

Diagnostic d'altération sur les écuries du château de Chaumont-sur-Loire

K. Beck¹, M. Balawi¹, M. Ternoy¹, J. Mignon¹, S. Janvier-Badosa², R. Janvier^{1,3}, X. Brunetaud¹

¹ Univ. Orléans, Univ. Tours, INSA CVL, LaMé EA7494, 8 rue Léonard de Vinci, F-45072 Orléans

² Univ. Lorraine, CNRS, IJL, UMR 7198, F-54000 Nancy

³ Univ. Orleans, INSA-CVL, PRISME – EA4229, 8 rue Leonard de Vinci, F-45072, Orléans

RESUME. L'étude présentée concerne le diagnostic sanitaire du manège des écuries du château de Chaumont-sur-Loire. Les pierres de ce bâtiment présentent une forte altération par desquamation en plaques et en feuillets. La zone atteinte de desquamation est évolutive et sa surface a quasiment triplé en 20 ans de progression. Une inspection visuelle par caméra thermique a permis de localiser des zones humides, liées à une infiltration d'eau anormale par la toiture. Des prélèvements d'échantillons de pierre ont permis d'identifier la présence de sels solubles, tels que le gypse, à de très fortes concentrations dans les zones où l'altération est en cours de développement. Les zones où l'altération ne progressent plus, sont les zones où les teneurs en eau sont les plus grandes et où les teneurs en gypse sont les plus faibles.

Mots-clefs Diagnostic, patrimoine bâti, tuffeau, desquamation, gypse

I. INTRODUCTION

La conservation des ouvrages nécessite une surveillance et des inspections régulières. Les ouvrages du patrimoine bâti sont bien souvent construits en maçonnerie de pierres calcaires. La durabilité de ces matériaux naturels est conditionnée par leurs propriétés intrinsèques mais aussi par l'environnement où ils sont mis en œuvre. Le château de Chaumont-sur-Loire et ses écuries sont construits en tuffeau, qui est une pierre calcaire sédimentaire typique des constructions du Val de Loire. Elle est composée de calcite, de quartz, d'opale, de micas et de minéraux argileux, mais elle est surtout caractérisée par sa forte porosité, de l'ordre de 45%, et par sa faible durabilité (Beck et al., 2003). Le travail présenté s'inscrit dans le cadre du projet DIANE (Diagnostic, Numérisation et Exploitation de données diachroniques : Chaumont-sur-Loire), financé par la Région Centre - Val de Loire, qui s'intéresse à la conservation et à la valorisation scientifique et touristique du Domaine régional de Chaumont-sur-Loire. Dans ce projet, le diagnostic sanitaire du château et de ses écuries a été réalisé par l'élaboration de cartographies des altérations des pierres des façades extérieures, puis par la caractérisation de prélèvements d'échantillons de pierres altérées. Ainsi, un total de 132 prélèvements a été effectué sur 9 zones distinctes, sélectionnées soit pour leur représentativité des altérations majeures rencontrées sur le monument, soit pour leur singularité liée à un défaut spécifique de conservation de l'ouvrage. L'objectif de l'étude présentée ici concerne le diagnostic sanitaire d'une des neuf zones étudiées correspondant au manège des écuries du château, présentant une forte altération par desquamations.

II. Matériaux et Méthodes

II. A. Zone d'étude et prélèvements

La zone d'étude se situe au niveau des Écuries du Château et plus spécifiquement sous l'avant-toit du manège. Ce manège est un ancien four de la verrerie qui existait avant les écuries. En effet, même si le château a été édifié à la fin du XV^e siècle, les écuries actuelles ont été construites à la fin du XIX^e siècle et ont subies diverses restaurations au XX^e siècle. Cette zone présente une sévère altération par desquamations, générant des pertes de matière importantes et qui affecte cinq assises de pierre sous l'avant-toit. Une assise est constituée de blocs de pierre de 30 cm de hauteur et de 45 ou 90 cm de largeur. Des prélèvements d'échantillons de pierre ont été effectués par grattage de surface sur chacune des cinq assises dans la partie la plus altérée (Figure 1).

