

Les lichens des murailles romaines d'Avenches : intégration de la gestion des espèces dans la restauration de monuments patrimoniaux

Autor(en): **Fanti, Kenza / Vust, Mathias**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **102 (2023)**

PDF erstellt am: **14.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-1046408>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Les lichens des murailles romaines d'Avenches - Intégration de la gestion des espèces dans la restauration de monuments patrimoniaux

Kenza FANTI¹ & Mathias VUST²

FANTI K. & VUST M., 2023. Les lichens des murailles romaines d'Avenches. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 102 : 39-56.

Résumé

Les murailles de l'enceinte romaine d'Avenches (VD) sont en période de restauration depuis 2018. Après l'inventaire des plantes, des reptiles et des abeilles sauvages, un recensement des lichens présents sur les murailles a été effectué en 2022. En caractérisant les habitats des lichens par divers critères tels que l'état de ruine des murs et leur stade de colonisation par les lichens, une douzaine de macrohabitats et six types de microhabitats ont pu être identifiés tout au long des murs. Des stations d'inventaires ont été placées dans chaque type de macrohabitat contenant des lichens, et toutes les espèces présentes ont été inventoriées. En couplant cet inventaire aux autres observations ponctuelles réalisées, une liste de 63 espèces a pu être dressée. Six de ces espèces méritent une attention particulière lors des différentes étapes de restauration, *Agonimia octospora*, étonnamment trouvée sur des mousses saxicoles, *Dirina massiliensis* f. *sorediata*, *Caloplaca cirrochroa*, *Lepraria finkii*, *Toninia aromatica* et *Lichinella schleicheri*. Des mesures générales et spécifiques à ces taxons sont proposées dans le but d'intégrer la protection des lichens à la conservation du patrimoine.

Mots-clés: Avenches, biodétérioration, conservation, écologie, lichens, muraille romaine, restauration.

FANTI K. & VUST M., 2023. Lichens on the Roman walls of Avenches. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 102 : 39-56.

Abstract

The enclosure walls of Avenches (VD) are being restored since 2018. After the inventory of plants, reptiles and wild bees, a census of lichens present on the walls has been conducted in 2022. In characterizing the lichens' habitats using different criterias such as the state of the ruins and their stage of colonization by the lichens, a dozen of macrohabitats as well as six microhabitats have been identified along the walls. Inventory stations have been placed in each macrohabitat containing lichens, and every species has been listed. By coupling this inventory with punctual observations, a list of 63 species has been achieved. Six of these species have been evaluated as needing a special attention during the restoration process, *Agonimia octospora*, surprisingly found on saxicolous mosses, *Dirina massiliensis* f. *sorediata*, *Caloplaca cirrochroa*, *Lepraria finkii*, *Toninia aromatica* and *Lichinella schleicheri*. General as well as specific conservation measures are suggested in order to integrate the protection of lichens in the conservation of patrimony.

Keywords: Avenches, biodeterioration, conservation, ecology, lichens, roman wall, restoration.

¹ Avenue du Gros-Chêne 44, 1213 Onex, kenza.fanti@gmail.com

² Quai de Nogent 4, 1400 Yverdon-les-Bains, lichens.vust@rossolis.ch

INTRODUCTION

Ancienne capitale helvète, l'ensemble du site romain d'Avenches (VD) était autrefois compris dans l'enceinte d'un mur de 5,5 km de long, ponctué de 73 tours, érigé selon les spécialistes dans les années 72-79 de notre ère (BRIDEL & FUCHS 2006; OFC s. d.; SITE ET MUSÉE ROMAINS D'AVENCHES s. d.). Aujourd'hui partiellement en ruines, il s'agit d'en restaurer les parties les plus endommagées (ANON 2019; FLÜCK 2018). Dans le contexte actuel d'intérêt grandissant pour la conservation du patrimoine naturel, des études biologiques sont réalisées à chaque nouvelle étape de travaux de restauration, débutés en 2018, afin de garantir une gestion des biens patrimoniaux en impactant le moins possible l'environnement (REYMOND *et al.* 2020; DREWELLO & DREWELLO 2009). Après les plantes, les reptiles et les abeilles sauvages (PURRO 2018), ce sont les lichens qui ont été proposés pour un recensement. En effet, les lichens saxicoles ne sont que peu considérés dans le domaine de la conservation, malgré le fait qu'ils représentent environ 1200 espèces sur les 200 taxons connus en Suisse (CLERC & TRUONG 2012; OFEV 2019; STOFER *et al.* 2019). Faute de moyens financiers suffisants, la révision actuelle de la Liste rouge des lichens de Suisse ne comprend pas le groupe des saxicoles (WSL s. d.). Ces lichens, peu étudiés, trouvent pourtant de multiples habitats en milieu urbain, dans les cimetières ainsi que sur les ruines et monuments historiques.

La problématique des lichens présents sur les monuments patrimoniaux est étudiée depuis de nombreuses années, plus particulièrement à partir de la fin du XIX^e siècle (GEHRMANN *et al.* 1988). Le développement des lichens sur la pierre a incité les scientifiques à se pencher sur la question de la biodétérioration, phénomène qui implique la dégradation du substrat par l'action physique et chimique des lichens présents. Cependant, c'est surtout le groupe des lichens endolithiques qui peut occasionner ce genre de dommages, en se développant sous la couche superficielle de la roche (GEHRMANN *et al.* 1988; TRUONG & MULHAUSER 2011). Il ne faut pas oublier que le temps, les aléas climatiques et la pollution atmosphérique jouent également un rôle dans la dégradation du patrimoine bâti, et l'action même du nettoyage de ces lichens peut avoir également une forte influence sur la dégradation des pierres (DÉRUELLE 1988; GEHRMANN *et al.* 1988; SEAWARD & GIACOBINI 1988). Les lichens, au même titre que les bryophytes et autres organismes présents sur la pierre, sont considérés comme des dommages et des salissures (SEAWARD & GIACOBINI 1988), et sont donc régulièrement supprimés des surfaces sur lesquelles ils se sont développés. La sauvegarde et la restauration du patrimoine bâti ne devrait pas se réaliser au dépend d'organismes vivants, qui font partie intégrante de la biodiversité, mais plutôt en combinant ces deux problématiques de conservation (DREWELLO & DREWELLO 2009; RIGAMONTI 2008). Il s'agit donc d'aborder cette thématique avec une approche pluridisciplinaire, à la fois biologique, paysagère et archéologique, qui réunit les spécialistes de ces domaines et qui offre un cadre d'ouverture à la discussion et à la pesée des intérêts. L'étude des lichens des murailles d'Avenches présente donc un double enjeu de conservation. Non seulement convient-il d'établir un inventaire d'espèces et de niches biologiques présentes sur les murailles, afin d'étoffer les connaissances actuelles sur les lichens (notamment pour le groupe des saxicoles), mais également d'étudier les possibilités de conciliation entre la conservation des lichens et des murailles patrimoniales. La présente étude, réalisée dans le cadre d'une thèse de Bachelor en gestion de la nature à HEPIA en 2022, pose donc comme objectifs d'évaluer la diversité des espèces de lichens et de leurs habitats sur la muraille d'enceinte d'Avenches,

de qualifier et justifier leur valeur patrimoniale à l'échelle du site d'étude et de proposer des mesures de gestion et de restauration de l'enceinte n'affectant qu'un minimum les populations de lichens présentes.

