

# LE CONTRÔLE DE QUALITÉ POUR LES TRAITEMENTS DE NETTOIEMENT : UNE PROPOSITION MÉTHODOLOGIQUE DE CHANTIER

Lorenzo Appolonia, Dario Vaudan, Anna Brunetto\*, Nicole Seris\*

## Préambule

Pendant l'été 2006, la Surintendance des activités et des biens culturels de la Région autonome Vallée d'Aoste, par le biais de la Direction de la recherche et des projets cofinancés et du LAS (Laboratoire d'Analyses Scientifiques pour la conservation), avec la collaboration de l'OPD (Opificio delle Pietre Dure) de Florence, a organisé une campagne préventive de sondages de nettoyage dans le but d'établir la méthode d'intervention la plus appropriée pour ôter le badigeon des fresques du donjon du château de Quart. Cette étude, effectuée avec un chantier d'école de l'OPD, a testé différentes techniques traditionnelles de nettoyage, aussi bien mécaniques que chimiques.<sup>1</sup>

Parmi les techniques à sec les plus significatives qui ont été testées :

- le nettoyage au bistouri (aussi bien à sec que sur un mur précédemment humidifié avec de l'eau, avec des temps de contact allant de 30 minutes à 24 heures) ;
- le débadigeonnage à la fibre de verre.

Pour ce qui est des techniques humides, des sondages de nettoyage ont été réalisés à l'aide de :

- compresses de carbonate d'ammonium+pâte de cellulose ;
- mélange de carbonate d'ammonium et de Klugel (hydroxypropylcellulose) sur papier japonais ;
- compresses de vinaigre blanc dilué ;
- mélange de vinaigre blanc et de Klugel ;
- résines à échange anionique et cationique ;
- compresses de citrate de sodium et citrate de potassium ;
- EDTA à 3% et à 5%.

Aucune des méthodes testées citées ci-dessus n'a donné les résultats espérés. Il a donc été décidé de vérifier la possibilité d'utiliser le système de nettoyage au *laser*.<sup>2</sup> Bien que les pellicules picturales représentent encore un problème délicat dans le cadre du nettoyage au *laser*, cette méthode s'est immédiatement avérée la moins invasive et la moins destructrice. En effet, calibré avec des puissances et des longueurs d'impulsion différentes, réglé avec des paramètres de densité, de fréquence de répétition et d'énergies différentes d'après les couleurs de la pellicule picturale sous-jacente, cet instrument permet d'ôter la couche consistante de badigeon sans altérer la tonalité des pigments, sans réagir chimiquement avec les matériaux présents et sans endommager la surface par une action mécanique.

Ces problèmes nous ont poussés à expérimenter une série d'instruments, dans le but de fournir un support analytique au restaurateur pour une validation correcte et appropriée de son travail. La démarche mise au point a été conçue non seulement pour les nettoyements *laser*, mais, en général, pour évaluer différentes typologies de traitement dans le cadre du processus de restauration. Cette extension de la méthode est actuellement en cours.

## Aperçu historique

Avec sa structure architecturale articulée, qui s'est agrandie au fil des transformations importantes que le bâtiment a subies au cours des siècles, le château de Quart constitue un *unicum* en Vallée d'Aoste.

De nos jours encore, ce complexe apparaît dans toute sa grandeur : entouré d'un rideau élevé de murs alterné de tours rondes et carrées, il renferme différents corps de bâtiment construits, restructurés et transformés au fil des siècles. Ces édifices, disposés à des hauteurs et à des niveaux différents, sont reliés entre eux par un parcours traversant de vastes cours.

Le château primitif remonte aux XI<sup>e</sup>-XII<sup>e</sup> siècles<sup>3</sup> et il est situé dans la zone la plus élevée du manoir. Il était entouré d'une enceinte, beaucoup moins étendue qu'aujourd'hui, à l'intérieur de laquelle domine le donjon. Au fil des siècles, différentes constructions ont été ajoutées aux structures d'origine pour atteindre la forme du plan et la volumétrie actuelles.

Ainsi que cela est démontré par l'analyse des murs intérieurs et extérieurs, ce donjon a été transformé et réadapté plusieurs fois. Un examen attentif permet de remarquer des raccords dans les courtines, des variations du niveau des semelles et des dimensions des ouvertures.<sup>4</sup> L'intérieur du bâtiment comprend deux étages : celui du haut n'a pas de décorations particulièrement intéressantes, exception faite pour des restaurations importantes et bien visibles auxquelles consacrer des études plus approfondies ; en revanche, trois murs de l'étage du bas portent les traces évidentes d'un cycle de fresques au sujet profane. Derrière une couche tenace et non homogène de badigeonnage, sur les murs Nord, Est et Ouest, il est possible d'entrevoir l'ombre d'une précieuse décoration murale. Au-dessus de ce badigeonnage, il y avait des inscriptions et des décorations au fusain, parmi lesquelles ressortaient les dates 1545 et 1556, considérées par les historiens comme termes *post quem*, au-delà desquels la couche de badigeon n'a certainement pas été étendue.<sup>5</sup> Avant même le début des travaux de restauration, malgré les difficultés de lecture des peintures murales, certains cycles à l'intérêt iconographique particulier apparaissent sous le badigeonnage. Grâce à quelques inscriptions, qui dissipent tous les doutes, un programme de décoration sur plusieurs registres, lié à des thèmes spécifiques, était reconnaissable. Ce programme se développe sur trois registres superposés. En bas, un rideau peint, qui longeait vraisemblablement tout le périmètre de la salle et qui servait probablement de remplissage. À l'intérieur des cadres de la bande intermédiaire, trois cycles mystérieux sont représentés : le premier en relation avec le *Roman d'Alexandre*, le second avec le *Calendrier* et le troisième avec *Sanson*. Il est important de rappeler que, à notre connaissance, ces trois thèmes ne sont présents en même temps que dans un autre cas : la mosaïque de Pantaléon dans la cathédrale d'Otrante.<sup>6</sup> Enfin, la lecture