II. B. Méthodes

Des mesures par thermographie Infra-Rouge en mode passif ont été réalisées en février 2020 avec une caméra thermique FLIR E60bx durant une journée ensoleillée précédée de quelques journées pluvieuses. Les échantillons prélevés ont été caractérisés par différentes techniques d'analyse physico-chimiques. La teneur en eau a été mesurée par la masse des échantillons prélevés avant et après séchage dans une étuve à 60°C. La caractérisation minéralogique a été effectuée par Diffraction des Rayons X sur poudre afin d'identifier les minéraux constitutifs de la pierre et de détecter de possibles minéraux exogènes (mesure en 2θ de 5° à 60° utilisant la longueur d'onde Cu-K α_1). Les composés solubles, par la détermination en cations (Na⁺, NH₄⁺, Mg²⁺, K⁺, Ca²⁺) et anions (Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻), ont été quantifiés par chromatographie ionique en phase aqueuse. Le protocole de préparation des échantillons correspond à celui habituellement utilisé dans le cadre de la conservation du patrimoine bâti (Standard 13/83).

III. Résultats et discussion

La zone d'altération située sous l'avant-toit du manège présente une forte desquamation en plaques sur les trois assises de pierre supérieures, qui se trouvent juste en-dessous de l'avant-toit, ainsi qu'une forte présence d'algues vertes et de mousses s'étendant jusqu'à la quatrième assise. Une plante est même enracinée entre les pierres et l'avant-toit. Des traces d'efflorescences blanches et des desquamations en feuillettes sont également visibles jusqu'à la cinquième assise. Cette zone a bénéficié d'un suivi photographique permettant d'observer l'évolution de l'étendue de l'altération sur une période de presque 20 ans (Figure 1). En 2003, seule la première assise est atteinte de desquamation en plaques, la deuxième assise étant recouverte d'efflorescence. La surface atteinte de desquamation en plaques a considérablement augmenté en seulement 10 ans, et a presque triplé. En 2013, trois assises sont desquamées et les efflorescences atteignent la cinquième assise. La vitesse de développement de cette altération est très grande comparée aux desquamations en plaques rencontrées sur d'autres monuments en tuffeau (Janvier-Badosa et al., 2016). Depuis 2013, la surface atteinte par les efflorescences n'a pas progressé mais les pierres ont continué à se desquamer, et la surface occupée par les algues a augmenté. La mesure par caméra thermique a ainsi permis la localisation de zones humides. Le toit en ardoise recevant la chaleur du soleil apparaît en rouge mais tout le mur en pierre apparaît en bleu clair de manière très homogène car non exposé au soleil direct. On constate toutefois une zone apparaissant en bleu foncé (zone plus froide car refroidie par l'évaporation de l'eau) correspondant à la zone présentant des fortes desquamations en plaques et une présence d'algue importante. Cette

présence d'humidité a été confirmé par les mesures de teneur en eau des prélèvements (Tableau 1). En effet, ces zones froides correspondent à des teneurs en eau de l'ordre de 12%. La teneur en eau de la première assise, non visible sur l'image IR, est même de 20%, témoignant de la forte saturation en eau de la pierre, et expliquant l'importante quantité d'algue dans cette zone. Cette forte présence d'eau anormale est certainement due à un défaut de l'étanchéité à la jonction de l'avant-toit et du reste du mur.



Figure 1. Evolution de l'altération des pierres sur le manège des écuries et zone de prélèvements