MÉTHODOLOGIE

La muraille a été divisée en 10 tronçons, selon les premiers inventaires réalisés par le bureau *atena* (PURRO 2018). La classification des différents états ou types morphologiques du mur (tableau 1), qui définit notamment le niveau de dégradation de ce dernier, a été utilisée pour définir les macrohabitats. Pour compléter cette classification et y intégrer la place occupée par les lichens, une classification de l'état de colonisation du mur par les lichens et la végétation a été créée, permettant de renseigner les stades optimaux de développement des organismes sur les ruines (tableau 2).

La codification obtenue en combinant les deux tableaux a été appliquée à chaque face de la muraille d'un tronçon donné (face intérieure, face extérieure et face supérieure), et ces codes ont permis la création d'une cartographie des macrohabitats de l'ensemble des ruines (figure 1).

Les stations ont été placées ensuite dans chaque macrohabitat défini. Les espèces présentes dans chaque station ont ensuite été inventoriées en les liant à un microhabitat spécifique, qui est également décrit. Les stations, équivalent à des tranches de mur d'une largeur d'environ 1,5 mètres, ont été choisies pour être représentatives de l'ensemble du macrohabitat dans lequel elles se situent et placées de manière à englober le plus de microhabitats possible pour assurer cette représentativité. La méthode d'inventaire appliquée se rapproche ainsi d'un échantillonnage stratifié, combiné à un échantillonnage « au flair » qui consiste à ajouter à la liste d'inventaire les espèces répertoriées uniquement hors stations prédéfinies (figure 1).

Un échantillon de *Lepraria* a été analysé par chromatographie sur couche mince (CCM), pour déterminer les substances lichéniques présentes. Le protocole suit CULBERSON & AMMANN (1979) et CULBERSON & JOHNSON (1982) avec les solvants A, B et C.

La nomenclature suit NIMIS *et al.* (2018). Les données ont été transmises à Swisslichens, Centre national de données et d'information sur les lichens de Suisse.

Les échantillons récoltés se trouvent dans l'herbier de la première auteure et sont à disposition en cas de doute sur les identifications.

RÉSULTATS

Diversité des macrohabitats


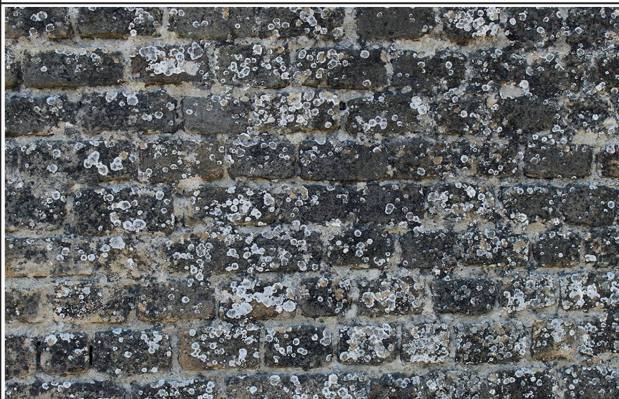

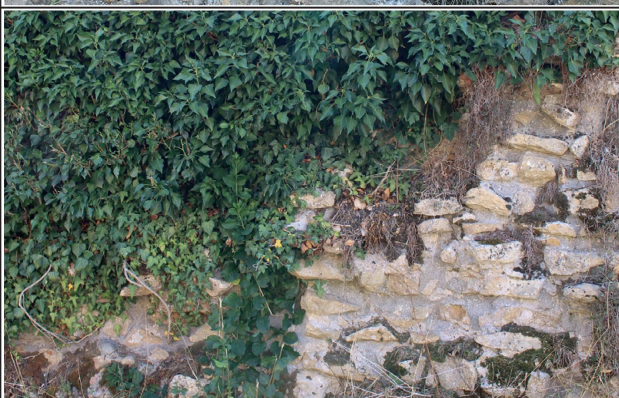
Les prospections de terrain et la réalisation de la cartographie (figures 1a, 1b, 1c et 1d) ont permis d'identifier douze types de macrohabitats différents. Selon les critères définis dans les tableaux 1 et 2, les habitats recensés sont numérotés ainsi :