des scènes du registre supérieur n'est plus possible ; la plupart de la surface peinte a, en effet, été perdue au cours du changement structurel des murs au XV<sup>e</sup> siècle, période où la volumétrie du bâtiment change avec l'insertion d'un plafond en bois qui crée un deuxième étage. Dès lors, seule la partie inférieure de la bande décorative est visible, bien qu'il soit encore possible de nos jours de remonter à la hauteur d'origine du registre, témoignée par un fragment de la bande rouge et noire habituelle, retrouvée sur le mur Nord au-dessus de la fenêtre trilobée en pierre.

### Système de contrôle

Dans le but d'élaborer un système de contrôle visant à fournir des indications sur la qualité de l'intervention et sur le caractère homogène des résultats obtenus au cours des travaux, une procédure expérimentale a été proposée, à appliquer dans l'évaluation de la qualité des différentes méthodes de nettoyage. Avec l'objectif de contrôler les résultats de façon analytique et de vérifier que le *laser* était effectivement adapté, et en comparant également les techniques traditionnelles de nettoyage entre elles, les instruments qui paraissaient les plus appropriés ont été définis.

La colorimétrie, la microscopie optique portative de chantier, la microscopie de laboratoire et la spectrophotométrie de réflectance avec fibres optiques se sont révélées les techniques d'analyse les plus adaptées, même si elles ne s'avèrent pas toujours complètement résolutive.

Avant de procéder aux mesures et aux prises de vue, les objectifs à atteindre et les paramètres à vérifier ont été définis ; sur la base de ceux-ci, un plan des points à étudier a été préparé.

Parmi les objectifs principaux, au-delà du but fondamental de définir une procédure de contrôle de la qualité que l'on puisse définir *standard* et qui puisse être appliquée aux multiples méthodes de restauration et, en particulier, aux phases délicates du nettoyage, il y avait la volonté de vérifier et de confirmer de façon analytique le choix d'utilisation du *laser* comme la méthode de nettoyage et d'enlèvement du badigeon la plus adaptée. Cette vérification a été possible en comparant les tasseaux de nettoyage effectués avec les différentes techniques traditionnelles (bistouri, fibre de verre, compresses au carbonate d'ammonium ou utilisation de résines à échange ionique et anionique) avec les tasseaux de nettoyage effectués au *laser*, calibré sur des longueurs d'onde spécifiques et à des intensités déterminées sur la base de la tonalité de la pellicule picturale d'où ôter le badigeon.

Le deuxième objectif à considérer a été, dans le détail, le contrôle des résultats obtenus au moyen du nettoyage *laser* au cours des travaux. Bien que le *laser* se soit avéré l'outil le plus efficace, dans ce cas, pour ôter le badigeonnage, il exige en effet une surveillance continue afin de guider son calibrage, le choix de la typologie de *laser* à utiliser, la couche de matériau à enlever et le niveau auquel l'enlèvement de matériau doit s'arrêter.

Sans perdre de vue les finalités indiquées ci-dessus et une fois établis les instruments les plus adaptés pour la collecte de données valables au point de vue analytique et pouvant être reproduites, une série plutôt importante

de mesures colorimétriques a été effectuée sur toute la surface, suivie d'une série tout aussi nombreuse de photographies macroscopiques numériques effectuées sur les mêmes points que la colorimétrie.

Là où l'avancement des travaux le permettait encore, des zones encore couvertes de badigeon ont été mesurées. Ces parties ont été prises comme point de départ pour comparer les données relevées sur les zones nettoyées avec les techniques traditionnelles et au *laser*. Les premières mesures colorimétriques, en effet, ont été prises sur tous les tasseaux de nettoyage effectués pendant la campagne préventive d'études de 2006 avec des techniques traditionnelles (chantier école OPD) et au *laser*.

N'ayant pas, toutefois, les évaluations analytiques du badigeon pour tous les points étudiés, il n'a été possible que d'effectuer une lecture plutôt ponctuelle et ciblée de chaque cas particulier. Dans certains cas, il a été possible d'évaluer les différences colorimétriques entre l'état de saleté initial et les passages successifs du *laser* ; dans d'autres cas, c'est-à-dire presque toujours, il a été possible d'observer la différence d'efficacité des différentes techniques de nettoyage traditionnelles pour ôter le badigeon, en les comparant ensuite avec les résultats obtenus grâce au *laser*. En évaluant ces différences ( $\Delta E$ ), il a été possible de mettre en lumière la quantité de matière qui pouvait encore être enlevée et, donc, l'efficacité d'une technique par rapport à une autre. En même temps, il a été possible de confirmer la potentialité des instruments *laser* et le fait qu'ils sont adaptés au cas d'études considéré. La qualité du nettoyage et les résultats obtenus avec les différentes techniques ont ainsi été évalués ; de plus, il a été possible de surveiller et de contrôler de manière continue l'application du *laser* et son caractère invasif.

Une fois que ces données ont été rassemblées, les paramètres à prendre en considération comme points de repère fixes, en mesure de définir l'évolution du nettoyage et, par conséquent, d'en surveiller la qualité, ont été définis.

