste exhaustive des termes

Les termes finalement retenus sont présentés ci-contre. Pour comprendre cette liste et sa division en plusieurs catégories, avant même la présentation des classes de description, il est important de noter que ce travail de choix et de définition des termes s'est effectué pendant ces quelques mois, conjointement avec la définition des classes.

Un travail d'aller-retour constant a en effet permis de mesurer quels termes et définitions pouvaient manquer afin de qualifier proprement l'oeuvre, et à l'inverse de voir si les classes définies permettaient de contenir et d'articuler efficacement les termes déjà retenus car nécessaires pour décrire et qualifier l'oeuvre. Ainsi, ce processus a permis de réaliser un travail plus exhaustif afin de qualifier au mieux l'oeuvre et les propriétés en présence.

Cependant, afin de clarifier le propos et de mettre en lumière les différentes étapes essentielles de la définition d'une ontologie, il a été choisi de présenter le travail ainsi, en séparant la construction du vocabulaire, de sa structuration. Les classes de description seront donc présentées dans un second temps, après la collecte et la réalisation de définitions de tous les termes présents dans ce coeur ontologique.

Par conséquent, les termes ci-contre répondent à différentes catégories, qui ne portent par le nom des classes de descriptions définies par la suite, mais qui obéissent toutefois à une forme de structuration instinctive des différents termes récoltés.

Ainsi, on retrouve d'abord assez naturellement les termes qualifiant les altérations et les matériaux, tels que précédemment collectés. D'autre part, les restaurations et méthodes de construction de l'oeuvre, quelque peu délaissées précédemment et influant pourtant grandement sur la surface et la forme de l'oeuvre, ont fait leur apparition. Enfin, il restait à aborder la forme et le thème exprimé par la statue, qui reste une oeuvre d'art, et non une forme dépourvu de poésie ou se limitant à une définition scientifique de ses composants.



Photographie d'une fissure présente sur la jambe droite de la statue



Photographies de la desquamation de la pierre sur la jambe droite de la statue



Photographies des parties manquantes : membre supérieur droit entier, membre supérieur gauche à partir de la moitié du bras

c. Définition des termes

Après la sélection et l'identification des termes nécessaires, il faut désormais les définir, en expliciter leur signification. Il faut pour cela établir un glossaire avec tous les termes, les gloses. Il s'agit du travail réalisé ci-dessous, compilant des définitions recueillies et bâties tel qu'expliqué précédemment. Il s'agit encore à ce stade d'un modèle dépourvu de logique informatique ou d'une quelconque forme de structuration. Chaque terme se trouve alors défini au sein de catégories provisoires destinées à faciliter la lecture.

- Les altérations environnementales

FISSURES

Fissure :

Une fissure est un plan de rupture vu en coupe qui résulte de la séparation d'une pierre en deux parties.

Faïençage : Réseau de fissures affectant un émail, un enduit.

DETACHEMENT

Desquamation (pierre) :

«Détachement d'écailles de pierre individuelles ou en paquets indépendamment de toute structure orientée préexistante. La desquamation se développe parallèlement à la surface ou en écailles de poisson. L'épaisseur des écailles est négligeable par rapport à leur extension.»

La desquamation affecte la partie superficielle de la pierre, sur une fraction de millimètres à plusieurs centimètres d'épaisseur.

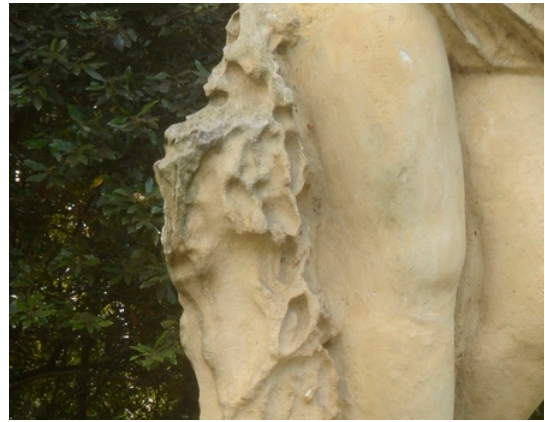
Desagrégation granulaire :

Détachement de grains individuels ou d'agrégats de grains. Les particules du matériau ne sont plus liées.

Se développe sur les roches granulaires (ex. grès) ou à texture grenue (ex. granites). Elle conduit souvent à la formation de dépôts meubles au dessous des zones affectées. Si la surface de la pierre forme une cavité (creusement), les matériaux détachés peuvent s'accumuler par gravité sur la partie inférieure de la cavité. La taille des grains détermine la taille des matériaux détachés.

pulvérence :

Désagrégation en poudre d'un matériau à grains fins (ex. craie).



Photographies d'érosion sur la pierre de la statue, au niveau des pieds (à gauche) et du modelé de la jambe (à droite)



Photographie de la croute noire présente en 1999 sur le drapé entourant les hanches de la statue



Photographies d'altérations chromatiques : blanchiment du torse de la statue (à gauche) et coloration grise du socle (à droite)

PERTE DE MATIERE

Parties manquantes :

Absence de tout ou partie d'une pierre. Cette figure d'altération affecte fréquemment les éléments proéminents et particulièrement exposés des sculptures (nez, orteils, doigts). Ici il s'agit des deux bras de la statue, ainsi que des portions de son socle

Erosion :

Disparition de la surface originelle de la pierre, conduisant à des contours émoussés.
Erosion différentielle : Conduit à la formation de reliefs, par exemple à la création d'irrégularités à la surface de la pierre. Elle apparaît si l'érosion ne progresse pas de façon homogène sur toute la surface de la pierre. On trouve cette figure sur les pierres hétérogènes, contenant des zones plus dures et/ou moins poreuses. Les roches calcitiques peuvent aussi présenter une érosion différentielle résultant d'une attaque sélective par des lichens. Certaines roches sédimentaires et volcaniques sont particulièrement sujettes à ce type d'altération.

Perte de matrice : processus inverse correspondant à une élimination sélective de la matrice de la pierre, avec pour conséquence la mise en relief de constituants compacts de la pierre (ex. : galets, fossiles, fragments de lave).

ALTERATIONS CHROMATIQUES ET DEPOTS

Croûte :

Accumulation de matériaux en une ou plusieurs couches superficielles cohérentes. Une croûte peut contenir des dépôts exogènes combinés avec des matériaux dérivés de la pierre. Une croûte est fréquemment de couleur foncée (ex. Croûte noire) mais on rencontre aussi des croûtes de teinte claire. Les croûtes peuvent avoir une épaisseur homogène, auquel cas elles reproduisent fidèlement les contours de la pierre, ou bien avoir une épaisseur irrégulière ce qui perturbe la lecture des détails superficiels.

Croûte noire : Croûte de couleur grise à noire, habituellement fortement adhérente, et qui se développe en milieu urbain, dans des zones protégées de l'impact direct de la pluie ou des ruissellements d'eau. Les croûtes noires sont principalement constituées de particules provenant de l'atmosphère, piégées dans une matrice de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Altération chromatique :

Modification d'un ou plusieurs des paramètres caractérisant la couleur de la pierre : teinte, clarté, saturation. Teinte : correspond à la caractéristique la plus marquante de la couleur (bleu, rouge, jaune, orange etc.). Clarté : correspond au caractère foncé (clarté faible), ou clair (forte clarté) de la couleur.

Saturation : correspond à la pureté d'une couleur. Les couleurs à saturation élevée paraissent vives et pleines. Les couleurs à saturation faible paraissent grisâtres et ternes.



*À gauche : Photographie d'algues vertes à l'arrière de la statue
À droite : Photographie de lichens sur le socle de la statue*



Photographies de décollements de la couche de protection au niveau des jambes de la statue



Photographies des restaurations anciennes sur la statue

Coloration : changement de teinte, de clarté et /ou à un gain en saturation.

Décoloration : Augmentation de clarté, due à l'altération chimique des minéraux (par exemple réduction du fer et du manganèse) ou à l'extraction de matière colorante (par lavage, lessivage), ou par perte de poli, généralement très superficielle. Les marbres foncés et ceux de couleurs vives subissent souvent une décoloration suite à une exposition aux intempéries. Un blanchiment est une sorte de décoloration.

COLONISATIONS BIOLOGIQUES

Algues :

Les algues sont des organismes végétaux microscopiques sans tige ni feuille formant à l'intérieur comme à l'extérieur des édifices des voiles verts, noirs ou rouges ou bruns (épaisseur quelques dixièmes de mm à plusieurs mm). Selon les conditions environnementales et le substrat, les algues peuvent former des films pulvérulents ou visqueux. Les algues se développent principalement dans les situations où la surface du substrat reste humide pendant de longues périodes. Sur les monuments, les algues sont constituées de rassemblements uni ou multicellulaires, elles ne forment jamais de macro-organismes.

Lichens :

Structure végétale millimétrique à centimétrique, généralement arrondie, ayant un aspect encroûtant ou buissonnant, et l'aspect du cuir. De couleur variée (orange, vert, gris, brun ou noir), ils ne montrent pas de différenciation en feuilles, tige et racine. Les lichens se développent généralement sur les surfaces externes de monuments.

- Les altérations humaines

Décollement : *(définition personnelle)*

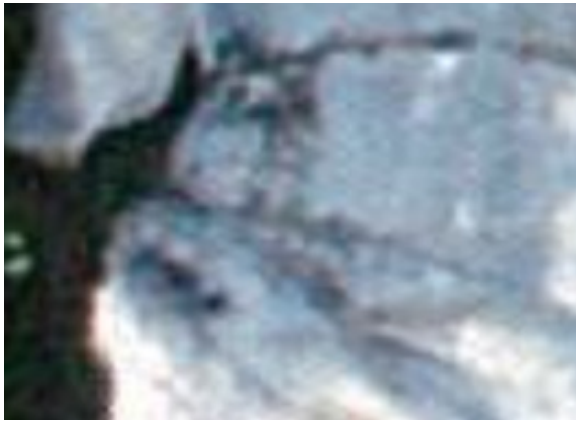
Détachement d'une fine couche appliquée en surface de la pierre. Se distingue de la desquamation car il ne s'agit dans ce cas, pas du détachement d'une couche de pierre, mais d'un matériau ajouté (exemples : détachement partiel d'une couche de protection appliquée pendant une rénovation, d'un détachement de matériaux appliqué pendant une période ancienne comme du ciment, du plâtre etc).

Réstauration antérieure : *(définition personnelle)*

Qualifie la distinction d'une intervention sur la pierre, qui nuit à son intégrité structurelle ou esthétique. Elle peut se distinguer par son aspect, avoir été mal appliquée ou résulter d'un choix qui ne respecte pas la destination initiale de l'objet. Il s'agit souvent d'interventions anciennes.



*A gauche : photographie des matériaux inadaptés des restaurations anciennes
A droite : photographie de l'arrosage automatique en marche*



*A gauche : photographie de l'encrassement de la statue en 1999
A droite : photographie d'une roche sédimentaire en 2011*



*A gauche : photographie du piedestal de la statue en molasse coquillère, en 2011
A droite : photographie d'une molasse coquillère, en 2018*

Matériaux inadaptés :

Matériau qui n'est pas en harmonie avec son milieu, qui n'y est pas intégré.

Arrosage automatique :

Action de répandre de l'eau grâce à un dispositif inventé par l'homme.

Circulation automobile :

Ensemble des véhicules qui circulent.

Engrais solides :

Fertilisant, un type de substance organique ou inorganique qui contient des éléments nutritifs sous des formes assimilables par les plantes, pour maintenir ou augmenter le contenu de ces éléments dans le sol. Ici, sous forme de granulés.

Encrassement :

Dépôt très fin de particules exogènes (par ex. poussières, suies) donnant un aspect sale à la surface de pierre.

Le substrat n'est pas considéré comme dégradé. L'encrassement peut avoir différents degrés d'adhérence à la surface.

Un encrassement peut évoluer en croûte noire lorsque son épaisseur et son adhésion s'accroissent.

On fait parfois une distinction entre les encrassements ayant comme origine la pollution atmosphérique, ceux dus à des particules transportées par l'eau (ex. : coulures), et enfin ceux dus à une source anthropique (ex. : convection due au chauffage).