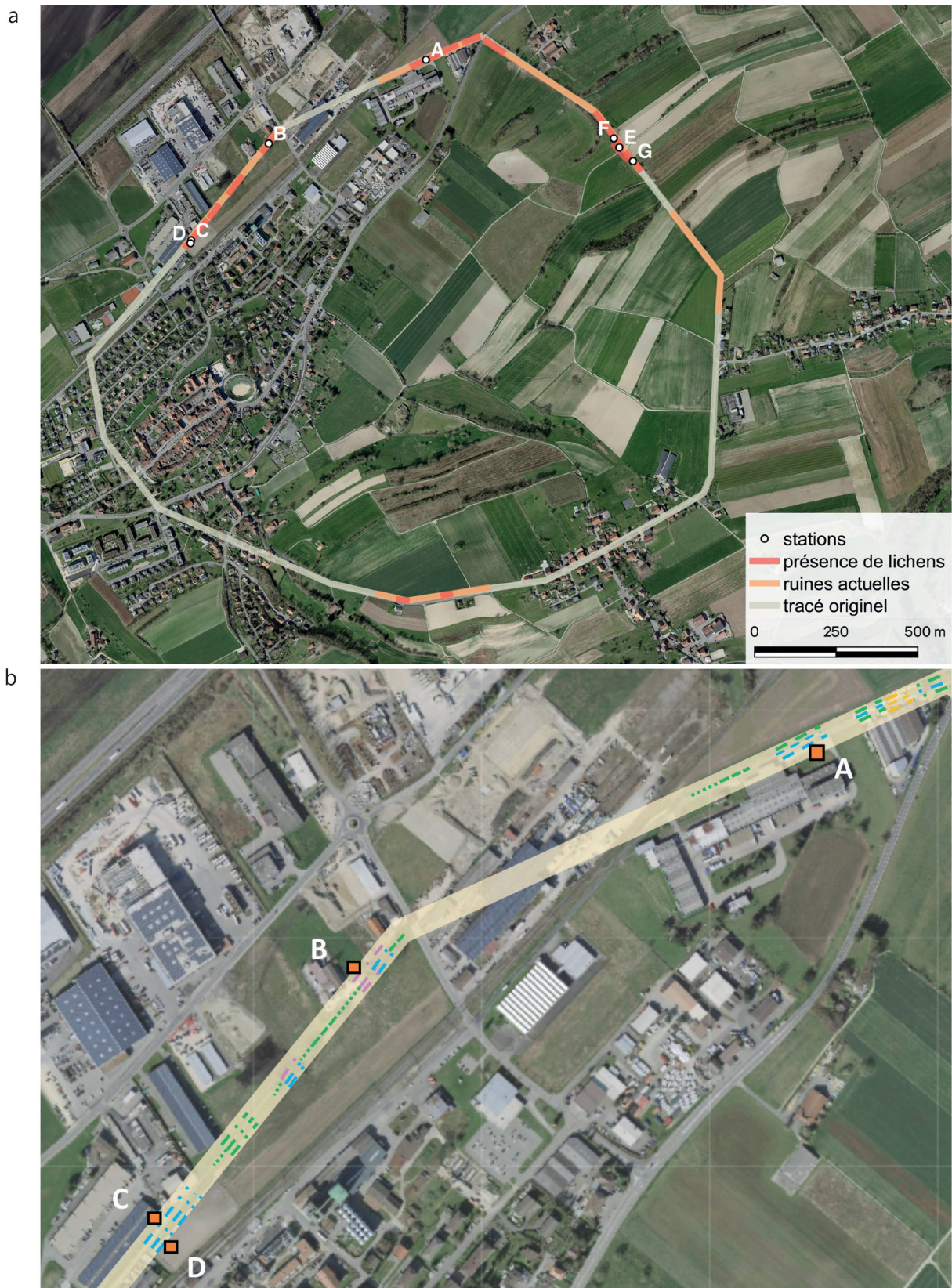
- 1d: trace de mur au sol - recouvert de végétation vasculaire
- 2d: mur arasé - recouvert de végétation vasculaire
- 3a: mur détruit avec noyau - exempt d'organismes vivants
- 3c: mur détruit avec noyau - colonisé par diverses espèces
- 3d: mur détruit avec noyau - recouvert de végétation vasculaire

Tableau 1. Classification des types morphologiques de murs de l'enceinte romaine d'Avenches, selon l'état de ruines (d'après PURRO 2018).

Degré	Description	Schéma
1	mur arasé, trace visible au sol	
2	mur arasé, amas de pierre formant un relief	
3	mur détruit, un noyau visible subsiste, bordé d'un talus formé par les chutes de pierres	
4	mur en place, noyau érigé, présence éventuelle d'un talus formé par les chutes de pierres	
5	mur restauré, parement reconstitué	

Tableau 2. Classification de l'état de colonisation des murs de l'enceinte romaine d'Avenches, d'une colonisation nulle à l'embroussaillage complet. Photos: K. Fanti.

Degré	Description	Schéma
a	aucun organisme vivant, mur récemment reconstruit/nettoyé	
b	colonisation intermédiaire par quelques lichens crustacés pionniers	
c	colonisation optimale de diverses espèces de lichens, présence de plantes vasculaires et de bryophytes	
d	mur entièrement recouvert de plantes vasculaires (lierre, broussailles), pas de lichens	



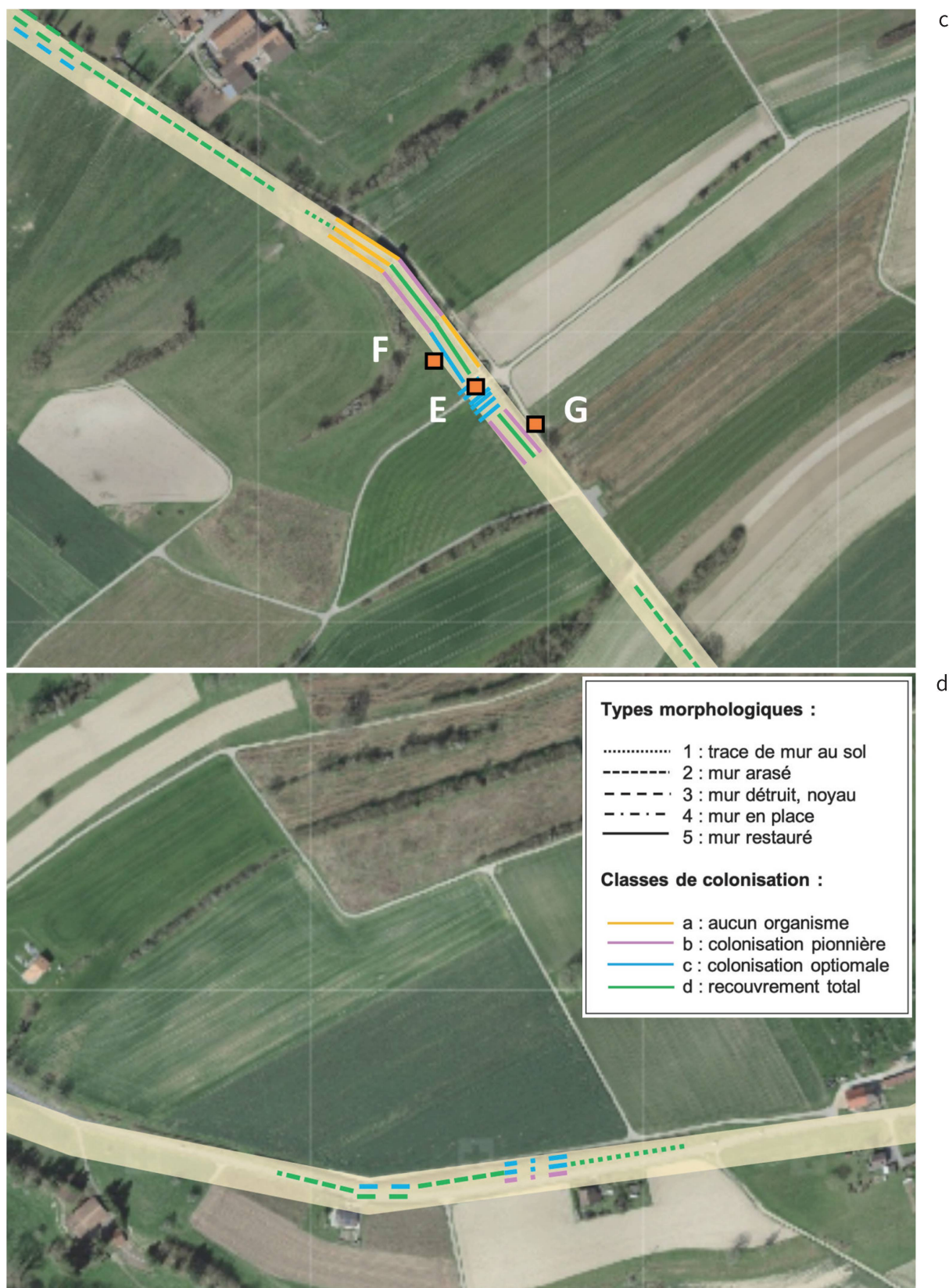


Figure 1. (suite) **c.** sur les environs de la Porte de l'Est; **d.** sur la partie sud de la muraille. Source : Office fédéral de topographie.