À l'aide d'un colorimètre, il a été possible de déterminer les coordonnées de quelques tasseaux dans les espaces colorimétriques CIELAB et CIELCH, qui définissent la luminosité ( $L^*$ ), la chromaticité ( $a^*$ ,  $b^*$ ), la saturation ( $C^*$ ) et l'angle du ton mesuré en degrés ( $h^*$ ).

Suivant les dimensions du tasseau, les mesures ont été effectuées en partant d'un minimum de 5-6 mesures pour arriver à un maximum de 12. Après une première mesure, une deuxième a été réalisée pour chaque tasseau suite à un nettoyage au *laser*. Vu le nombre important de tasseaux étudiés et leur disposition sur la surface murale, ceux-ci ont tous été désignés par un nom, numérotés et insérés sur un plan. De plus, une photographie de chaque tasseau a été prise pour en définir la position dans le contexte et une prise de vue macroscopique numérique soulignant sa texture superficielle et sa morphologie macroscopique dans le détail.

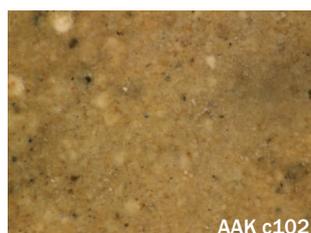
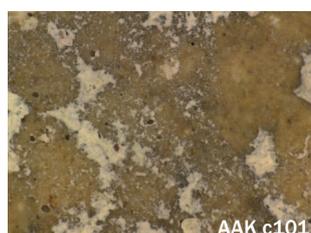
Le tableau 1 et l'illustration 1 fournissent un exemple pour expliquer la méthode de base suivie dans l'organisation de la recherche ; il s'agit aussi d'un exemple particulièrement intéressant au point de vue analytique, qui fournit une démonstration des données obtenues.

AAK c100	Mur Nord, zone du fond, près de l'« arbre du soleil », badigeon					
	L*	a*	b*		C*	h*
1	69,11	0,25	6,98		6,98	88,00
2	64,99	0,40	6,66		6,67	86,60
3	67,02	0,33	7,03		7,03	87,40
4	69,85	0,26	6,74		6,74	87,80
5	67,19	0,29	7,19		7,19	87,80
6	69,31	0,25	6,61		6,61	87,90
7	69,03	0,51	8,39		8,40	86,60
8	69,20	0,26	7,71		7,71	88,10
9	67,76	0,35	7,17		7,17	87,30
10	67,52	0,36	7,41		7,41	87,30
Moyenne	68,10	0,33	7,19		7,19	87,48
Variance	2,19	0,01	0,29		0,30	0,30

Tableau 1. Description des données obtenues pour les coordonnées CIELAB et CIELCH.



1. Plan des points AAK c100, AAK c101 et AAK c102 sur le mur Nord. (LAS)



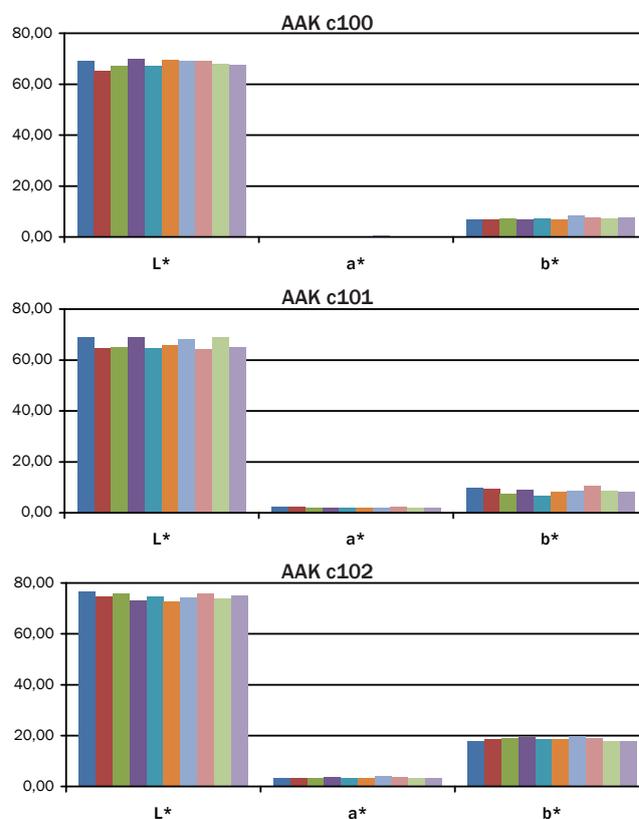
2. Photographie et vue microscopique des tasseaux AAK c100, AAK c101, AAK c102. (LAS)

Les tasseaux AAK c100, AAK c101 et AAK c102 correspondent à une même zone de blanc du fond, mesurée à trois niveaux différents de nettoyage. Le premier tasseau coïncide avec la zone encore recouverte de badigeon, le deuxième avec la même zone après le premier passage du laser SFR (*laser Short Free Running*, caractérisé par une durée moyenne de l'impulsion) et le troisième avec le nettoyage définitif effectué au laser LQS (*laser Q-Switched* à impulsions courtes).

Après la mise sur fiches, les valeurs moyennes et la variance de toutes les mesures effectuées pour un degré déterminé de nettoyage d'un même tasseau ont été déterminées pour chaque coordonnée. Les valeurs moyennes ont ensuite permis de déterminer les  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$  et  $\Delta L^*$  correspondant aux différences qui apparaissent aux différents niveaux de nettoyage pour les valeurs d' $a^*$ , de  $b^*$  et de  $L^*$ , ainsi que les  $\Delta E$  concernant la différence chromatique totale (tableau 2). Afin de rendre la perception de la signification de la variance plus immédiate, il a été décidé de représenter graphiquement, par le biais d'histogrammes, les valeurs des mesures effectuées, en mettant en évidence l'évolution des coordonnées  $L^*$ ,  $a^*$  et  $b^*$ ; cela a permis d'obtenir une donnée fournissant des indications sur l'homogénéité de la mesure (fig. 3).