- Les composants

Roche sédimentaire :

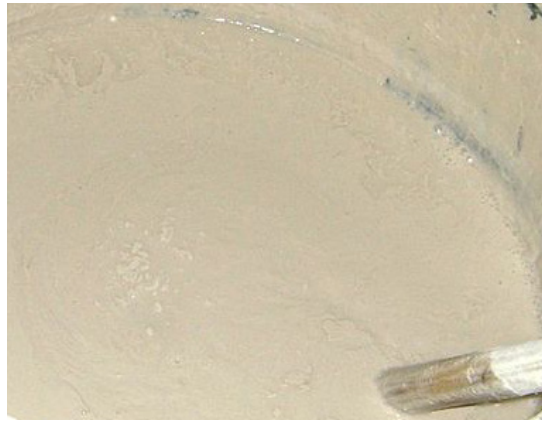
Roche formée par l'accumulation de sédiments, un dépôt de matière dû à l'action de l'eau ou de l'air. C'est une roche constituée d'un agglomérat de sédiments (sable très fin). Ici la pierre de la couronne, de Calissane et des Estailades qui constituent la statue sont toutes des roches sédimentaires.

Molasse coquillère :

Ensemble de roches sédimentaires, essentiellement détritiques, et post-orogéniques, s'accumulant dans des bassins d'avant-pays en périphérie des chaînes de montagne. Les molasses sont souvent des grès à ciment de calcaire argileux, parfois de couleur verte à cause de la glauconie. Elle présente de nombreuses coquilles. Ici la pierre de la Couronne, qui constitue le piedestal est une molasse coquillère.



*A gauche : photographie de calcaire coquillier
A droite : photographie de calcaire crayeux*



*A gauche : photographie de ciment
A droite : photographie de chaux*



*A gauche : photographie de joints
A droite : photographie de goujons*

Calcaire :

Le calcaire est une roche sédimentaire issu de la sédimentation, composé majoritairement de carbonate de calcium et de carbonate de magnésium.

- coquillier : type de roche calcaire constituée de restes d'organismes, dont les tests sont identifiables.

- crayeux : Roche calcaire formée par une accumulation de squelettes calcaires des microalgues et animaux marins dans la zone de suintement pélagique.

Ciment :

Liant hydraulique, de matière calcaire qui, mélangée avec un liquide, forme une pâte durcissant à l'air ou dans l'eau.

Chaux :

Le principal constituant de la chaux vive est l'oxyde de calcium. Après apport d'eau, elle devient la chaux éteinte, utilisée dans le bâtiment pour la maçonnerie et la réalisation d'enduits

- lait de chaux : Badigeon de chaux, soit une solution de chaux dans l'eau.

- chaux aérienne : Obtenue par hydratation de chaux vive issue d'un calcaire très pur. Plus la teneur en oxyde de calcium est élevée, plus la chaux est dite « grasse ».

Joints :

Ici, articulation entre deux pièces ou dispositif destiné à rendre étanche.

Goujons :

Organe mécanique en forme de tige permettant de réaliser une liaison « indirecte, complète, rigide, démontable » entre une pièce équipée du goujon et une ou plusieurs autres traversées par le goujon et verrouillée par un écrou.

Ligature :

Fil de fer maintenant les armatures

Résine epoxydique :

matériau thermodurcissable disposant d'un faible degré de polycondensation (capacité à devenir rigide), qui résulte de la polymérisation de «monomèresé : un groupement epoxyde et un odiole.

Résine acrylique :

Se présente en phase aqueuse ou en phase solvant. Elles peuvent être sous une forme d'émulsion dans de l'eau, telles les peintures en phase aqueuse. Ces résines synthétiques résultent d'une polymérisation de différents monomères à base d'acryliques avec d'autres monomères qui peuvent ne pas être les mêmes.

- Technique de réalisation

Greffer :

Ajouter, introduire, insérer un élément nouveau ou complémentaire

Collage :

Action de coller des choses quelconques, résultat de cette action.

Ragréages :

Opération consistant à mettre un enduit de finition sur une surface maçonnée brute, neuve ou restaurée dans le but de l'aplanir

Liaison :

action, manière de lier, de joindre ou de mêler deux ou plusieurs éléments, d'assurer la continuité ou la cohésion d'un ensemble; état qui en résulte.

Pré-consolidation :

Ici, réalisation d'opérations de vaporisation et d'application au pinceau de sulfate d'éthyle

Consolidation :

Ici, réalisation d'opérations de pulvérisation, d'injection et d'application au pinceau de silicate d'éthyle

Traitement biocide :

Produit qui détruit les êtres vivants, plus particulièrement les micro-organismes. Ici appliqué puis rincé à la vapeur

Coulinage :

Ici, injection d'un lait de chaux dans les joints les plus profonds.

Patine d'harmonisation :

Ici, patine constituée de chaux aérienne et fixée par une résine acrylique assurant une hydrofugation de surface

Hydrofugation de surface :

Traitement destiné à protéger de l'humidité les matériaux sur lesquels il est utilisé. Appliqué en plusieurs couches, l'hydrofuge imprègne les pores du support en profondeur et empêche la pénétration de l'eau

Reféction :

Action de restaurer, de réparer.

Nettoyage :

Rendre net, propre. Ici de façon mécanique afin d'éliminer les poussières, mousses et lichens, grâce à une brosse souple et par aspiration.

Purge manuelle :

Ici, débarrasser les éléments oxydés, les joints et les ragréages anciens, de ce qui gêne.

Micro gommage :

Micro-sablage, permet de décaper les surfaces. Technique qui consiste à projeter à basse pression (de 0,5 à 3 bars) de l'air et un granulat appelé archifine, avec une addition d'eau afin de ne pas créer de poussière. Ici, procède à l'élimination des croûtes noires

- Thématique

Figurative :

Qui s'attache à la représentation, inspirée du monde visible, de l'objet (par opposition à art abstrait ou non figuratif).

Homme :

Être humain mâle et adulte.

Métaphorique :

Fondée sur l'analogie. Elle désigne une chose par une autre qui lui ressemble ou partage avec elle une qualité essentielle.

Automne :

Saison qui succède à l'été et précède l'hiver dans l'hémisphère Nord : du 22 ou 23 septembre (équinoxe d'automne) au 21 ou 22 décembre, caractérisée par le déclin des jours, la chute des feuilles.

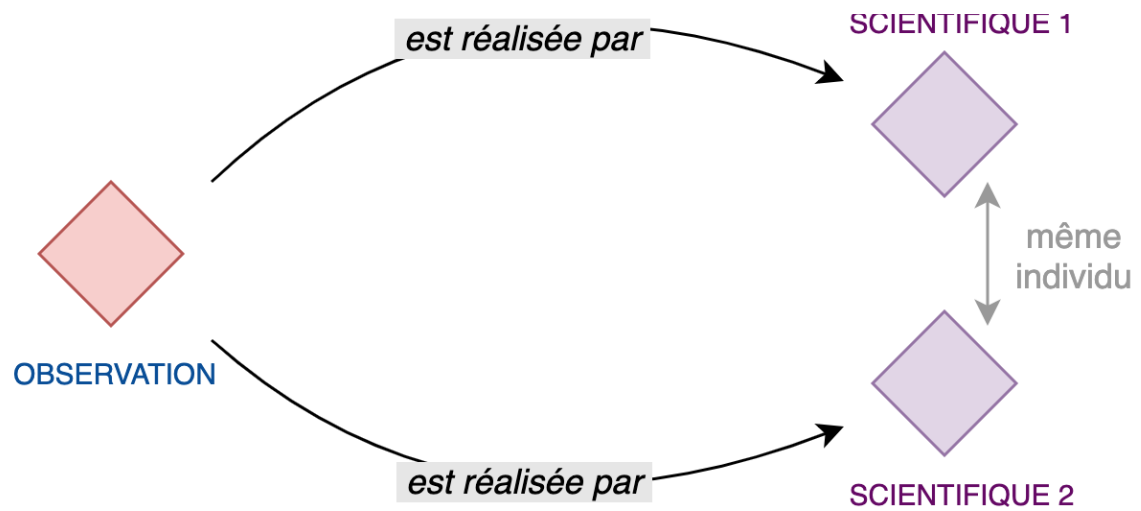


Schéma explicatif : propriété fonctionnelle

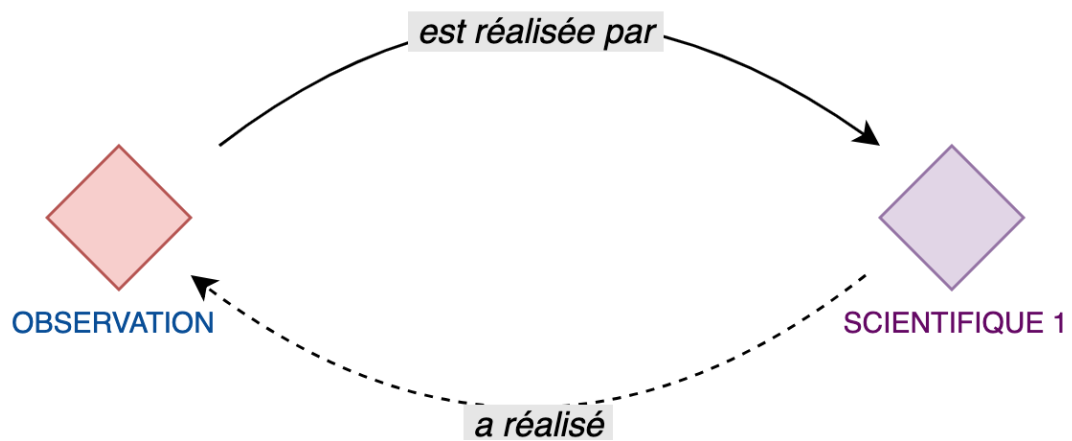


Schéma explicatif : propriété fonctionnelle inverse

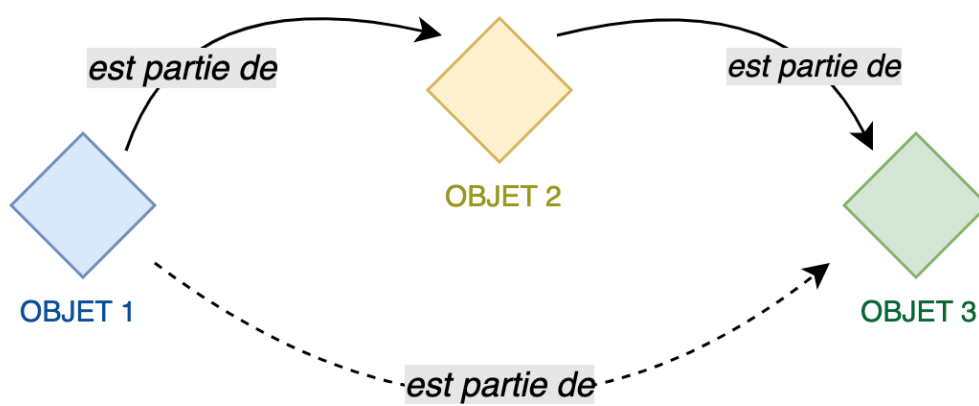


Schéma explicatif : propriété transitive

2. Phase de structuration

Suite à cette phase de documentation, la phase de structuration de l'ontologie débute. La phase d'intégration commence par l'établissement d'une hiérarchie formelle, qui doit ensuite se libérer des relations taxonomiques, et enfin établir des axiomes.

Les liens de subsomption entre les termes précédemment sélectionnés sont alors définis. Chaque terme est positionné hiérarchiquement par rapport à un autre selon un ordre donné. On peut alors considérer que les termes sont structurés dans une représentation taxonomique. C'est la création d'un thésaurus.