- 4b: mur en place - colonisé par des espèces pionnières
- 4c: mur en place - colonisé par diverses espèces
- 4d: mur en place - recouvert de végétation vasculaire
- 5a: mur restauré - exempt d'organismes vivants
- 5b: mur restauré - colonisé par des espèces pionnières
- 5c: mur restauré - colonisé par diverses espèces
- 5d: mur restauré - recouvert de végétation vasculaire

Les classes de colonisation « a » et « d » impliquent que les lichens sont absents des macrohabitats déterminés. Les inventaires se sont donc concentrés dans les macrohabitats caractérisés par les classes « b » et « c ». Afin d'obtenir des relevés les plus représentatifs possible de l'ensemble des espèces présentes sur la muraille, sept stations d'inventaires ont été posées. Les macrohabitats 4c et 5c sont inventoriés deux fois, sur des faces d'orientations différentes (figures 1b et 1c).

Il existe une diversité intéressante de macrohabitats sur l'ensemble de la muraille. Les pans de mur encore debout sont eux-mêmes de catégories différentes, mais il existe également d'autres faciès de mur, notamment des restes du tracés sortant à peine du sol, recouverts ou non par des haies plantées ou des hautes herbes en bord de champs. Ces faciès particuliers ne sont pas inventoriés, car les lichens ne s'y développent pas. Leur présence est cependant importante à relever afin de se représenter la grande diversité de macrohabitats que possèdent les murs d'enceinte.

Diversité des microhabitats

Six microhabitats ont pu être reconnus sur l'ensemble des stations inventoriées. Premièrement, des cavités ont été relevées dans les murailles, principalement sur les murs de type morphologique 5. Il s'agit de morceaux de mortier qui se sont désagrégés entre les blocs taillés, créant ainsi des trous plus ou moins profonds, frais et entièrement abrités du soleil (figure 2a). Les mousses sont quant à elles présentes sur les murs lorsqu'ils sont en état de ruine et de colonisation plus ou moins avancés, soit les types 3c et 4c. Leur présence indique une absence de nettoyage et de restauration du mur. Les mousses peuvent également faire office de substrat pour certains lichens terricoles au sens large (figure 2b). Les replats, surfaces horizontales planes, sont exposés au soleil et à l'eau et possèdent donc des caractères très xérophiles, surtout s'il s'agit de la face supérieure d'un mur. On y trouve parfois une colonisation relativement avancée des plantes vasculaires, crassuléscentes et des mousses (figure 2c). Tout comme les mousses, les surplombs sont eux aussi caractéristiques d'un mur partiellement en ruine, car ils sont définis par la face inférieure des blocs saillants du mur. Ces surplombs présentent pour les lichens un abri du ruissellement de l'eau ainsi que de l'ombre quasiment constante (figure 2d). Les microhabitats verticaux peuvent se situer sur les blocs saillants, le mortier ainsi que sur les murs entièrement restaurés. Ils sont fortement exposés au ruissellement ponctuel de l'eau qui n'est donc pas retenue dans ces microhabitats (figure 2e). Finalement, les parois verticales comportent localement des trajets d'écoulement préférentiel de l'eau de pluie. En orientation sud ou sud-ouest, ces ruissellements sont l'habitat de lichens à cyanobactéries thermophiles (figure 2f).



Figure 2. Microhabitats relevés sur le mur d'enceinte des ruines romaines d'Avenches. **a.** cavité ; **b.** mousse ; **c.** replat ; **d.** surplomb ; **e.** surface verticale ; **f.** zone de ruissellement. Photos: a, b, c, d, e: K. Fanti, f: M. Vust.

Diversité des espèces

En couplant l'inventaire réalisé sur les stations aux observations isolées sur l'ensemble du mur, 63 espèces de lichens ont été recensées (tableau 3). L'examen des microhabitats de la muraille montre que les replats et les verticaux se retrouvent dans pratiquement tous les macrohabitats. Les replats comptent la présence de 36 espèces sur 63, soit plus de la moitié, et les verticaux en comptabilisent 41, ce qui en fait les microhabitats les plus riches en espèces de la muraille d'enceinte (tableau 3). Les cavités, les surplombs, les mousses et les ruissellements forment des niches écologiques pour au moins 10 espèces, soit près de 16 % des espèces inventoriées (tableau 3). Ces microhabitats abritent donc de manière exclusive une part importante de la diversité lichénique des murailles d'Avenches. Les surplombs et les mousses sont plutôt fréquents sur l'ensemble du mur, mais les cavités et les zones de ruissellement exposées au sud sont relativement rares.