Différence avant - après	L*	a*	b*		
AAK c100 - AAK c101	1,56	-1,85	-1,55	$\Delta E$	2,88
AAK c101 - AAK c102	-8,10	-1,33	-9,84	$\Delta E$	12,81

Tableau 2. Exemple des valeurs obtenues par les différentes mesures des trois étapes de nettoyage.



3. Vérification de l'homogénéité de la mesure pour les tasseaux AAK c100, AAK c101 et AAK c102.

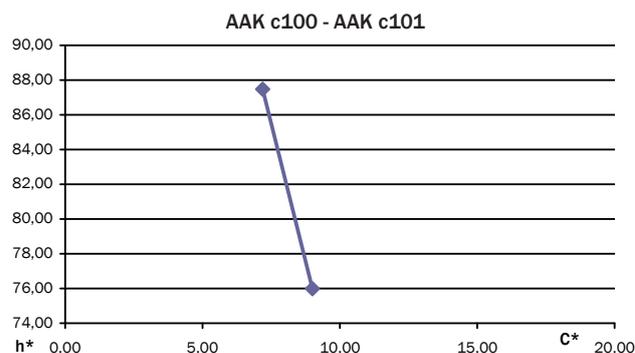
Pour pouvoir comparer la différence de chromaticité qui existe entre les deux étapes de nettoyage successives, il a été établi de représenter graphiquement la variation que les données-couleur subissent dans l'espace colorimétrique CIELCH. Avec ce système chromatique, des graphiques ont été élaborés en insérant, sur l'axe des abscisses, les valeurs moyennes de la coordonnée  $C^*$  et, sur l'axe des ordonnées, celles de la coordonnée  $h^*$  exprimées en degrés, avant et après le nettoyage. Il a ainsi été possible d'observer directement sur le graphique les variations angulaires du ton et le déplacement le long de la ligne de saturation de la couleur. Il est donc possible de mettre en lumière, sur l'axe des X, le déplacement effectué par la teinte le long de la ligne de saturation de la couleur : plus grande sera la distance, plus la chromaticité se sera déplacée d'un niveau du ton moins saturé à un niveau plus saturé. En revanche, pour ce qui est du déplacement des coordonnées par rapport à l'axe des Y, plus petite sera la différence, moins le ton aura changé au cours du nettoyage. Au point de vue graphique, un segment unit les deux points représentant les coordonnées avant et après le nettoyage.

Il faut remarquer que ce n'est pas particulièrement la direction du segment obtenu sur le graphique qui est importante, mais plutôt son inclinaison. En théorie, un nettoyage qui n'élimine que la couche de saleté superficielle - si celle-ci est vue comme une somme de gris plus ou moins foncé posée sur la surface -, qui conserve la tonalité d'origine et qui améliore la saturation de la couleur sera ainsi représenté par un segment horizontal.

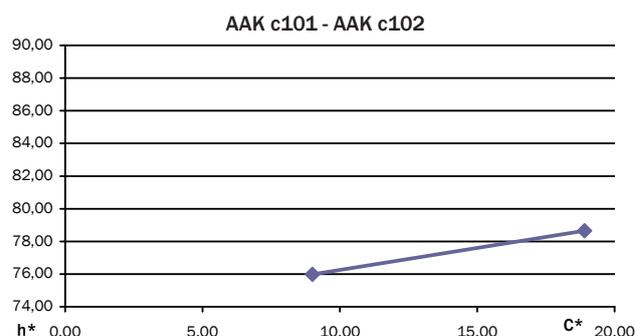
Par contre, si la différence de l'angle  $h^*$  exprimée en degrés entre avant et après est particulièrement importante, cela voudra dire que la différence de chromaticité sera considérable et exigera quelques réflexions, sauf s'il s'agit de l'enlèvement d'une couleur (comme dans le cas du badigeon) ou d'une résine altérée.

Afin de fournir un exemple qui rende plus claires les considérations exposées ci-dessus, observons dans le détail le cas étudié jusqu'ici : pendant le premier passage d'un état complètement couvert de badigeon à une propreté relative, où une certaine chromaticité (n'importe laquelle) commence à apparaître, il est possible de remarquer que la différence entre l'angle de la teinte initiale et celui qui suit le premier passage du *laser* est naturellement significative. À moins que la tonalité de la polychromie sous-jacente ne s'approche de celle du badigeon, il est absolument logique de remarquer une différence importante entre les deux angles  $h^*$ . Dans notre cas (fig. 4a), il est possible d'observer un déplacement important d'un angle de  $87,5^\circ$  correspondant au badigeon à un angle de  $76,0^\circ$  correspondant à la même zone après le premier passage au *laser* SFR.