Par la suite, cette étape de structuration nécessite de créer des «propriétés», qui visent à établir des relations non-taxonomiques entre les termes du glossaire, qui deviennent alors tous des concepts. En effet, comme évoqué lors de la définition de l'ontologie, cette dernière est composée de classes, et de relations, appelées des «propriétés». Elles sont caractérisées par le domaine et la portée dans lesquels elles s'inscrivent. Selon Bruseker, la formalisation de ces propriétés découle de recherches sur la façon dont les utilisateurs mettent en relation les objets d'étude. Les termes sont alors organisés selon un nombre restreint de relations, de propriétés. Afin de poursuivre ce travail, et de tenter de fournir une application à notre cas d'étude, il nous faut d'abord définir chacune de ces propriétés afin de mieux les comprendre.

a. Les propriétés de l'ontologie

Les propriétés peuvent être de deux types :

- propriété de données (décrivant un lien entre un individu et une valeur de donnée)
- propriété d'objets (décrivant les relations entre les individus)

Ces dernières, peuvent être fonctionnelles, fonctionnelles inverses, transitives, symétriques, asymétriques, réflexives et irréflexives.

- Propriété fonctionnelle :

A travers une propriété fonctionnelle, un individu ne peut être lié qu'à un autre individu au maximum. Par conséquent, dans l'exemple présenté, Scientifique 1 et Scientifique 2 ne sont qu'un seul et même individu.

- Propriété fonctionnelle inverse :

Si une propriété est fonctionnelle inverse, cela signifie que son inverse est aussi une propriété fonctionnelle.

- Propriété transitive :

Ici, Objet 1 est lié à Objet 2 à travers la propriété transitive «estPartieDe», et Objet 2 est lié à Objet 3 de la même façon. Un raisonnement par interférence permet de déduire que Objet 1 est lié à travers la même propriété transitive.

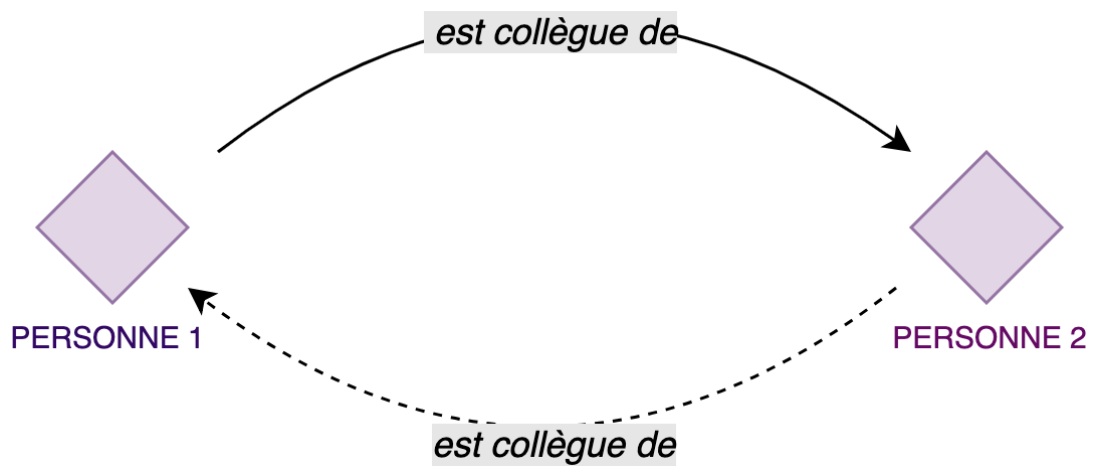


Schéma explicatif : propriété symétrique

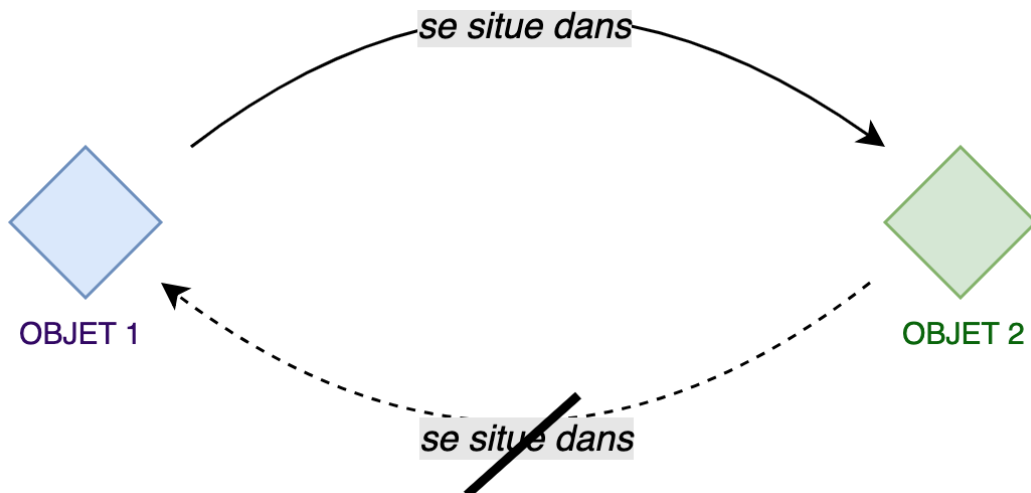


Schéma explicatif : propriété asymétrique

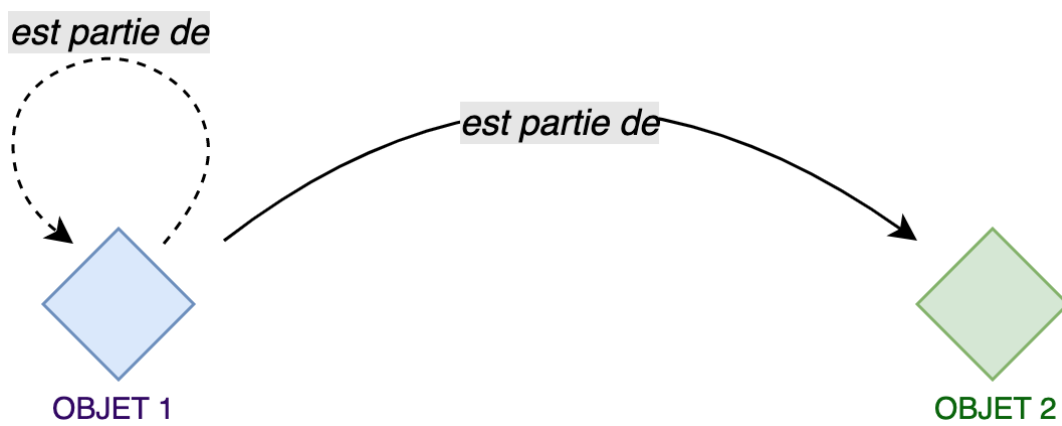


Schéma explicatif : propriété réflexive

- Propriété symétrique :

L'inverse d'une propriété symétrique est la même propriété. Si une propriété est symétrique et que celle-ci relie une individu Personne 1 à Personne 2, alors celle-ci relie aussi Personne 2 à Personne 1.

- Propriété asymétrique :

Une propriété est considérée comme asymétrique lorsque la relation reliant deux individus, ne peut exister dans les deux sens. Ici Objet 1 se situe dans Objet 2 mais objet 2 ne se situe pas dans Objet 1.

- Propriété réflexive :

Un objet peut être relié à soi-même à travers une propriété réflexive. Tout objet pouvant faire partie de soi-même, Objet 1 est donc relié à soi-même par la propriété réflexive «SeSitueDans».

- Propriété irreflexive :

Cette propriété ne peut pas relier un individu à soi-même. Ici Objet 1 n'est pas relié à soi-même par la propriété réflexive «APourTechniqueDeRealisation».

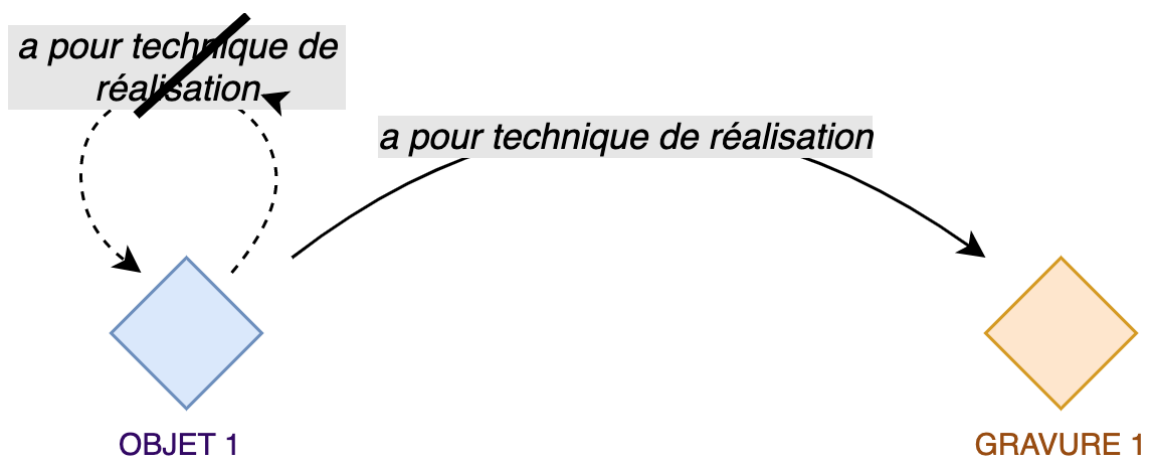
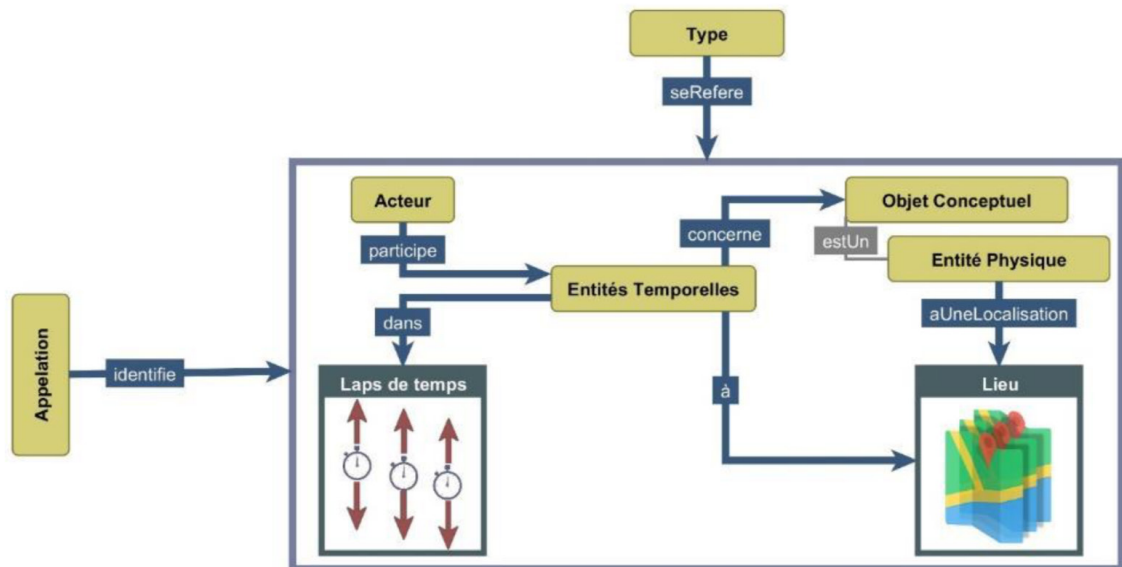
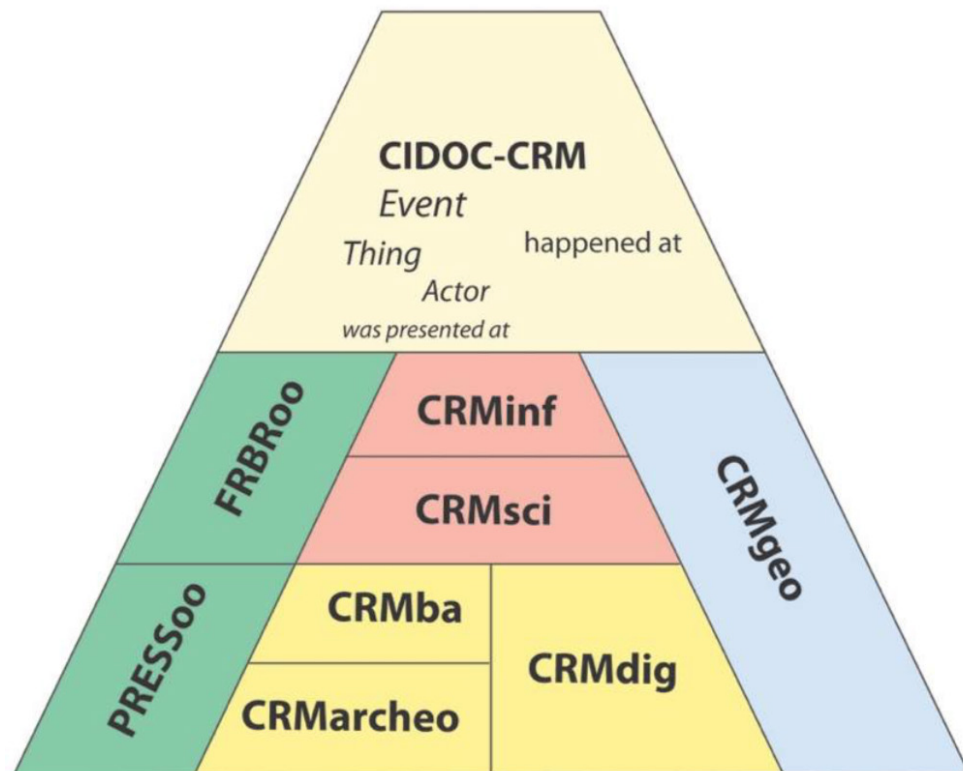