Espèces particulières

Si la plupart des taxons relevés peuvent être considérés comme des espèces saxicalcoles généralistes et fréquentes, notamment *Bagliettoa calciseda*, *Lecanora albescens* et *Lecanora crenulata* présents sur presque toutes les stations, six espèces se sont démarquées soit par leur rareté dans le contexte de l'étude, soit par leur affiliation à un microhabitat sensible aux mesures de restauration de la muraille. Le cas d'*Agonimia octospora* (figure 3a, herbier K. Fanti, éch. n° 45 & n° 92) est le plus marquant. S'agissant d'une espèce principalement corticole, elle figure dans la Liste rouge nationale des lichens à protéger avec le statut EN, soit en danger (SCHEIDEGGER & CLERC 2002), ce qui fait d'elle la seule espèce recensée sur la muraille bénéficiant de ce statut. Un second taxon est remarquable par sa rareté dans ce type d'environnement. Il s'agit de *Dirina massiliensis*, sous sa forme *sorediata* (figure 3b, herbier K. Fanti, éch. n° 57), qui trouve ordinairement son optimum écologique sur les parois verticales ou en surplomb des falaises côtières, notamment en Angleterre (TEHLER *et al.* 2013). Elle y est par ailleurs considérée comme rare à l'intérieur des terres. Le cas de *Caloplaca cirrochroa* (figure 3c, herbier K. Fanti, éch. n° 59) démontre qu'une espèce considérée comme commune peut également avoir une certaine valeur dans un contexte précis. Dans le cas des murailles d'Avenches, cette espèce a pu être relevée dans plusieurs stations, mais son abondance y était à chaque fois faible. Les quelques spécimens observés étaient petits, probablement jeunes, et rassemblés sur de petites surfaces exemptes d'autres taxons, presque en surplomb et recevant probablement peu de pluie. Les cavités inventoriées abritent un lichen qui a été retrouvé uniquement dans ces niches. Il s'agit de *Lepraria finkii* (figure 3d, herbier K. Fanti, éch. n° 65), dont la rareté sur la muraille est liée à celle de son microhabitat préférentiel. Autre espèce notable relevée proche des cavités, *Toninia aromatica* (figure 3e, herbier K. Fanti, éch. n° 72) se retrouve dans des habitats plutôt tempérés, plus fréquente au sud des Alpes qu'au nord (MARTELLOS & NIMIS s. d.). Sur la muraille, elle se situe sur le mortier entre les moellons, proches des cavités et légèrement abritée de la pluie et du soleil. Un lichen à cyanobactérie constitue la dernière espèce d'intérêt particulier. Il s'agit de *Lichinella schleicheri* (figure 3f, herbier K. Fanti, éch. n° 94), une espèce microfoliacée noire, thermophile, liée aux parois de calcaire exposées au sud et fréquemment suintantes, soit par le ruissellement de l'eau de pluie, soit dans la zone de battement des vagues au bord du Léman (VUST *et al.* 2015). Découverte à un seul endroit entre la tour de la Tornallaz et la porte de l'Est, cette station constitue la première et unique station connue de cette espèce dans le canton de Vaud. À ce titre, elle mérite une attention et une protection particulières.

Tableau 3. Liste des lichens relevés sur le mur d'enceinte des ruines romaines d'Avenches. Les stations A-B-C-D-E-F correspondent à la localisation des stations sur la figure 1a, 1b, 1c et 1d.

Espèce	Auteurs	Microhabitats	En station	Hors station
<i>Acarospora cervina</i>	A. Massal.	replats, verticaux	F	•
<i>Agonimia octospora</i>	Coppins & P. James	mousses		•
<i>Aspicilia calcarea</i>	(L.) Bagl.	replats		•
<i>Aspicilia hoffmanniana</i>	(S. Ekman & Fröberg ex R. Sant.) Cl. Roux & M. Bertrand	replats, verticaux	B	•
<i>Aspicilia moenium</i>	(Vain.) Räsänen	replats, verticaux	A, B, C	•
<i>Bagliettoa baldensis</i>	(A. Massal.) Vězda	verticaux		•
<i>Bagliettoa calciseda</i>	(DC.) Gueidan & Cl. Roux	replats, verticaux	B, C, D, E, F	•
<i>Caloplaca aurantia</i>	(Pers.) Hellb.	verticaux		•
<i>Caloplaca chrysodeta</i>	(Vain.) Domb. comb. inval.	cavités, surplombs	A, C, D, F, G	•
<i>Caloplaca cirrochroa</i>	(Ach.) Th. Fr.	verticaux	B, C, D	•
<i>Caloplaca citrina</i>	(Hoffm.) Th. Fr.	surplombs, verticaux	A, B, F, G	•
<i>Caloplaca crenulatella</i>	(Nyl.) H. Olivier	replats, verticaux	C, E	•
<i>Caloplaca decipiens</i>	(Arnold) Blomb. & Forssell	replats		•
<i>Caloplaca dichroa</i>	Arup	verticaux		•
<i>Caloplaca flavovirescens</i>	(Wulfen) Søchting, Frödén & Arup	replats, verticaux	E, F	•
<i>Caloplaca oasis</i>	(A. Massal.) Szatala s. lat.	replats, verticaux	A	•
<i>Caloplaca pusilla</i>	(A. Massal.) Zahlbr.	replats, verticaux	B, C, G	•
<i>Caloplaca sp.</i>				•
<i>Caloplaca teicholyta</i>	(Ach.) J. Steiner	replats, verticaux	D, E, G	•
<i>Caloplaca variabilis</i>	(Pers.) Th. Fr.	replats, verticaux	A, D, E	•
<i>Candelariella aurella</i>	(Hoffm.) Zahlbr. s. lat.	replats	E	•
<i>Candelariella medians</i>	(Nyl.) A.L. Sm.	replats		•
<i>Catillaria lenticularis</i>	(Ach.) Th. Fr.	verticaux	B	•
<i>Cladonia pocillum</i>	(Ach.) Grognot	mousses	C	•
<i>Cladonia pyxidata</i>	(L.) Hoffm.	mousses		•
<i>Collema crispum</i>	(Huds.) Otálora, P.M. Jørg. & Wedin	mousses	C	•
<i>Collema cristatum</i>	(L.) Otálora, P.M. Jørg. & Wedin	replats		•
<i>Collema polycarpon</i>	(Hoffm.) Otálora, P.M. Jørg. & Wedin	replats		•
<i>Diploschistes muscorum</i>	(Scop.) R. Sant.	mousses		•
<i>Diplotomma alboatrum</i>	(Hoffm.) Flot.	replats, verticaux	E, G	•
<i>Dirina massiliensis</i>	Durieu & Mont.	verticaux		•
<i>Enchylium tenax</i>	(Sw.) Gray	mousses		•
<i>Lathagrium fuscovirens</i>	(With.) Otálora, P.M. Jørg. & Wedin	replats, verticaux	A, C, D, F	•
<i>Lecania inundata</i>	(Hepp ex Körb.) M. Mayrhofer	verticaux		•
<i>Lecanora albescens</i>	(Hoffm.) Śliwa, Zhao Xin & Lumbsch	replats, verticaux	A, B, C, D, G	•