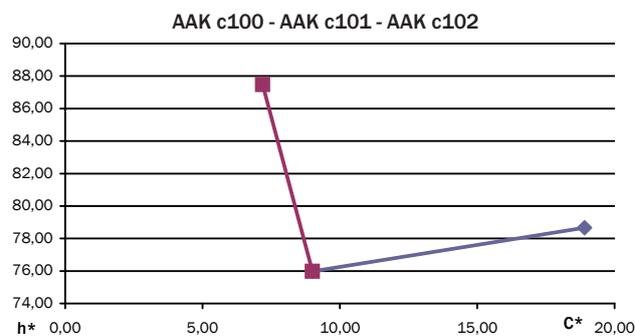
La différence diminue au moment où l'on passe d'une zone relativement propre, avec un degré d'homogénéité de la mesure encore réduit, mais où l'on entrevoit déjà une chromaticité déterminée, à un niveau de nettoyage définitif, complètement débadigeonné et plutôt homogène. La variation de l'angle  $h^*$  se réduit, ce qui indique que la tonalité ne subit pas de changements importants : on passe d'un angle de  $75,98^\circ$  à un de  $78,66^\circ$ . D'une différence de  $11,5^\circ$ , la variation est passée à  $2,5^\circ$  environ



a)



b)



c)

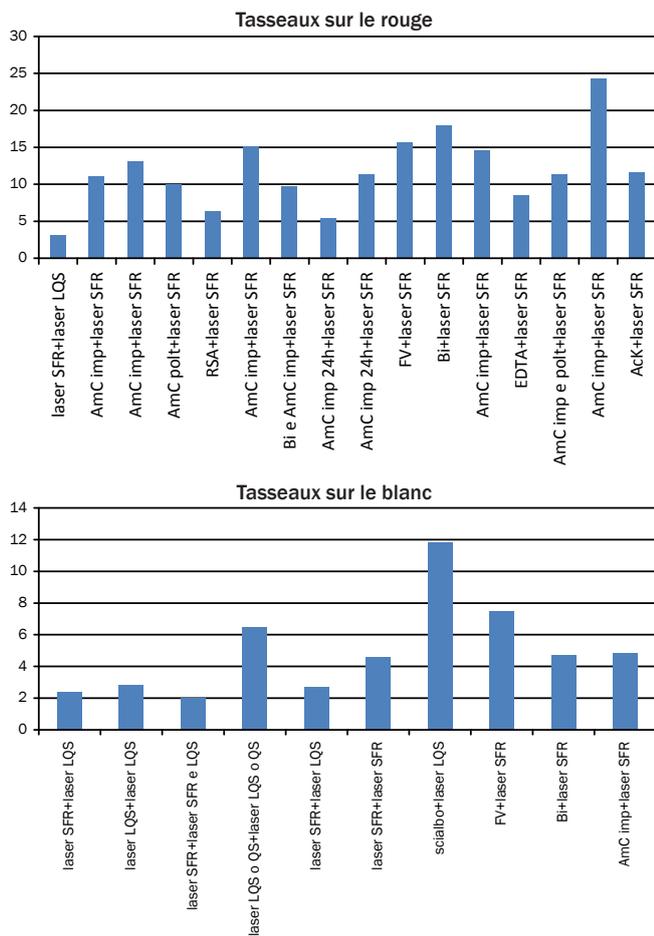
4. Différence de chromaticité et saturation entre les tasseaux AAK c100, AAK c101 et AAK c102.

(fig. 4b). La variation globale est plus facile à lire à partir de l'ensemble des deux courbes (voir fig. 4c).

Cette méthode de travail a été suivie pour tous les points étudiés. Dans l'ensemble, 107 tasseaux ont été mis sur plan et mesurés, mais la deuxième mesure n'a pas toujours pu être effectuée. En effet, l'opération de nettoyage était encore en cours et de nombreux tasseaux n'avaient pas encore été nettoyés au *laser*.

Les différences chromatiques ont ensuite été comparées et insérées dans un graphique permettant de relever et de quantifier l'efficacité du *laser* par rapport à toutes les techniques traditionnelles de nettoyage. En observant ces valeurs, en effet, il a été possible de quantifier les deux étapes de nettoyage, du dégrossissage à la finition.

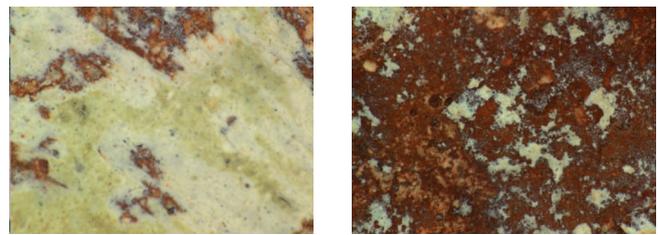
Dans la substance, pour comprendre les résultats obtenus, il est possible d'affirmer que nous avons été en mesure de vérifier la contribution du nettoyage *laser*, choisi comme nettoyage définitif, pour ce qui est de sa capacité d'ôter les résidus de badigeon encore présents sur la surface déjà nettoyée avec les méthodes traditionnelles (fig. 5).



5. Exemples des valeurs de  $\Delta E$  après les finitions de nettoyage laser sur les tasseaux: obtenus avec des méthodes « traditionnelles ».