Schéma explicatif : propriété irreflexive



Schémas des classes de haut niveau de description du CIDOC-CRM
Source : Thèse Messaoudi



Représentation pyramidale des familles du modèle CIDOC-CRM
Source : https://www.ics.forth.gr/isl/index_main.php?l=e&c=229

b. Le modèle CIDOC-CRM

Le CIDOC-CRM, International Council of DOcumentation - Conceptual Reference Model, est un modèle conceptuel et une ontologie générique de référence, dans le domaine de la documentation scientifique du patrimoine culturel. Elle fournit ainsi des définitions et une structure formelle pour la description de concepts et les relations utilisées pour la documentation du patrimoine.

Devenu ISO 21 127 en 2006, il propose un cadre sémantique extensible et commun, qui se veut être adaptable facilement aux données à corrélérer. Il a l'ambition de constituer un langage commun, pour les experts du domaine, pour formuler des besoins pour les systèmes d'informations. Ainsi, il effectue un lien sémantique en devenant un intermédiaire entre les différentes sources d'informations du patrimoine culturel.

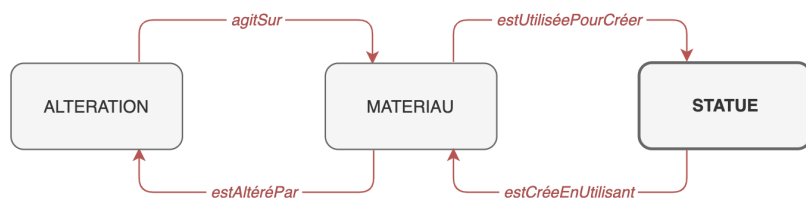
En effet, le modèle comporte 92 classes et 153 propriétés, tout en étant complété par les extensions suivantes, permettant de spécifier davantage le modèle conceptuel de référence :

- CRMInf : description du processus d'argumentation
- CRMsci : description du processus d'observation scientifique
- CRMgeo : confère une articulation avec les standards de la géospatialisation intitulé GeoPARQL
- CRMdig : description de la provenance de données digitales
- CRMba : description du processus de documentation des bâtiments archéologiques
- CRMarcheo : description du processus ré /var/folders/6n/92rm3yr11n9_ldpqk3bttdtr-0000gn/T/A\$C48706899.DWG alisé lors des fouilles archéologiques

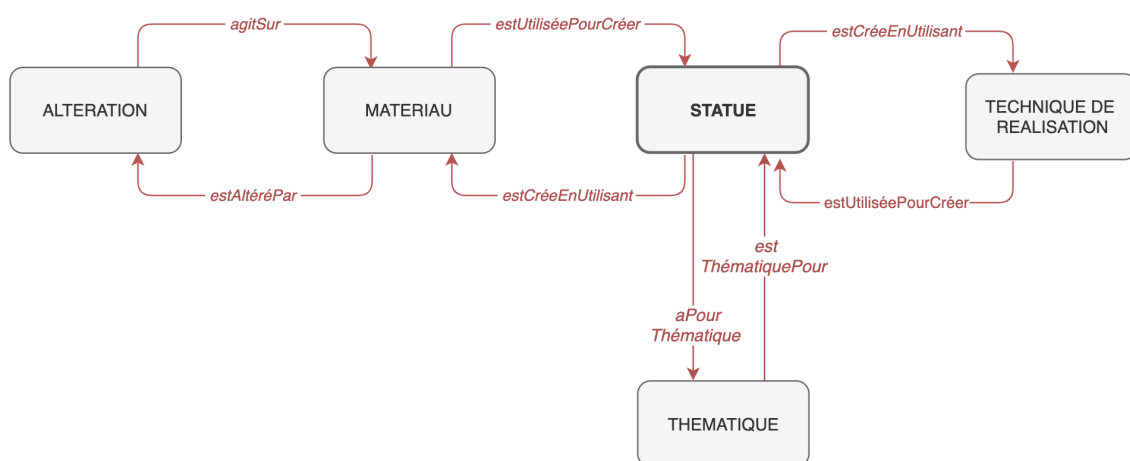
La méthode la plus commune est alors d'utiliser le modèle conceptuel et ses extensions, afin de réaliser ensuite un mapping entre les bases de données et le modèle CIDOC. La thèse de Tommy Messaoudi⁴⁴, précédemment évoquée, traite de cette question, en proposant une ontologie de domaine dédiée à l'annotation d'images spatialisés pour le suivi de la conservation du patrimoine culturel bâti.

Comme évoqué dans sa définition, l'usage d'un vocabulaire contrôlé est donc nécessaire à la construction d'une ontologie. Les ressources et les définitions collectées dans un premier temps peuvent désormais faire émerger une structuration des différents concepts identifiés. En effet, une fois les classes de descriptions définies, elles constitueront le coeur de l'ontologie, pouvant par la suite être aligné avec ce modèle CIDOC-CRM et les extensions.

44 Voir page 29



Configuration 1 - modélisation conceptuelle des champs de connaissance



Configuration 2 - modélisation conceptuelle des champs de connaissance

c. Conception d'une représentation non-taxonomique

- Définitions des classes de description

Il nous faut désormais faire émerger les champs de connaissance du domaine, correspondant aux classes de description de la conservation du patrimoine statuaire. L'ensemble de ces classes constituera alors le coeur de l'ontologie de domaine.

La phase de documentation, aussi bien par l'étude des termes, que des différentes publications, vocabulaires, ou encore constats d'états, ont aidé à mettre en lumière les enjeux de l'étude de telles oeuvres, ainsi que les concepts nécessaires à leur description.

Ainsi, les classes suivantes ont été retenues :

- Thématique
- Statue
- Technique de réalisation
- Matériaux
- Altération

Chacune d'entre elles est considérée comme nécessaire à la description de oeuvres sculptées, et dans ce cas d'étude particulier, à la description de la statue «Automne». Leur choix sera expliqué par la suite, lors de la présentation du raisonnement permettant d'aboutir à la modélisation des champs de connaissance retenue. Les questionnements concernant leur dénomination précise sera, elle, abordée lors de la présentation des schémas conceptuels présentant les différents niveaux de concepts emportés par chaque classe de description.

- Modélisation conceptuelle des champs de connaissance : processus et modélisation retenue

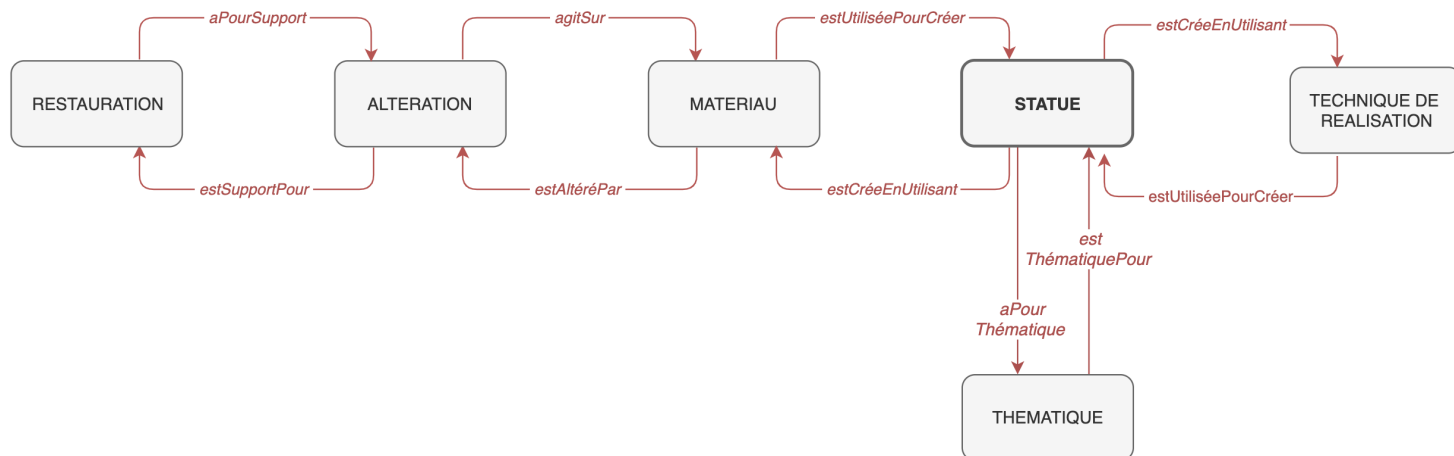
Ci-dessous, est présenté le raisonnement qui a permis d'évoluer de la configuration initiale à la modélisation finale et retenue. Chaque proposition et modélisation envisagée est présentée successivement afin de comprendre le processus.

Configuration 1 :

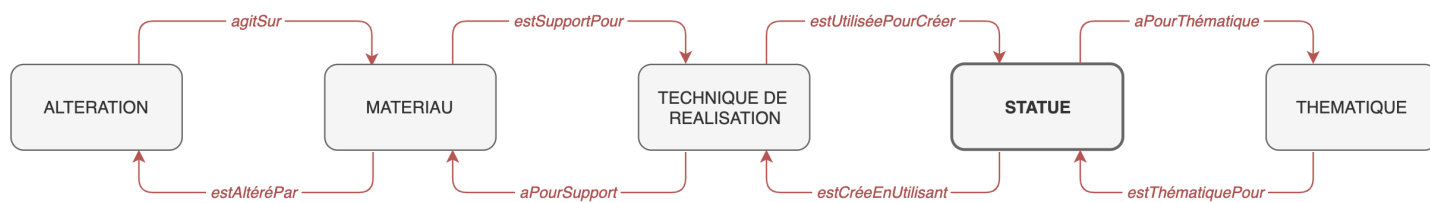
Dans la première proposition de modélisation des connaissances, les classes de descriptions étaient les suivantes : Altération, matériau, Statue. Il s'agit du modèle auquel pourrait correspondre la façon dont l'oeuvre avait été envisagée pendant la conception des cartographies.