Espèce	Auteurs	Microhabitats	En station	Hors station
<i>Lecanora campestris</i>	(Schaer.) Hue	replats		•
<i>Lecanora crenulata</i>	(Hook.) Śliwa, Zhao Xin & Lumbsch	replats, verticaux	A, B, C, G	•
<i>Lepraria finkii</i>	(B. de Lesd.) R.C. Harris	cavités, mousses	F	•
<i>Leptogium schraderi</i>	(Bernh.) Otálora, P.M. Jørg. & Wedin	verticaux		•
<i>Lichinella schleicheri</i>	(Hepp) ined.	ruissellements		•
<i>Lobothallia radiosa</i>	(Hoffm.) Hafellner	replats		•
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	(Neck.) Moberg	replats, verticaux	B	•
<i>Physcia caesia</i>	(Hoffm.) Fűrnr. var. caesia	replats		•
<i>Placopyrenium fuscellum</i>	(Turner) Gueidan & Cl. Roux	replats, verticaux	C, D, E, F	•
<i>Placynthium nigrum</i>	(Huds.) Gray	verticaux	A	•
<i>Protoblastenia rupestris</i>	(Scop.) J. Steiner s. lat.	replats, verticaux	A, C, E	•
<i>Protoparmeliopsis muralis</i>	(Schreb.) M. Choisy s. lat.	replats, verticaux		•
<i>Rinodina bischoffii</i>	(Hepp) A. Massal.	verticaux		•
<i>Romjularia lurida</i>	(Ach.) Timdal	replats		•
<i>Sarcogyne regularis</i>	Körb. s. lat.	verticaux	C, D, G	•
<i>Scytinium plicatile</i>	(Ach.) Otálora, P.M. Jørg. & Wedin	verticaux		•
<i>Scytinium pulvinatum</i>	(Hoffm.) Otálora, P.M. Jørg. & Wedin	mousses	D	•
<i>Staurothele frustulenta</i>	Vain.	replats		•
<i>Toninia aromatica</i>	(Sm.) A. Massal.	verticaux	F	•
<i>Verrucaria dolosa</i>	Hepp	replats, verticaux	C, D	•
<i>Verrucaria furfuracea</i>	(B. de Lesd.) Breuss	replats, verticaux	A, B, C, D, E	•
<i>Verrucaria hochstetteri</i>	Fr. s. lat.	verticaux		•
<i>Verrucaria muralis</i>	Ach.	verticaux		•
<i>Verrucaria nigrescens</i>	Pers.	replats, verticaux		•
<i>Verrucaria tectorum</i>	(A. Massal.) Körb.	replats	C	•
<i>Verrucaria viridula</i>	(Schrad.) Ach.	replats		•
<i>Xanthoria elegans</i>	(Link) Th. Fr. s. lat.	verticaux		•
<i>Xanthoria parietina</i>	(L.) Th. Fr. s. lat.	replats, verticaux	B	•

DISCUSSION

Intérêt des murailles pour les lichens

Les lichens d'Avenches contribuent de manière importante à la biodiversité des murs, à côté des reptiles, des abeilles, des plantes et des bryophytes, dont l'inventaire a eu lieu en 2023. En comptant les 259 espèces de plantes vasculaires, les 4 espèces de reptiles et les 47 espèces d'abeilles sauvages relevées par Christian Purro en 2018, les lichens représentent environ 17 % de la diver-

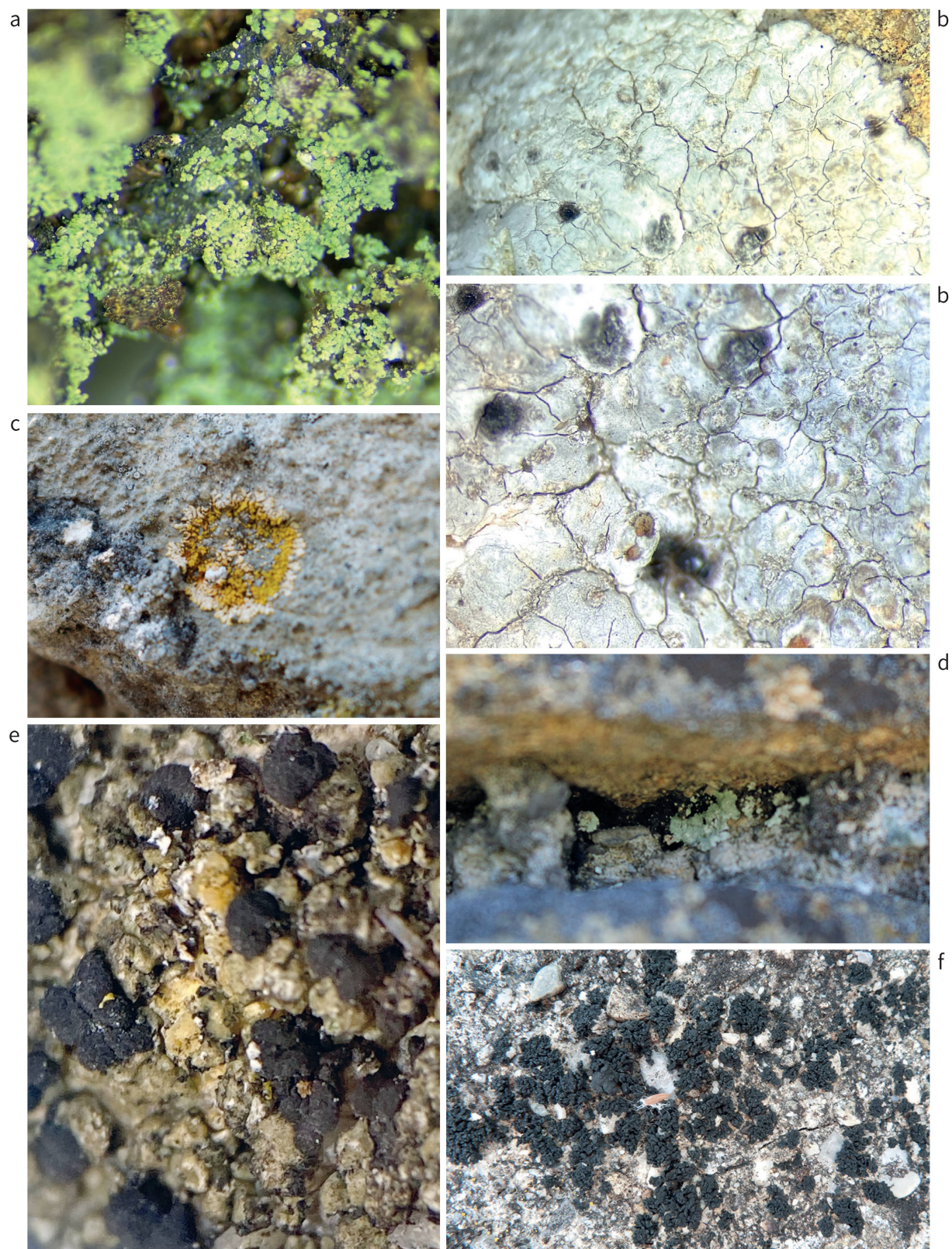


Figure 3. Espèces de lichens à valeur particulière, relevées sur le mur d'enceinte des ruines romaines d'Avenches. **a.** *Agonimia octospora* (thalle sans périthèce déterminé sur la base des caractères végétatifs); **b.** *Dirina massiliensis* f. *sorediata*; **c.** *Caloplaca cirrochroa*; **d.** *Lepraria finkii* (déterminé par la présence d'atranorine, d'acides stictique et constictique et de zéorine lors d'une chromatographie sur couche mince (TLC)); **e.** *Toninia aromatica*; **f.** *Lichinella schleicherii* (photographié hors Avenches). Photos: a, b, c, d, e: K. Fanti, f: M. Vust.