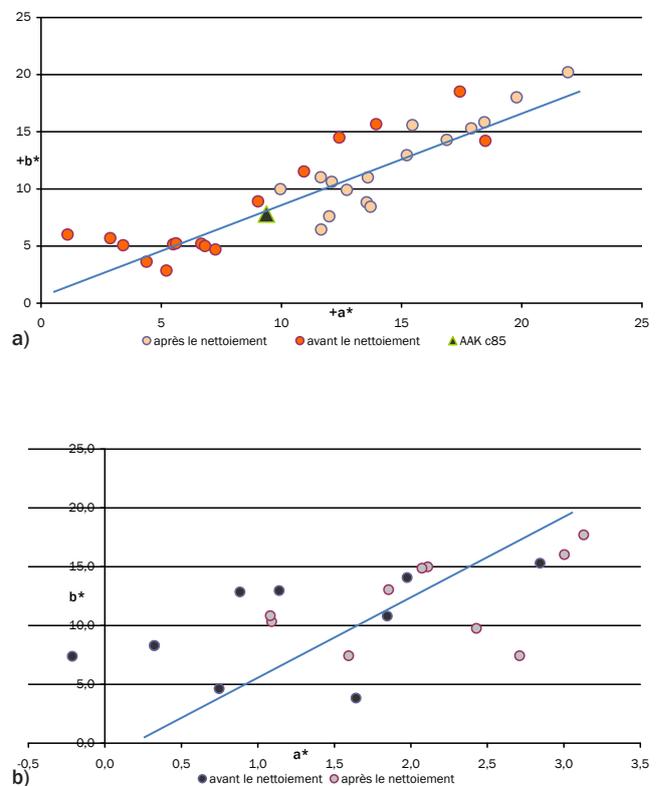
L'évaluation nous apprend que plus la valeur  $\Delta E$  est élevée, plus grande est la différence chromatique totale entre les deux niveaux de nettoyage successifs, donc plus grande est la quantité de badigeon enlevé par le laser; par conséquent, la capacité des techniques traditionnelles de nettoyage étudiées d'enlever du matériau de la surface s'avérera inférieure. Enfin, il est important de rappeler que les valeurs  $\Delta E$  n'atteignant pas au moins 3 ont été considérées négligeables, car elles ne sont pas perceptibles à l'œil humain.<sup>7</sup>

En revanche, le traitement des données suivant le système  $C^* h^*$ <sup>8</sup> a fait apparaître une augmentation générale de la saturation et un déplacement d'ensemble vers une tonalité uniforme: dans le cas des tasseaux rouges, par exemple après le nettoyage, l'angle  $h^*$  est compris entre 30° et 45° environ. Le fait que tous les segments aillent dans une même direction indique la tendance générale des tasseaux de couleur rouge étudiés à se déplacer vers une même tonalité et met en lumière l'uniformité du résultat obtenu avec le nettoyage laser. La plupart des segments obtenus n'ont pas une inclinaison particulièrement accentuée, ce qui indique que le nettoyage n'a pas causé de changement important de tonalité. Il y a un seul cas, dans le tasseau AAK c91, où l'on observe un déplacement singulier de la chromaticité dû à la réduction de l'angle de la teinte d'une valeur de 78,79° à 28,62°. Il est possible d'expliquer cette anomalie en observant également les photographies macroscopiques effectuées sur

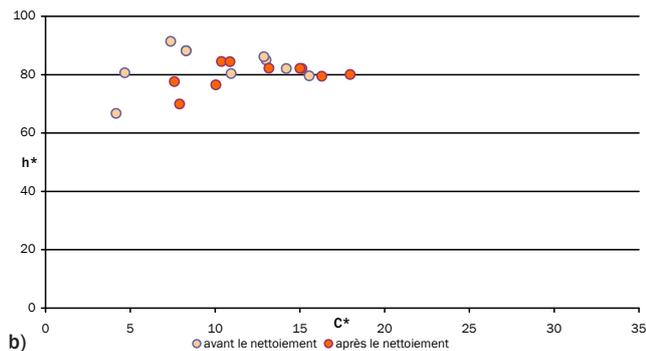
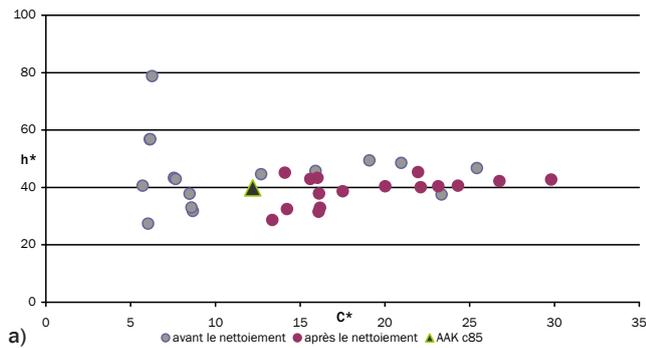


6. Tasseau OPD AAK c91 nettoyé avec une compresse de carbonate d'ammonium (premier nettoyage) et tasseau AAK c91 nettoyé au laser SFR (deuxième nettoyage). (LAS)