Configuration 2 :

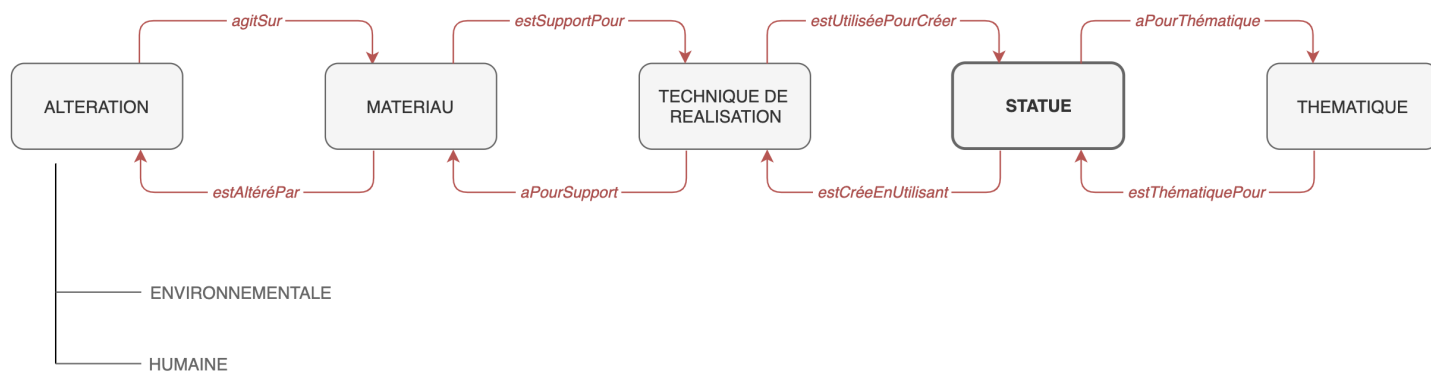
Cependant, les notions de thématique et de techniques de réalisation sont à ajouter, afin de caractériser également la forme de l'oeuvre : ce qu'elle représente à la fois figu-



Configuration 3 - modélisation conceptuelle des champs de connaissance



Configuration 4 - modélisation conceptuelle des champs de connaissance



Configuration 5 et finale - modélisation conceptuelle des champs de connaissance

rativement et métaphoriquement est représenté par la classe «thématique», tandis que sa construction est expliquée au sein de la classe «technique de réalisation».

Configuration 3 :

D'autre part, il semble que les restaurations doivent également être prises en compte pour décrire proprement l'oeuvre. En effet, particulièrement nombreuses, ces dernières ont au fil des ans, grandement influé sur son apparence, sa forme et ses matériaux, protégeant l'oeuvre parfois, et l'endommageant d'autres fois⁴⁵. Afin de décrire l'état actuel de la statue, il faut donc introduire ce concept. Dans cette nouvelle configuration, il est directement lié aux altérations, puisque c'est pour arrêter leurs effets que les restaurations vont avoir lieu.

Configuration 4 :

La configuration précédente pose néanmoins question : si tous les éléments caractérisant l'oeuvre semblent bien être présent sur la proposition, on peut s'interroger quant à leur organisation et leur dénomination. En effet, les restaurations, qui influent directement sur la forme de l'oeuvre, semblent trop éloignées du concept de technique de réalisation. De plus, il semble que cette configuration pose un problème de structuration, puisque les restaurations effectuées au fil des ans peuvent elles aussi, s'altérer quelques années plus tard, ce qui montre un défaut de l'organisation du modèle. Il semble que les classes ne sont donc pas structurées de façon performante.

On peut alors envisager les classes d'une autre façon. En effet, toutes les interventions sur la forme de l'oeuvre peuvent être considérées comme des techniques de réalisations, puisque la somme de toutes ces interventions, au fil des années, a participé à donner, aujourd'hui, à l'oeuvre sa forme et son apparence actuelle. La classe de restauration est ainsi supprimée. La construction même de l'oeuvre ainsi que les actions menées par les professionnels de la restauration peuvent ainsi toutes être comprises dans la classe des techniques de réalisation. De plus, si certaines actions antérieures ont abîmées l'oeuvre, on les retrouvera alors dans les altérations. Ainsi, le travail des experts, qui est au service de l'oeuvre, est distinct des actions humaines qui auraient pu l'endommager.

Enfin, «technique de réalisation» change de position dans le modèle, trouvant davantage sa place entre la statue, l'oeuvre elle-même, et ses matériaux. En effet la technique de réalisation ne semble pas pouvoir se détacher de la classe des matériaux.

Configuration 5 et finale :

Enfin, il semble nécessaire de différencier les altérations humaines des altérations environnementales au sein de la classe «altération» afin de différencier l'action néfaste (qu'elle soit indirecte ou non), de celles liées à l'environnement peu accueillant dans lequel se trouve l'oeuvre. On aboutit alors à la modélisation conceptuelle retenue.

⁴⁵ Cette remarque fait références aux restaurations très anciennes ayant eu lieu sur l'oeuvre, n'ayant pas toujours respecté l'intégrité de l'oeuvre et non aux restaurations réalisés par les professionnels et les experts du domaine de la conservation.



Schéma conceptuel des sous-classes du concept « Thématique »

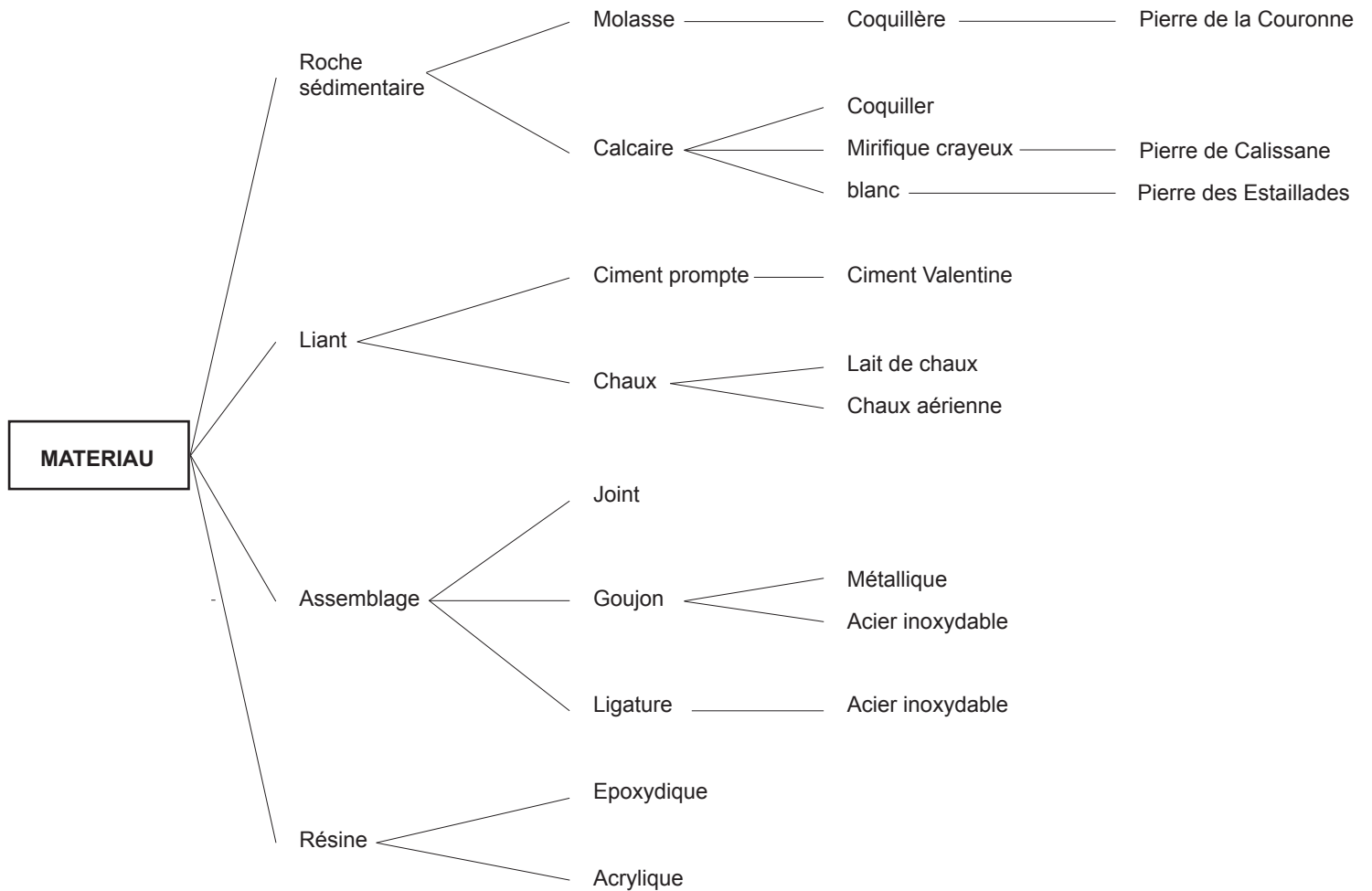


Schéma conceptuel des sous-classes du concept « Matériau »

d. Proposition de schémas conceptuels

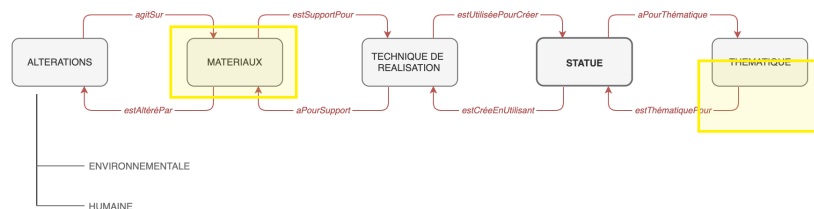
Le coeur ontologique ayant été défini, il nous faut désormais présenter les sous-classes des cinq concepts de haut niveau. Chacune de ces sous-classes peut présenter jusqu'à cinq niveaux de concept. Ces derniers correspondent aux termes définis et listés pendant la première phase, dite de documentation. Chaque sous-classe associée à un des cinq concepts thématique sera donc présentée avec tous ses niveaux de concepts, avant d'être toutes associées dans un dernier temps, afin de présenter l'ensemble des concepts et leur organisation dans cette proposition d'ontologie de domaine. Les définitions de chacun des termes peuvent être retrouvées en début de cette partie III, mais il sera expliqué ci-dessous l'organisation de chaque sous-classe et ce qu'elle représente.

- «Thématique»

Les grandes catégories pour exprimer la thématique de l'oeuvre sont la dimension figurative de l'oeuvre et la dimension métaphorique de cette dernière. En effet, il s'agit d'une part de la représentation d'une figure humaine, masculine, mais en même temps d'un symbole d'une saison, au même titre que les trois autres statues présentes dans le jardin, représentant ici l'automne.

- «Matériau»

La classe « Matériau » a été ainsi nommée pour exprimer sa nature (Est-ce une roche? Un liant, un élément d'assemblage ou encore une résine ?) ses caractéristiques physico-chimiques, ainsi que sa provenance et sa dénomination (Pierre de Calissane, des Estailades...). Ainsi, on retrouve ici tous les éléments constitutifs de l'oeuvre, qu'il s'agisse des matériaux dans lesquelles l'oeuvre a été taillée, ceux qui permettent d'assembler les blocs, ou qui ont été employés pendant les restaurations. Ainsi, cette classe comporte des matériaux de toutes échelles et de toutes sortes.



En jaune, situation au sein de la modélisation conceptuelle des champs de connaissance des sous-classes ici présentées