sité connue actuellement sur les murailles, soit près d'un cinquième des taxons. Les murailles d'Avenches s'inscrivent dans le cadre globalement calcaire du Plateau suisse et ne constituent pas un substrat particulièrement notable dans la région. Il en résulte la présence d'espèces saxicoles plutôt communes, et non menacées pour la plupart. Cependant, un point de vue plus local peut relever une diversité élevée d'espèces par rapport à l'ampleur de la structure. Cette quantité importante de taxons est engendrée par la multitude de macro- et microhabitats présents le long des murs. En comparaison avec un inventaire similaire réalisé au Musegg de Lucerne (HERFORT *et al.* 2014), il peut être relevé un certain nombre d'information intéressantes. 172 espèces ont été inventoriées à Lucerne, sur un linéaire similaire à celui investigué à Avenches. La grande différence du nombre d'espèces recensées s'explique notamment par la différence des substrats des deux structures. On peut en effet noter que plus de la moitié des taxons relevés à Lucerne ont été inventoriés sur des tuiles, un substrat siliceux absent à Avenches. Sur des substrats équivalents (roche calcaire et mortier), environ 90 espèces sont recensées au Musegg, dont un tiers sont également présentes sur les murailles romaines de la Broye. Le climat plus humide de Lucerne a également pu favoriser une plus grande diversité de lichens.

Conflit de conservation

Partant d'une démarche de conservation d'un patrimoine historique et archéologique important, la volonté des archéologues d'Avenches est en premier lieu de préserver l'intégrité des ruines existantes et de reconstruire les tronçons du monument qui ne sont plus sur pied aujourd'hui. Cet objectif peut très vite entrer en conflit avec la protection de la biodiversité qui s'est installée sur les murailles (RIGAMONTI 2008). Les mesures d'entretien, de restauration et de conservation appliquées aujourd'hui au mur d'enceinte ont une importance fondamentale d'un point de vue environnemental, car elles peuvent fortement influencer la structure des macrohabitats et des microhabitats de l'enceinte ainsi que les organismes vivant à proximité des murs. Les principaux objectifs des adaptations proposées ici est d'assurer la conservation des espèces présentes ainsi que la recolonisation des murs par les lichens à la suite des interventions archéologiques sur la muraille.

Nettoyages

Afin de limiter les effets de la biodétérioration, les murs restaurés étaient jusqu'à maintenant nettoyés puis traités avec une solution d'alcool dilué pour retarder le développement des lichens et des mousses. L'action mécanique des lichens saxicoles sur la pierre est reconnue depuis un certain temps (RIGAMONTI 2008 ; SEAWARD & GIACOBINI 1988), et Noé Terrapon, conservateur-restaurateur et responsable des monuments aux Site et Musée romains d'Avenches, a pu constater au cours de ses recherches que les lichens crustacés croissaient et décroissaient légèrement lors d'apport d'eau. Ce très léger mouvement peut avoir un effet important sur la structure de la pierre et peut même la désagréger, notamment dans le cas du grès coquillier qui constitue les autres monuments du site (N. Terrapon, communication personnelle, 30 juin 2022). Le calcaire jaune jurassien constituant la muraille y est moins sensible, mais l'action mécanique perdure, c'est pourquoi les archéologues préfèrent limiter le développement des organismes sur les murs.

Ces nettoyages représentent une menace directe pour les organismes vivants sur les murs. Étant parfois réalisés par habitude et non par nécessité, il s'agit de les considérer avec attention

et de les limiter aux zones qui en ont absolument besoin, en conservant des « zones refuges » pour les lichens sous forme de patches d'un mètre carré ou de bandes horizontales. L'utilisation d'alcool a posteriori, utile à retarder le retour des espèces, est un obstacle clair à la recolonisation des murs nettoyés. Une reconsidération de l'esthétique d'un vestige archéologique est de mise, car la présence de lichens, de mousses et de plantes vasculaires pourrait ne pas être envisagée comme des salissures mais simplement comme l'empreinte de la nature et du temps sur des constructions humaines.

Reconstructions et restaurations

Les reconstructions interviennent dans différents cas de figure. Parfois, le mortier peut s'effriter sous l'effet de l'érosion hydrique, de l'acidité des pluies et de l'effet du gel/dégel (Site et Musée romains d'Avenches 2017). Afin de pallier aux dommages occasionnés, il est nécessaire de consolider des pans de mur en y ajoutant du mortier neuf. Dans le cas où le mortier d'un pan entier de mur se dégrade, la structure est précautionneusement déconstruite puis remontée en réutilisant les mêmes blocs taillés, dont la cohésion est assurée grâce à l'adjonction de mortier récent, plus résistant que celui utilisé lors des restaurations précédentes (Site et Musée romains d'Avenches 2018). Lorsque ce sont les blocs qui sont trop abîmés, ils peuvent être remplacés ponctuellement par de nouveaux moellons. Certains tronçons de mur sont reconstruits entièrement à partir de nouvelles pierres et de mortier frais. Cette méthode drastique implique que le mur final obtenu est complètement vierge d'organismes vivants, et il s'agit d'un long et coûteux chantier.

Lorsqu'il s'agit de reconstruire les murs en ruine, l'importance du choix des matériaux est cruciale. Le mortier peut en effet accueillir un cortège d'espèces plus ou moins intéressantes selon sa rugosité et le liant qui le compose (BURGISSER 2022). L'utilisation de mortier à la chaux notamment favorise la présence de plus d'organismes comparé à un mortier cimenté. Il est également favorable au développement des lichens d'intégrer aux pans de murs en restauration le plus possible des moellons les moins endommagés provenant de l'ancien pan de mur, et de les intégrer de manière ponctuelle sur l'ensemble de la nouvelle surface. Ceci permet non seulement de constituer de nouveaux noyaux de recolonisation, mais également d'utiliser moins de matériaux neufs, ce qui est à considérer d'un point de vue économique.