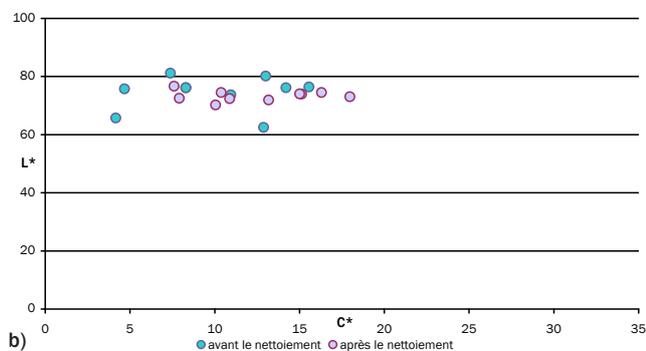
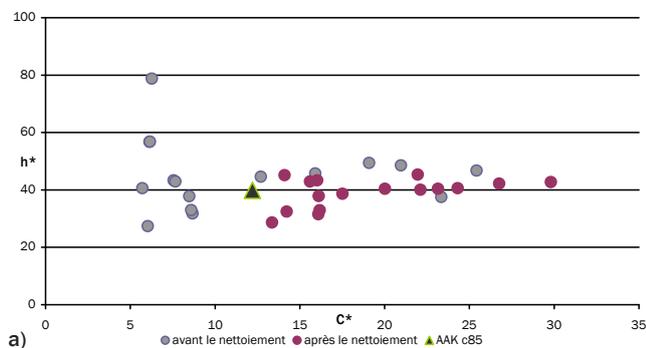
le tasseau avant et après l'intervention du laser (fig. 6). Il est en effet évident, même à partir des photographies, que le niveau de nettoyage atteint par la technique traditionnelle qui a précédé l'action du laser, effectuée avec une compresse de carbonate d'ammonium, ne pouvait être considérée satisfaisante. Le laser a ôté une quantité remarquable de badigeon et les différences de chromaticité que l'on peut relever dans les prises de vues de la morphologie superficielle ont confirmé les résultats obtenus avec les mesures colorimétriques. On passe, en effet, d'une tonalité blanc-grisâtre, caractéristique du badigeonnage, à une tonalité rougeâtre. Le segment du graphique met également en évidence cette variation de tonalité. L'évaluation des graphiques qui suivent et qui rapportent les distributions des coordonnées colorimétriques des tasseaux relevées avant et après le nettoyage (fig. 7, 8, 9) permet de mieux saisir ce qui a été expliqué plus haut. Les coordonnées du tasseau rouge AAK c85 - pris comme rouge de référence, car situé à un endroit où la couche de badigeon s'est détachée naturellement, sans l'interven-



7. Graphique à dispersion concernant le déplacement des coordonnées chromatiques  $a^*$  et  $b^*$  des tasseaux sur le rouge (a) et sur le blanc (b) à l'intérieur de l'espace colorimétrique CIELAB.



8. Graphique à dispersion concernant le déplacement des coordonnées chromatiques  $C^*$  et  $h^*$  des tasseaux sur le rouge (a) et sur le blanc (b) à l'intérieur de l'espace colorimétrique CIELCH.



9. Graphique à dispersion concernant le déplacement des coordonnées chromatiques  $C^*$  et  $L^*$  des tasseaux sur le rouge (a) et sur le blanc (b) à l'intérieur de l'espace colorimétrique CIELCH.

tion d'aucun type de nettoyage - ont été insérées dans les graphiques. Il est compréhensible que la saturation de ce tasseau par rapport aux autres soit inférieure, puisque la pellicule picturale est recouverte d'une couche de dépôt superficiel accumulé au fil du temps.

Les illustrations permettent de remarquer que, après le nettoyage, tous les tasseaux s'alignent avec le point AAK c85 et se placent ainsi le long de la ligne droite qui indique la tonalité rouge hypothétique « d'origine ». De plus, il est possible d'observer que la saturation a tendance à augmenter pour tous les points, alors que la luminosité tend à diminuer, s'approchant de celle du rouge de référence.

Pour ce qui est, par contre, de l'interprétation des graphiques concernant les tasseaux mesurés sur les blancs, il est possible de remarquer que, après le deuxième nettoyage effectué au *laser*, dans l'ensemble la saturation augmente. La tonalité se concentre à l'intérieur d'un angle  $h^*$  compris entre  $70^\circ$  et  $85^\circ$  et la luminosité tend à s'uniformiser (fig. 10). Les nuances et les différences de chromaticité que l'on relève parmi les blancs sont difficiles à percevoir visuellement ; la sensibilité à des colorations dues à des patinages ou à des transparences de la pellicule picturale, ainsi qu'à des composantes ferreuses présentes dans la finition sous-jacente ou à la présence de résidus de badigeon sur la surface, causent la distribution quelque peu désordonnée que l'on peut observer à l'intérieur de l'espace colorimétrique CIELAB, bien que, dans ce cas aussi, il y ait un alignement général le long d'une même tonalité.

### Conclusions

Le procédé analytique appliqué a permis non seulement de définir les instruments qui auraient pu être, potentiellement, les plus adaptés à la réalisation d'un tel projet, mais aussi d'établir les paramètres à évaluer et à considérer au cours des mesures. Les avantages du système proposé résident essentiellement dans le caractère non invasif et dans l'applicabilité sur place, car les appareils utilisés peuvent être transportés.

Les résultats obtenus au cours de cette recherche ont tout de suite confirmé qu'un colorimètre et un microscope portable numérique peuvent être adaptés pour le travail en question et, dans l'ensemble, ils ont vérifié et démontré la bonne qualité du niveau de nettoyage obtenu avec les appareils *laser*. En effet, par rapport aux techniques traditionnelles de nettoyage précédemment testées par l'OPD, le *laser* s'est avéré le moyen le moins invasif et le plus efficace pour ôter la couche superficielle de badigeon, compte tenu, surtout, de la ténacité du badigeon adhérent à la surface picturale et de la fragilité de celle-ci.

Les données colorimétriques relevées et les diagrammes y afférents qui ont été réalisés ont permis d'établir quelques considérations importantes. Le nettoyage *laser* n'a pas seulement ôté le badigeonnage couvrant la surface picturale, mais il a aussi ramené les polychromies sous-jacentes à un niveau chromatique très proche de ce que devait être le niveau d'origine et, dans l'ensemble, il a augmenté la saturation et la pureté des tonalités, en ôtant les résidus superficiels sans altérer la pellicule picturale de façon mécanique, en perdant du matériau, ou chimique, en réagissant avec le matériau présent.