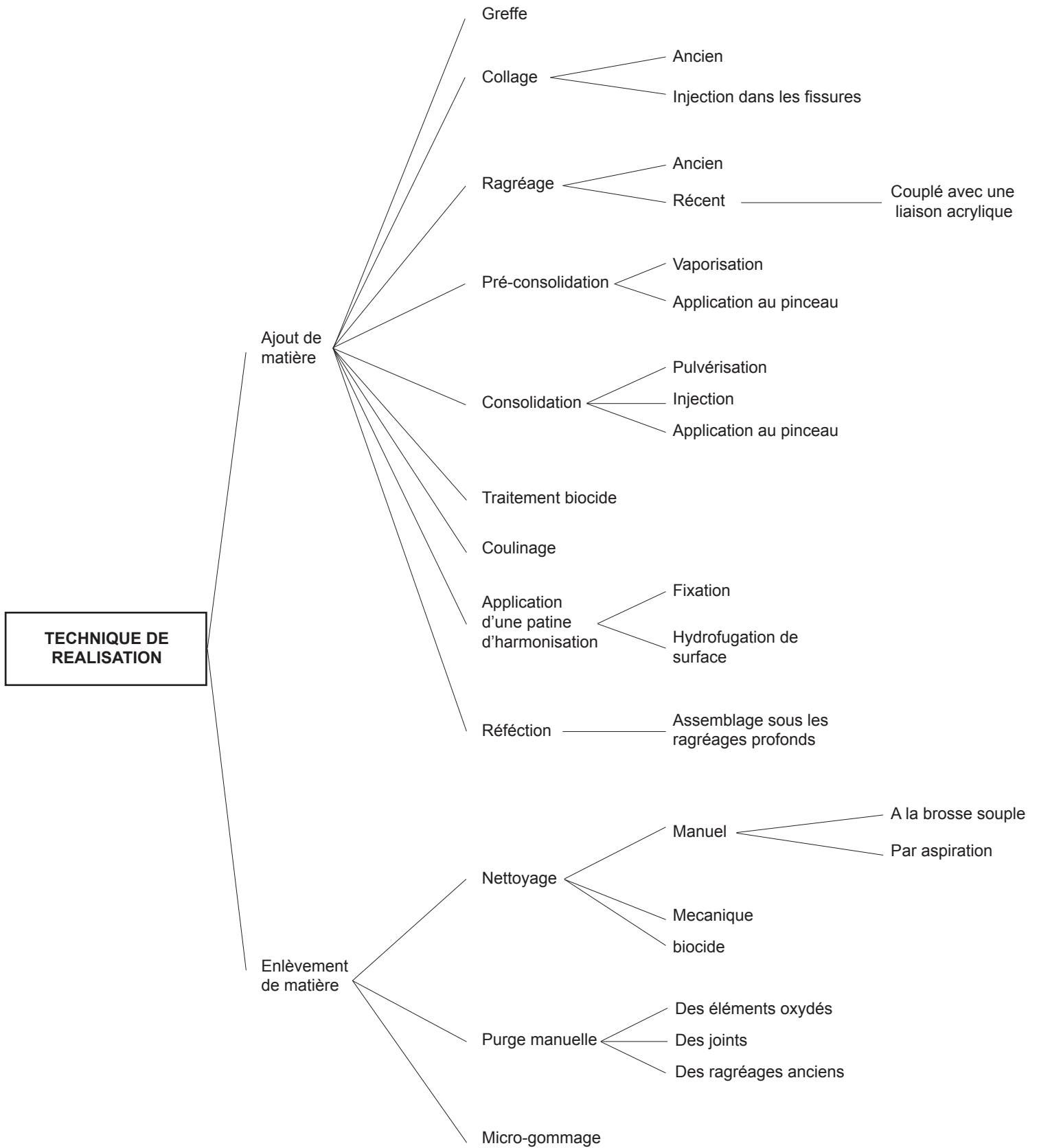


Schéma conceptuel des sous-classes du concept « Technique de réalisation »

- «Technique de réalisation»

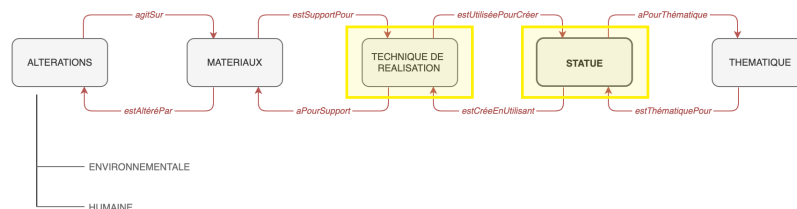
Pour expliquer la classification emportée par la classe «technique de réalisation», on peut citer Leroi-Gourhan qui évoque l'idée que la technologie est « l'étude de tout ce qui concerne l'action de l'homme sur la matière ». Il s'agit donc d'une action associée aux matériaux, composants de l'oeuvre. La principale différentiation de ces technologies est l'action effectuée sur la matière : on distingue ainsi les actions qui procèdent par ajout, de celles qui procèdent par enlèvement.

Grâce aux relations définies entre les classes thématiques, certaines valeurs vont être très étroitement liées. Ainsi, la classe « Technique de Construction » très portée sur l'aspect structurel de l'oeuvre, nous permet de connaître les propriétés spécifiques du « Matériau » ainsi que les procédés grâce auxquels ces derniers ont été mis en oeuvre. Ainsi, les relations permettent de transférer les valeurs d'attribut d'une classe à l'autre.

- «Statue»

La classe «statue» est dans le cadre de ce travail, un cas particulier. Puisque l'étude se concentre ici sur une oeuvre, la statue Automne, cette dernière ne présente qu'un seul niveau de concept. En effet, elle ne désigne que cette oeuvre. Cependant, dans une perspective d'application de ces classes de descriptions à l'ensemble du patrimoine statuaire, alors cette classe devrait englober les différentes oeuvres en présence.

On peut toutefois noter que bien que cette sous-classe ne comporte ici pas de niveaux de concept supplémentaire, la modélisation conceptuelle des champs de connaissance n'en est pas pour autant invalidée et resterait parfaitement fonctionnelle pour l'étude d'autres oeuvres. Ainsi, le modèle resterait le même, et seules les sous-classes seraient à compléter, à enrichir, afin de possiblement s'appliquer à toutes les oeuvres statuaire.



En jaune, situation au sein de la modélisation conceptuelle des champs de connaissance des sous-classes ici présentées

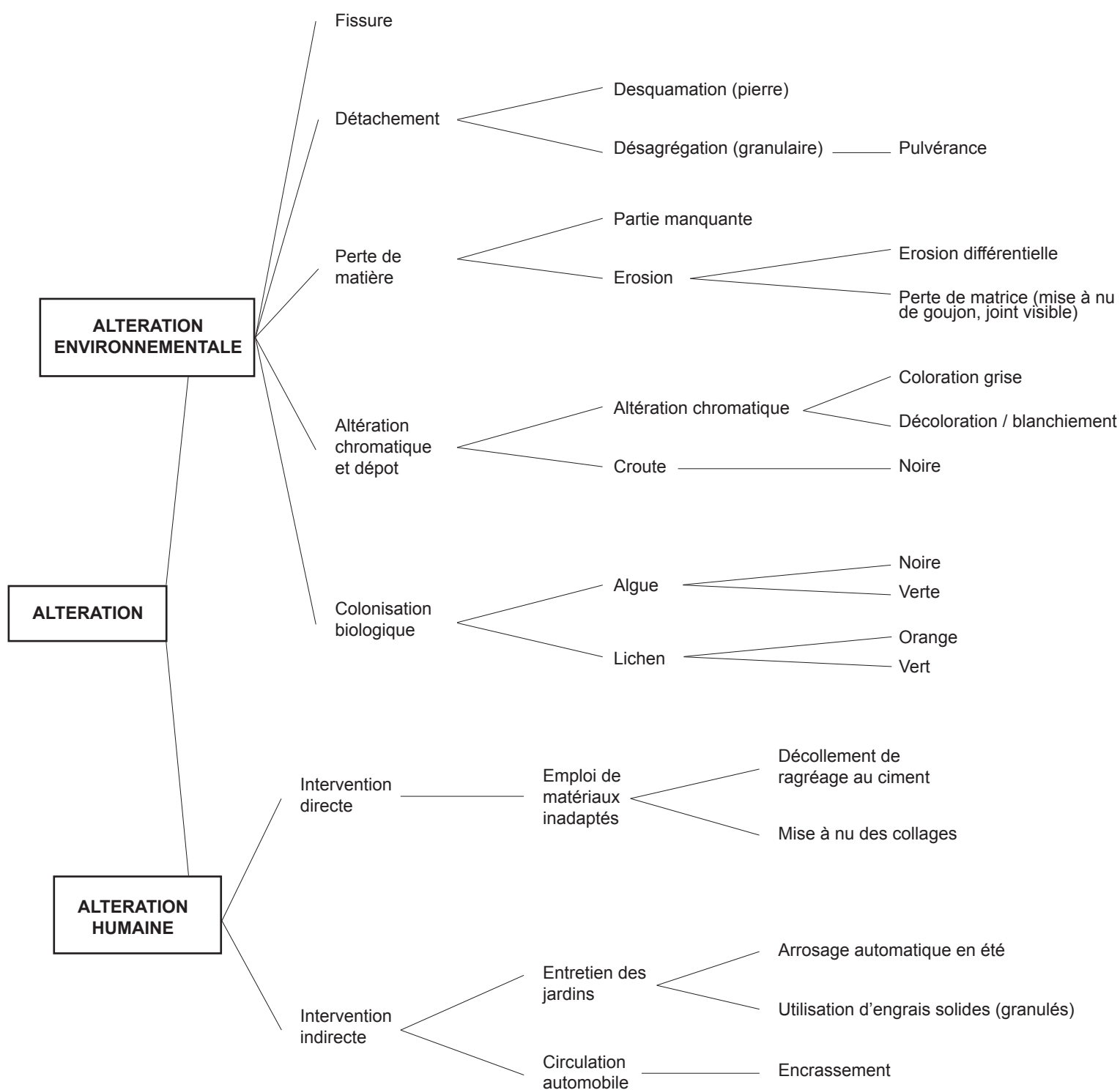


Schéma conceptuel des sous-classes du concept « Altération »

- «Altération»

Comme évoqué précédemment, les altérations identifiées sont de deux types : environnementales (autrement appelées «naturelles») et humaines.

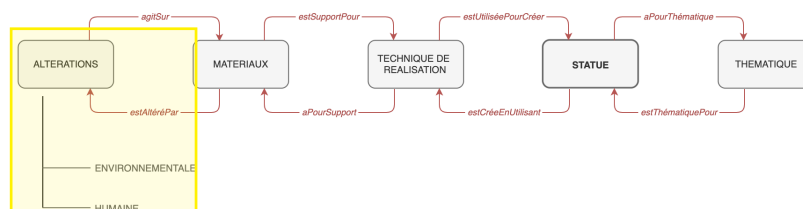
En ce qui concerne les altérations environnementales, les multiples niveaux de concepts s'appuient sur le glossaire de L'ICOMOS, à la fois en ce qui concerne les termes retenus (comme évoqué en phase de documentation) mais également en ce qui concerne la structuration des différents niveaux de concepts. En effet, le glossaire proposait déjà une forme de classification, partant du cas le plus général au plus particulier. On peut donc observer ici l'organisation de toutes les altérations observées sur cette oeuvre.

Les altérations humaines sont, elles, classées en deux catégories : les interventions directes et les interventions indirectes. Alors que toutes deux sont réalisées par l'homme, la première catégorie désigne les actions directement effectuées sur la statue par la main de l'homme. On trouve parmi elle l'utilisation de matériaux inadaptés, notamment lors de tentatives anciennes de restaurations. Bien qu'ayant pour vocation de réparer l'oeuvre, ces dernières ont malheureusement endommagé cette dernière. La seconde catégorie, quant à elle, regroupe les activités humaines dans les environs de l'oeuvre, qu'elles soient de l'ordre de la circulation ou de l'entretien des jardins, et causant des dommages à l'oeuvre dûs à une exposition à l'eau ou à la pollution automobile.