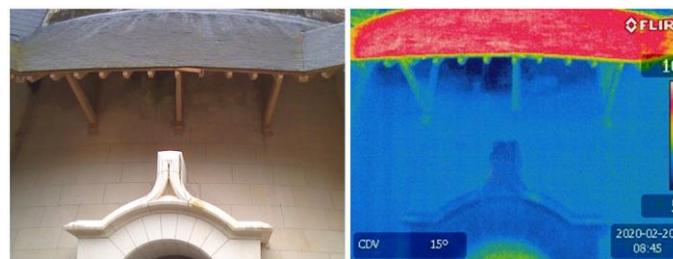


Figure 2. Images de la zone d'étude par caméra thermique

La caractérisation minéralogique des prélèvements a montré la présence d'un sel exogène : le gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. En effet, la figure 3 montre le diffractogramme du prélèvement n°5 de la pierre desquamée présentant des efflorescences blanches (Figure 1). La chromatographie ionique a détecté la faible présence de chlorure et de nitrate, qui serait lié à la possible présence de chlorure de sodium, et de nitrate de sodium ou de nitrate de magnésium, fréquemment rencontré dans le salpêtre. Elle a aussi permis d'avoir des mesures quantitatives du gypse, calculées à partir de la concentration en sulfates (Tableau 1). On remarque que le profil de teneur en gypse est inversement proportionnel au profil de teneur en eau dans la localisation du mur. En effet, elle est quasiment nulle dans les zones très fortement desquamées recouvertes par les algues où la teneur en eau est très grande, proche de la zone d'infiltration d'eau. Elle augmente progressivement pour devenir maximale dans l'assise où s'arrête le front humide et où les efflorescences blanches sont localisées. La teneur en gypse dans cette assise est d'environ 20%, correspondant aux teneurs en gypse des desquamations en feuillets rencontrés sur d'autres monuments en tuffeau (Janvier-Badosa et al., 2014). Les mouvements d'eau ont donc déplacé et accumulé les sels solubles dans

les assises de plus en plus éloignées de la zone d'infiltration d'eau. L'accumulation de ces sels est liée aux dégradations importantes par desquamations en plaques et en feuillets.

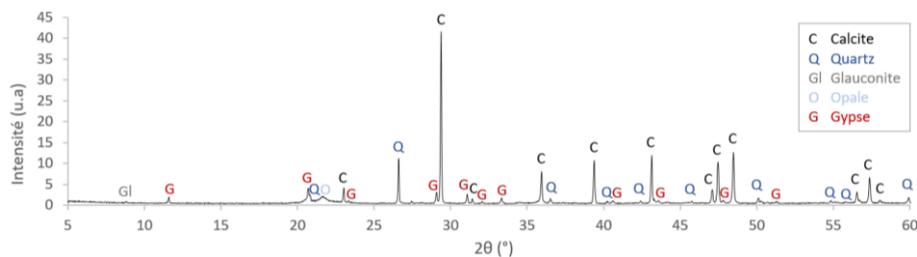


Figure 3. Diffractogramme des Rayons X du prélèvement n°5

Tableau 1. Résultats des mesures de la teneur en eau et de la chromatographie ionique

	Teneur en eau (%)	Concentration Cl ⁻ (mg/L)	Concentration NO ₃ ⁻ (mg/L)	Concentration SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Teneur en gypse calculée (%)
Prélèvement n°1	20,7	0,28	1,61	0,92	0,02
Prélèvement n°2	12,2	0,45	6,17	2,08	0,04
Prélèvement n°3	12,1	0,51	12,74	327,01	5,86
Prélèvement n°4	3,7	0,86	5,34	221,76	3,97
Prélèvement n°5	3,2	0,75	107,54	1207,37	21,64

IV. Conclusion

Le diagnostic sanitaire réalisé sur le manège des écuries du château de Chaumont-sur-Loire a montré l'existence d'une zone atteinte de desquamations à la base de l'avant-toit. Cette altération est liée à la présence de sels solubles, principalement du gypse, amenés par une infiltration d'eau. Les teneurs en gypse sont très fortes dans les zones altérées, et quasiment nulles dans les premières zones dégradées où l'altération ne progresse plus car les pierres sont toujours humides et lessivées par les infiltrations d'eau. L'altération est évolutive et progresse d'année en année. Il serait donc urgent de réaliser un traitement par dessalement dans les zones à risque chargé en sels, et de résoudre le problème d'étanchéité de la toiture.

REFERENCES

Beck K., Al-Mukhtar M., Rozenbaum O., Rautureau M. (2003). Characterisation, water transfer properties and deterioration in tuffeau: building material in the Loire valley-France, *Building and Environment*, 38(9-10), 1151-1162. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(03\)00074-X](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(03)00074-X)

Janvier-Badosa S., Beck K., Brunetaud X., Al-Mukhtar M. (2014). The occurrence of gypsum in the scaling of stones at the castle of Chambord (France), *Journal of Environmental Earth Sciences*, 71(11), 4751-4759. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2865-2>

Janvier-Badosa S., Beck K., Brunetaud X., Al-Mukhtar M. (2016). Kinetics of stone degradation of the Castle of Chambord – France, *Int. J. of Architectural Heritage*, 10(1), 96-105. <https://doi.org/10.1080/15583058.2014.971194>

Standard NORMAL 13/83 Dosaggio dei sali solubili, Italy, 1983.