En outre, l'action du *laser* a conféré une certaine homogénéité à la chromaticité de la surface. Il a été possible de noter que, dans l'ensemble, après le passage et le nettoyage, tous les rouges et tous les blancs étudiés avaient tendance à être plus proches entre eux et à se déplacer dans une seule direction. Cette évolution indique une chromaticité, une luminosité et une saturation homogène et cohérente. Cette tendance générale met en évidence un nettoyage de bonne qualité, en mesure d'uniformiser sur le plan chromatique les zones ayant la même tonalité. Le tasseau sur le rouge d'origine, pris comme référence et cité plus haut, a permis d'évaluer l'évolution correcte ou incorrecte du nettoyage et a, naturellement, facilité le travail ; quoi qu'il en soit, il est possible d'obtenir des résultats absolument satisfaisants, qui témoignent de la qualité et du caractère homogène du nettoyage, même sans avoir de référence.

La comparaison et la vérification sur la qualité du nettoyage et sur son interaction avec la surface, effectuées à l'aide de coupes stratigraphiques à la limite entre la couche de badigeonnage et la partie enlevée, a permis de vérifier que le rayon *laser* ne réduisait pas l'épaisseur de la pellicule picturale. Le seul effet lisible est constitué par une homogénéisation de la surface qui, toutefois, ne modifie pas la chromaticité, mais la rend plus uniforme.

Une procédure de contrôle ou de vérification de la qualité d'un traitement de nettoyage - effectué suivant une approche non invasive comme celle qui est présentée ici, qui ne permet pas uniquement d'évaluer dans l'immédiat la bonne marche de l'intervention de conservation et son intégration avec l'œuvre d'origine, sans toutefois exiger aucun prélèvement de matériau de l'œuvre - est en train d'être vérifiée afin de comprendre s'il est potentiellement possible d'élargir son application à toutes les opérations de restauration qui n'ont pas encore été considérées, du consolidement à l'application des produits protecteurs.

#### Abstract

The stimulus for the evaluation of cleaning quality, or specifically in this case of *descialbo*, stems from the opening of the restoration site in Quart, work which aims at the recovery and valorisation of the *Donjon* frescoes of Quart Castle. The primary intention is that of identifying a method for objectively monitoring and improving the quality of the cleaning process. This study regards the identification of instrumental techniques applied *in situ* which are verified via the support of traditional techniques aimed at improving the quality of the work in general. The employed techniques have enabled those involved to counter risk situations and to create a protocol of measures aimed at improving the quality and homogeneity of interventions. Tools used for this research are the colorimeter, the FORS spectrophotometer, the work site microscope and the laboratory microscope. Via this research we are able to present results and the application of techniques for the control of cleaning methods.

1) A. FELICI, M. LANFRANCHI, Rapport de l'école de restauration de l'« Opificio delle Pietre Dure » de Florence - secteur de la Conservation des Peintures murales, 2008.

2) Commission NorMal, NorMal 11187, *Materiali lapidei naturali ed artificiali. Pulitura con tecnologia laser*, octobre 2006.

A. BRUNETTO, *L'utilizzo della strumentazione laser per la pulitura delle superfici nei manufatti artistici*, Padova 2004.

3) R. PERINETTI, M.C. RONC, *I risultati delle indagini archeologiche, dans Il castello di Quart. Recupero e Valorizzazione*, suppl. du n° 54 de « Revue », décembre 2002, p. 35, ensuite republié dans *Le château de Quart : recherches, analyses et proposition de mise en valeur*, dans BASA, VIII, n.s., 2003, pp. 403-418.

4) M. CORTELAZZO, *Contesti stratigrafici dalle indagini archeologiche (XII-XIII/metà XIV/fine XVI)*, dans L. APPOLONIA, G. DE GATTIS, P. FIORAVANTI, L. PIZZI, D. VAUDAN, G. ZIDDA, E. BEDINI, A. BERTONE, M. CORTELAZZO, J.-P. HURNI, M. LUPO, C. ORCEL, J. TERCIER, *Il castello di Quart*, BSBAC, 2/2005, 2006, pp. 74-77.

5) G. ZIDDA, *Aggiornamento sui cicli pittorici esistenti nel torrione del castello di Quart*, dans BSBAC, 3/2006, 2007, pp. 166-167.

6) E. ROSSETTI BREZZI, *La pittura gotica in Valle d'Aosta*, dans E. ROSSETTI BREZZI (sous la direction de), *Fragmenta picta. Testimonianze pittoriche dal castello di Quart. Secoli XIII-XVI*, catalogue de l'exposition (Saint-Pierre, château Sarrion de La Tour, en cours), Aosta 2003, pp. 12-13.

7) S. PALAZZI, *Colorimetria, La scienza del colore nell'arte e nella tecnica*, Firenze 1995, p. 91. La procédure du LAS réduit le terme de perception de la valeur de 5  $\Delta E$ , citée par Palazzi, à 3, car il considère cette limite plus réaliste et également beaucoup plus proche des comparaisons directes pour lesquelles Palazzi réduit les valeurs de perception à 2 ou à 1. Cette évaluation est étayée par les expériences menées au sein du laboratoire sur les fiches colorimétriques de Munsell.

8) L. APPOLONIA, A. BERTONE, A. BRUNETTO, D. VAUDAN, *The St. Orso Priory: the comparison and testing of cleaning method*, dans "Journal of Cultural Heritage", *A Multidisciplinary Journal of Science and Technology for Conservation and Promotion, Lasers in the Conservation of Artworks LACONA III*, vol. 1, supplément 1, 2000, pp. 105-110.

\*Collaboratrices extérieures : Anna Brunetto, restauratrice - Nicole Seris, boursière du Fonds Social Européen (FSE) en Méthodologies et Technologies pour la valorisation des biens culturels.