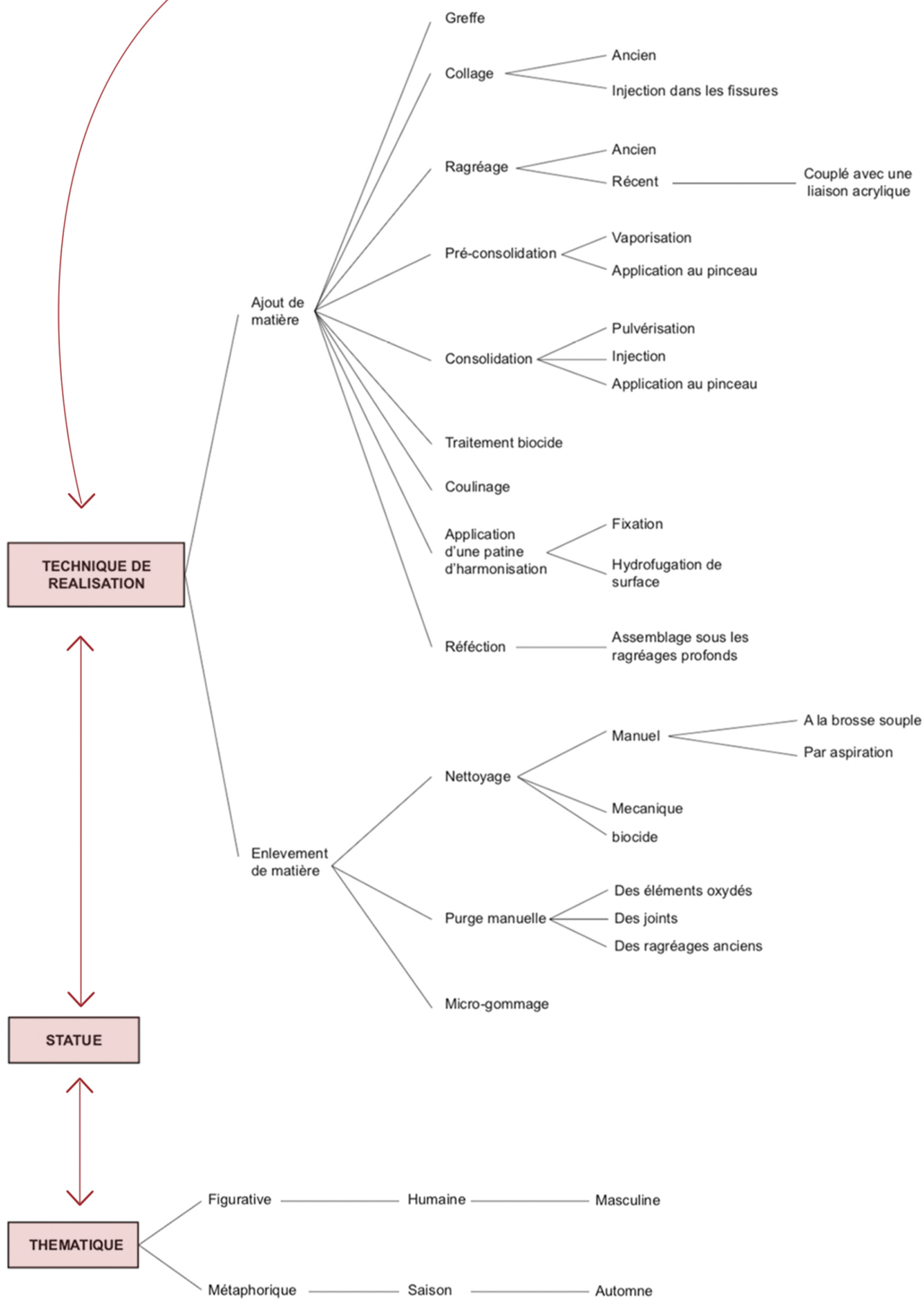
On peut remarquer que dans les deux cas, il ne s'agit pas de dégradations volontaires, mais d'interventions sous couvert de bonnes intentions, ou tout simplement liées à l'activité de l'homme dans le jardin ou même le boulevard voisin.

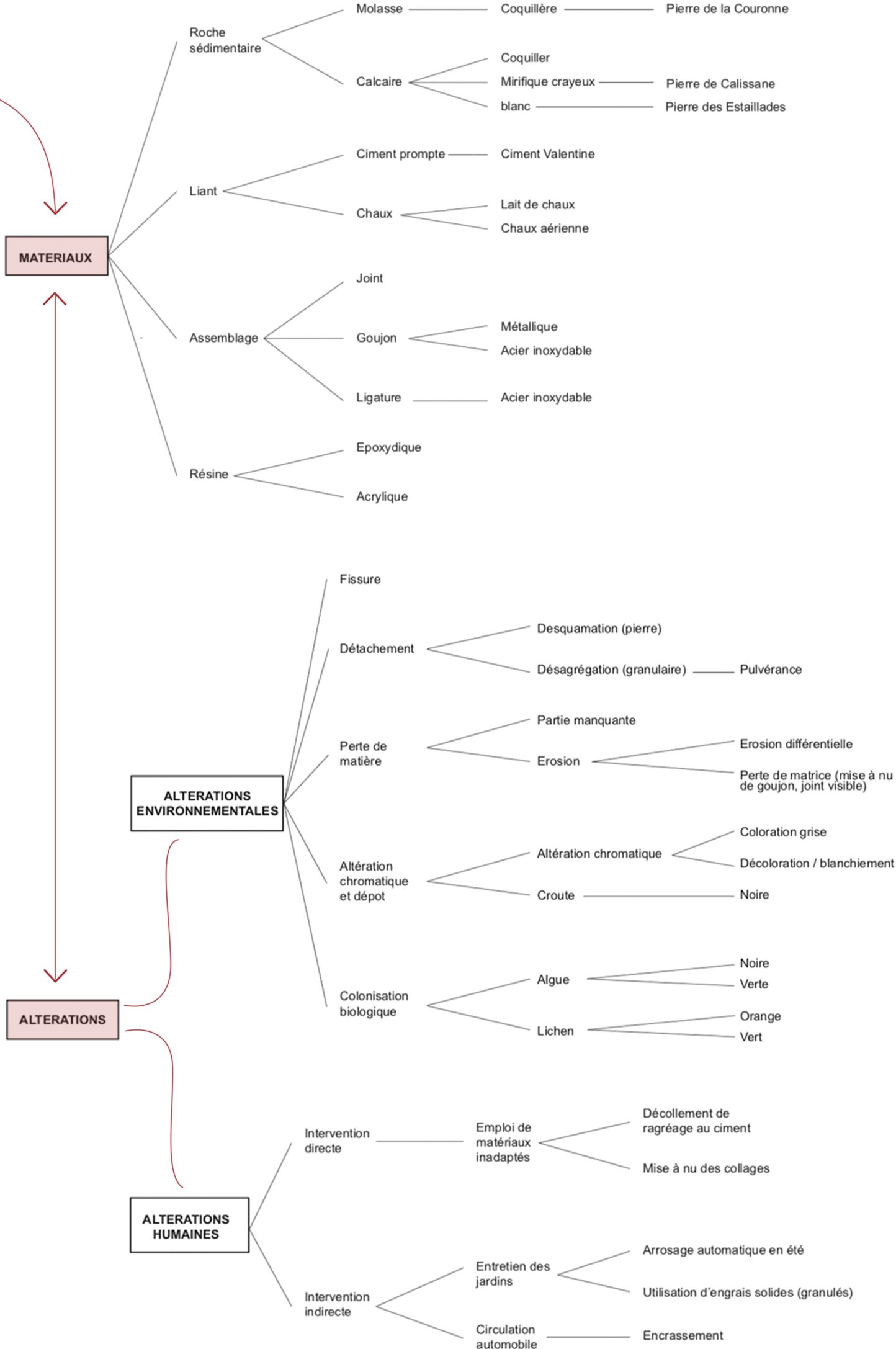
- Synthèse

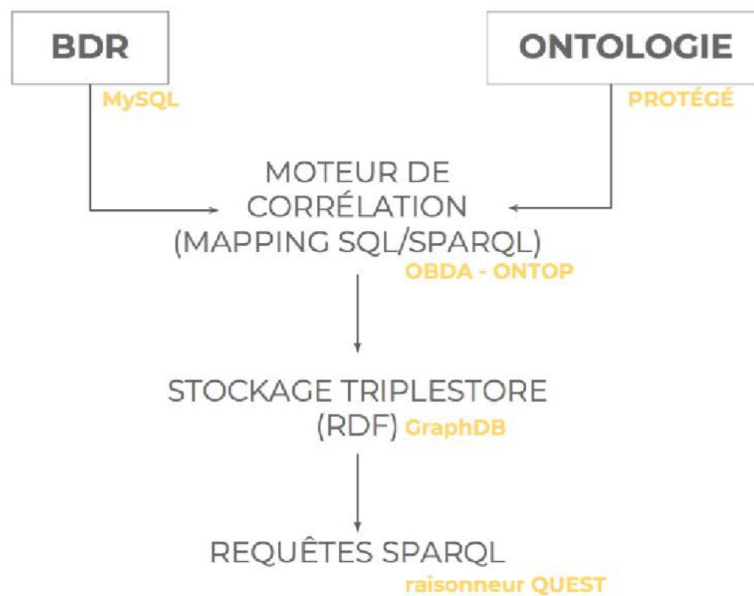
Sur les deux pages suivantes, il est possible d'observer la combinaison de toutes les sous-classes, combinant ainsi la modélisation du champ de connaissances, et l'intégralité des concepts rencontrés lors de l'étude et de l'analyse de l'oeuvre. Ensemble, ils sont jugés comme nécessaires et suffisants pour décrire l'état de l'oeuvre à un moment donné de son histoire.



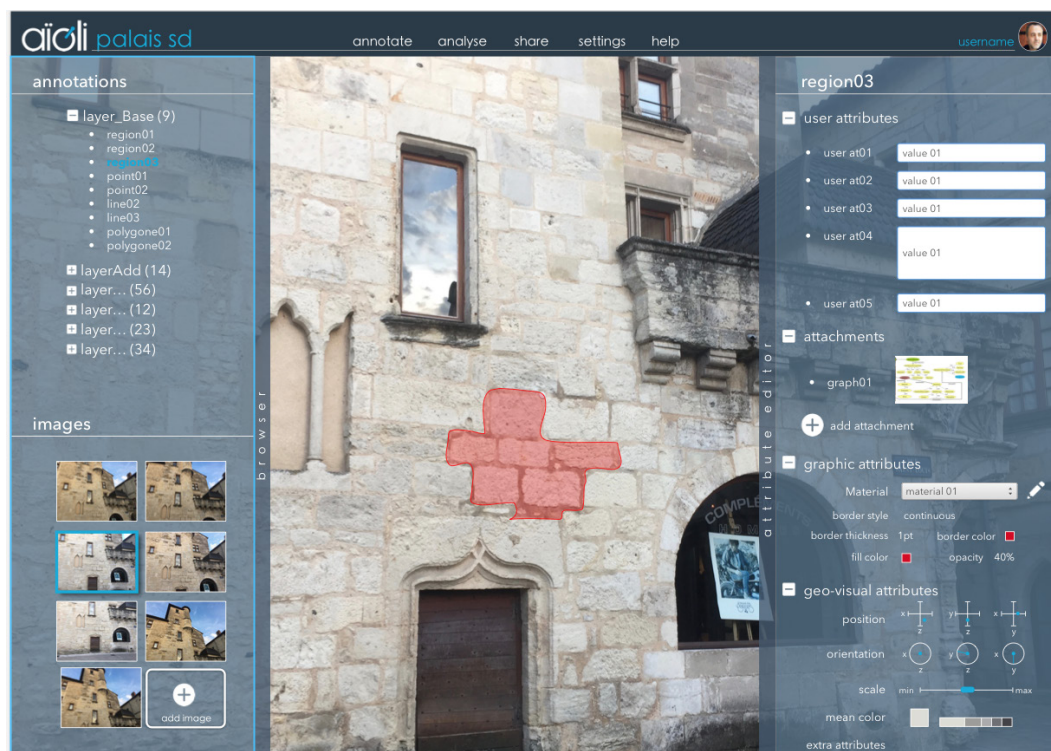
En jaune, situation au sein de la modélisation conceptuelle des champs de connaissance des sous-classes ici présentées







Schématisation de l'approche adoptée par Messaoudi (2017) dans sa thèse s'inscrivant dans le cadre du projet ANR MONUMENTUM. Source : Rapport STOLERU Alexandra



Visuel des calques d'annotation aïoli

3. Bilan critique

a. Quelle suite pour la construction de cette ontologie ?

- Une application au domaine entier

L'étape suivante, pour transformer le travail réalisé en une ontologie de domaine est évidemment d'étendre le travail ici fait pour un seul cas, à l'ensemble du domaine de la conservation des oeuvres sculptées. En effet, il serait ainsi nécessaire d'étendre les différents niveaux de concepts et les enrichir, en y ajoutant tous les termes nécessaires à la description et la qualification de n'importe quelle oeuvre sculptée.

- La fusion avec CIDOC-CRM

Une fois que le travail réalisé ici, à la fois concernant la documentation et la structuration, aura été étendue à la totalité du domaine, le coeur ontologique ainsi défini devra être formalisé grâce à l'éditeur d'ontologie protégé. Comme évoqué plus tôt, il serait alors pertinent d'envisager une fusion avec le CIDOC-CRM. Une fois complète, une corrélation, grâce au mapping SQL / SPQRL pourra alors être réalisé entre les bases de données au sein du système d'information.

- Une intégration à aioli pour faire émerger de nouveaux savoirs

Le travail réalisé précédemment sur la plateforme d'annotation sémantique aioli encourage également à implanter cette ontologie au sein de cette dernière. En effet, il n'existe pour le moment pas de structuration possible des annotations dans la plateforme, la dénomination des différents calques étant manuelle. Néanmoins, la création d'un système d'annotation organisé à l'aide d'une ontologie aurait plusieurs avantages. Tout d'abord, elle permettrait une structuration performante des différents calques d'annotations, ces derniers pouvant ainsi être classés et organisés grâce au modèle défini. De plus, celui-ci pourrait permettre un véritable croisement d'informations.

En effet, la pertinence du croisement de calque et des informations collectées était déjà posée à la fin du travail de cartographie, au moment de la présentation d'un thème donné (ici, les algues) en fonction de chacune des époques. Ainsi, lorsque les différents experts au fil des ans, auraient réalisé leurs annotations sur la plateforme, il serait possible d'observer directement une information et de visualiser son évolution. De nouveaux savoirs pourraient alors émerger de ces études.

b. Les limites rencontrées

- Un travail chronophage

Comme pressenti, les difficultés rencontrées au cours de ce travail ont surtout été liées à des questions de temps. En effet, le travail aurait pu être plus abouti s'il avait été possible de réaliser directement la modélisation pour une ontologie du domaine de la conservation du patrimoine statuaire. Néanmoins, l'application au cas d'étude n'a pas rendu ce travail hors de propos, en autorisant tout de même à construire un modèle cohérent.

De plus, la question de l'implémentation et du langage purement informatique n'a pu être réellement explorée. Ce travail, comme ce fut le cas pour la thèse de Tommy Messaoudi, semble davantage réalisable dans le cadre d'une thèse. Pendant ce laps de temps plus important, de nombreux acteurs pourraient alors être interrogés, et des informaticiens et personnes ayant travaillé sur ces questions, pourraient être consultés. Il serait d'ailleurs pertinent d'imaginer que ce travail et les questions qu'il soulève, soient poursuivi au sein d'une thèse, afin de réaliser bel et bien cette proposition d'ontologie de domaine et possiblement de l'implanter.

- Une multiplicité d'informations et d'acteurs

Outre la dimension chronophage de ce travail, ce dernier est complexe pour d'autres raisons, dues à la nature même de ce qu'elle cherche à résoudre, à savoir la multiplicité des données hétérogènes, entraînées par l'abondance des sources, des acteurs en présence et des documents à disposition.

A titre d'exemple, certaines classes de description semblent mieux renseignées que d'autres. La multiplicité des corps de métier amenés à collaborer est alors à la fois un atout en termes de complexité de réponses et de croisement des regards, mais rend plus compliqué le consensus en terme de terminologie.

Ainsi le besoin de construction du vocabulaire contrôlé pour l'ensemble du domaine nécessite, pour être performant, une consultation de ces nombreux experts.

Dans le cadre de la poursuite de ce travail, un regard de ces experts serait nécessaire, afin d'obtenir un retour de leur part permettant de corriger la structuration des concepts tout en l'enrichissant d'autres termes, et concepts. Ce travail de retour perpétuel serait alors nécessaire pour construire cette ontologie de domaine performante.

c. Conclusions de la construction de l'ontologie

L'ontologie de domaine est donc une véritable base pour un système d'informations, afin de répondre à un besoin de structuration sémantique et de données hétérogènes dans la discipline. Elle permet ainsi d'allier des données trop peu souvent réunies, et permet de les classer sémantiquement, offrant ainsi à tous les acteurs un outil commun.

Ce travail, réalisé au sein d'un contexte expérimental, a montré que l'ontologie permet bel et bien d'extraire de nouvelles données et connaissances, à plusieurs titres.

Tout d'abord, le fait même de concevoir l'ontologie nous force à nous interroger, à remettre possiblement en question notre façon de considérer et d'envisager l'oeuvre en présence. Pour concevoir une modélisation des connaissances, il est alors nécessaire de prendre du recul et de se demander si notre façon d'envisager l'oeuvre et son analyse est suffisamment objective, complète, si cette dernière n'émet pas de jugement de valeur et permet au contraire d'englober tous ses aspects. Dans ce cas d'étude, la conception des schémas conceptuels a mis en lumière le fait que certains aspects relevant de la forme ou de la thématique de l'oeuvre pouvait être davantage explicités, afin d'en saisir également toute la poésie, et de l'envisager non seulement sous l'angle du scientifique, mais aussi de l'artiste, de l'artisan.

D'autre part, la perspective de croisement des calques d'informations, qui pourraient être autorisés par une fusion de l'ontologie de domaine avec une plateforme telle qu'aïoli permettra de façon certaine de faire apparaître de nouveaux savoirs, et possiblement d'envisager une autre façon de considérer et d'analyser les constats d'états pouvant être réalisés et partagés.

Malgré une méthodologie complexe et chronophage, les atouts de tels outils sont donc nombreux et forment de réelles opportunités pour faciliter la conservation de telles oeuvres.

CONCLUSION

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 marionnettes 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 dégradations, 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, de ses données et de ses documents, auprès des différents professionnels de la restauration. En effet, la construction d'un vocabulaire partagé et d'un outil de système d'information pourrait répondre au besoin fort de structuration sémantique et de données hétérogènes dans la discipline.

La conception d'une ontologie de domaine pour la conservation des oeuvres sculptées, implantée ensuite dans des plateformes telles qu'aioli, ferait alors émerger de nouveaux savoirs, et pourrait mettre en lumière de nouveaux phénomènes de corrélation, qui ne sont pour le moment pas révélés par les méthodes traditionnelles. Le croisement d'informations permettrait alors l'extraction de nouvelles connaissances, autorisant ainsi une meilleure appréhension de l'œuvre et des phénomènes d'altération.

En comprenant mieux les phénomènes entraînant l'apparition de figures d'altération, il sera donc possible de prendre des mesures plus adaptées pour les protéger et sauvegarder ce patrimoine qui est par nature plus exposé aux dégradations.

Ce travail serait ainsi mis au service des échanges, des discussions interdisciplinaires et par extension, au profit d'une plus grande accessibilité des savoirs, d'une meilleure diffusion des connaissances sur ce patrimoine statuaire, en enrichissant des bases de données existantes.

Ainsi, la conception de l'ontologie pourrait, à terme, mener à un des progrès au sein de la discipline et de la restauration, et de la même façon, au fur et à mesure que la discipline progressera, il sera possible de faire évoluer l'ontologie, afin d'y intégrer tous les termes et concepts nécessaires à une juste description des oeuvres en présence.

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. Les nombreux questionnements et opportunités soulevées par ce travail semblent d'ailleurs pouvoir se poursuivre, et semble appeler à une suite afin de réaliser une véritable proposition performante. 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

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>.

Andrews, Pierre, Ilya Zaihrayeu, and Juan Pane. "A Classification of Semantic Annotation Systems," n.d., 27.

Bergamaschi, S, S Castano, S Montanari, and M Vincini. "An Intelligent Approach to Information Integration," n.d., 16.

Al-Jadir, Lina, Christine Parent, and Stefano Spaccapietra. "Reasoning with Large Ontologies Stored in Relational Databases: The OntoMinD Approach." *Data & Knowledge Engineering, Special issue on contribution of ontologies in designing advanced information systems*, 69, no. 11 (November 1, 2010): 1158–80.

Andrews, Pierre, Ilya Zaihrayeu, and Juan Pane. "A Classification of Semantic Annotation Systems," n.d., 27.

Bachimont, Bruno. "Engagement sémantique et engagement ontologique : conception et réalisation d'ontologies en Ingénierie des connaissances.," n.d., 16.

Bergamaschi, S, S Castano, S Montanari, and M Vincini. "An Intelligent Approach to Information Integration," n.d., 16.

Blaško, Miroslav, Riccardo Cacciotti, Petr Křemen, and Zdeněk Kouba. "Monument Damage Ontology." In *Progress in Cultural Heritage Preservation*, edited by Marinos Ioannides, Dieter Fritsch, Johanna Leissner, Rob Davies, Fabio Remondino, and Rossella Caffo, 221–30. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg, 2012.

Boochs, F., A. Trémeau, O. Murphy, M. Gerke, J.L. Lerma, A. Karmacharya, and M. Karaszewski. "Towards A Knowledge Model Bridging Technologies And Applications In Cultural Heritage Documentation." *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences II-5* (May 28, 2014): 81–88. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-81-2014>.

Boochs, Frank, Andreas Marbs, Helmi Hmida, Hung Truong, Ashish Karmachaiya, Christophe Cruz, Adlane Habed, Christophe Nicolle, and Yvon Voisin. "Integration of Knowledge to Support Automatic Object Reconstruction from Images and 3D Data." In *Eighth International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices*, 1–13. Sousse: IEEE, 2011. <https://doi.org/10.1109/SSD.2011.5993558>.

Bourigault, Didier, Nathalie Aussenac-Gilles, and Jean Charlet. "Construction de Ressources Terminologiques Ou Ontologiques à Partir de Textes Un Cadre Unificateur Pour Trois Études de Cas." *Revue d'Intelligence Artificielle* 18 (2004): 87–110. <https://doi.org/10.3166/ria.18.87-110>.

Busayarat, Chawee. "La maquette numérique comme support pour la recherche visuelle d'informations patrimoniales: définition d'une approche pour la sémantisation de sources iconographiques par référencement spatial.," n.d., 126.

Crofts, Nick. "Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model," n.d., 173.

Kwasnik, Barbarah. "The Role of Classification in Knowledge Representation and Discovery'," n.d., 26.

Messaoudi, Tommy, Philippe Véron, Gilles Halin, and Livio De Luca. "An Ontological

Model for the Reality-Based 3D Annotation of Heritage Building Conservation State." *Journal of Cultural Heritage* 29 (January 1, 2018): 100–112. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.05.017>.

Tamba, Irène. "Organisation hiérarchique et relations de dépendance dans le lexique." *L'information grammaticale* 50, no. 1 (1991): 43–47. <https://doi.org/10.3406/igram.1991.3252>.

Livres

Messaoudi, Tommy, Adeline Manuel, Eloi Gattet, Livio De Luca, and Philippe Véron. *Laying the Foundations for an Information System Dedicated to Heritage Building Degradation Monitoring Based on the 2D/3D Semantic Annotation of Photographs*. The Eurographics Association, 2014. <http://dx.doi.org/10.2312/gch.20141315>.

Vincent, Matthew L., Víctor Manuel López-Menchero Bendicho, Marinos Ioannides, and Thomas E. Levy, eds. *Heritage and Archaeology in the Digital Age: Acquisition, Curation, and Dissemination of Spatial Cultural Heritage Data. Quantitative Methods in the Humanities and Social Sciences*. Springer International Publishing, 2017. <https://www.springer.com/la/book/9783319653693>.

Staab, Steffen, and Rudi Studer, eds. *Handbook on Ontologies*. 2nd ed. International Handbooks on Information Systems. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. <https://www.springer.com/us/book/9783540709992>.

Rodríguez, J. L. Pérez. *Applied Study of Cultural Heritage and Clays*. Editorial CSIC - CSIC Press, 2003.

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. « Au-

tomatic 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>.

Digital heritage 2019

Tommy Messaoudi, Philippe Véron, Gilles Halin, Livio de Luca. An ontological model for the reality- based 3D annotation of heritage building conservation state. *Journal of Cultural Heritage*, Elsevier, 2018, 29, pp.100-112. 10.1016/j.culher.2017.05.017 . hal-01982887

Vocabulaires

"Art & Architecture Thesaurus (Getty Research Institute)." Accessed January 30, 2019. <http://www.getty.edu/research/tools/vocabularies/aat/>.

Cartwright, Vergès-Belmin, and International Scientific Committee for Stone, *Illustrated Glossary on Stone Deterioration*, 2008.

Fitzner, Bernd, and Kurt Heinrichs. "Damage Diagnosis on Stone Monuments – Weathering Forms, Damage Categories and Damage Indices," n.d., 49.

"A glossary of historic masonry deterioration problems and preservation treatments», Anne E Grimmer, Department of the interior national park service preservation assistance division. 1984.

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 et rapports de stage

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.

Tommy Messaoudi. Proposition d'une ontologie de domaine dédiée à l'annotation d'images spatialisées pour le suivi de la conservation du patrimoine culturel bâti. Autre. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM, 2017. Français. <NNT : 2017ENAM0021>. <tel-01628391v2>

Alexandra, Stoleru. "Proposition d'une ontologie de domaine dédiée à la description des traces anthropiques des grottes ornées," n.d., 44.

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>