Habitats

Le facteur le plus influent sur la diversité lichénique des murailles romaines d'Avenches est la quantité de macrohabitats présents sur le tracé, ainsi que les microhabitats qui s'y trouvent. Ces faciès présentent de nombreuses possibilités de combinaisons de facteurs écologiques, et peuvent donc convenir à une plus grande palette d'espèces exigeant des conditions spécifiques. Il est donc crucial d'en préserver et d'en favoriser un maximum pour rendre possible le développement d'un nombre important d'espèces communes et plus rares. Ceci implique d'appliquer les techniques de restauration aux tronçons qui présentent des enjeux sécuritaires, mais de conserver l'état de ruine plus ou moins avancé d'autres pans de mur. En se basant sur la définition des macrohabitats présentée, il serait favorable aux lichens que la muraille possède le maximum des classes de murs en tout temps. La localisation de ces macrohabitats peut changer dans le temps, mais leur diversité et leurs proportions sont fondamentales à conserver, que cela concerne les lichens mais également d'autres groupes d'organismes tels que les plantes

vasculaires, les fougères, les reptiles ou les insectes. Certains critères supplémentaires ont également pu être relevés durant la cartographie et l'inventaire, et peuvent exercer une influence sur la diversité des espèces. Il s'agit notamment de la présence d'arbres au-dessus d'une station, de l'état de la végétation vasculaire présente au pied du mur et du type de milieu (route fréquentée, champ cultivé) à proximité de la station. Ces conditions supplémentaires participent à la création de nombreux noyaux de colonisation pour les lichens et sont donc à favoriser sur l'ensemble du tracé.

Débroussaillage

La végétation peut coloniser une surface plus ou moins importante des remparts au cours du temps. Dans le cas du lierre, cela peut avoir un effet protecteur sur les murs en les isolant de l'effet du gel hivernal (N. Terrapon, communication personnelle, 30 juin 2022). Un désherbage des murs est mis en place de manière plus ou moins régulière, principalement sur les tronçons restaurés afin de conserver leur intégrité le plus longtemps possible. Lorsqu'un arbre pousse à proximité du mur, il est également nécessaire de le dessoucher afin d'éviter que les racines provoquent l'effondrement du mur (Site et Musée romains d'Avenches 2020, 2021).

Une colonisation avancée par la flore vasculaire fait concurrence au développement des lichens, simplement parce qu'elle leur prend la lumière. Afin d'empêcher qu'une grande proportion des murs encore sur pied ne présentent la classe de colonisation « d », il est recommandé de débroussailler de manière régulière les abords de la muraille. Les interventions de débroussaillage peuvent se dérouler en alternant les secteurs chaque année, afin de maintenir à la fois des tronçons colonisés et des tronçons pionniers, en laissant une plus grande variété d'espèces de lichens s'installer. Cette mesure favorise les lichens aux dépens de la flore vasculaire, il est donc nécessaire de s'informer au préalable de la présence d'espèces potentiellement protégées dans les deux groupes afin de déterminer lequel est à prioriser dans le secteur concerné.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Au terme de cette étude, les différents niveaux de la diversité lichénique sur l'ancienne muraille d'enceinte apparaissent clairement, notamment par la définition d'une douzaine de macrohabitats différents qui comportent six types de microhabitats. Les critères écologiques influençant la présence des lichens ont ainsi pu être mis en évidence, et une liste de 63 espèces a pu être dressée. Près d'un dixième de cette liste, soit six espèces, possèdent une valeur patrimoniale intéressante, dont une espèce en danger sur la Liste rouge des lichens épiphytes et terricoles ainsi qu'une espèce notée pour la première fois dans le canton de Vaud.

Les connaissances en matière de lichens saxicoles restent relativement pauvres. Afin d'assurer une meilleure compréhension de ce groupe ainsi qu'une mise en pratique plus efficace des mesures de conservation des lichens, des études complémentaires sur les lichens doivent être réalisées sur le mur d'enceinte mais également sur l'ensemble du site romain. Des connaissances plus approfondies de la problématique des lichens saxicoles sur les monuments historiques permettraient la mise en place de mesures de gestion prenant en compte l'ensemble des organismes vivants au sein de sites archéologiques d'importance patrimoniale, et faciliteraient également la vulgarisation scientifique à l'attention des visiteurs des monuments.

Les mesures ont été pensées de manière à favoriser les lichens en entravant le moins possible les travaux de restauration. Certaines d'entre elles possèdent également un fort potentiel pédagogique, qui serait destiné à valoriser les ruines et leurs lichens au grand public. Cette perspective pourrait être prise en compte par les services communaux et cantonaux en collaboration avec le Site et Musée romains d'Avenches (SMRA) et être facilement mise en place sur la base de ce qui a été proposé, en travaillant sur la vulgarisation concernant les cryptogames et leur présence sur les murs.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Daniel Béguin pour l'encadrement et l'accompagnement de ce travail et Christian Purro du bureau *atena atelier nature* pour l'aide à la cartographie. Une reconnaissance particulière est témoignée à Noé Terrapon et son équipe de restauration et conservation des monuments des Site et Musée romains d'Avenches, qui ont permis d'enrichir le volet archéologique de ce travail avec des connaissances professionnelles et concrètes. Merci enfin à Philippe Clerc pour la chromatographie sur couche mince réalisée avec lui dans le laboratoire des Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANON., 2019. Grands travaux de restauration pour la muraille romaine d'Avenches (VD). rts.ch.
- BRIDEL P. & FUCHS M., 2006. Aventicum. hls-dhs-dss.ch. Consulté 20 avril 2022 (<https://hls-dhs-dss.ch/articles/012281/2006-09-25/>).
- BURGISSER H., 2022. Des murs vivants. Les différents types de murs, leur intérêt pour la faune et la flore et des outils pour évaluer leur qualité écologique. République et canton de Genève, Genève, & Rossolis, Bussigny. 63 p.
- CLERC P. & TRUONG C., 2012. Catalogue des lichens - Liste des lichens. Consulté 18 avril 2022 (<http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/cataloguelichen/recherche>).
- CULBERSON, C.F. & AMMANN, K., 1979. Standardmethode zur Dünnschichtchromatographie von Flechtensubstanzen. *Herzogia* 5 : 1-24.
- CULBERSON C. F. & JOHNSON A., 1982. Substitution of methyl tert.-butyl ether for diethyl ether in the standardized thin-layer chromatographic method for lichen products. *Journal of Chromatography* 238 : 483-487.
- DÉRUELLE S., 1988. Effets de la pollution atmosphérique sur la végétation lichénique des monuments historiques. *Studia Geobotanica* 8 : 23-31.
- DREWELLO R. & DREWELLO U., 2009. Flechten auf Denkmälern. Indikatoren und Vermittler zwischen Denkmal- und Naturschutz. *Kommission für Ökologie* 36.
- FLÜCK M., 2018. Du haut de ces remparts vingt siècles vous contemplant. Aventicum.
- GEHRMANN C., KRUMBEIN W. E. & PETERSEN K., 1988. Lichen weathering activities on mineral and rock surfaces. *Studia Geobotanica* 8 : 33-45.
- HERFORT S., MEYER, S., EHRENBOLD R., & DIETRICH D. M., 2014. Sanierung der Museggmauer – Abschnitte Schirmerturm – Pulverturm und Pulverturm – Allenwindenturm. 39.
- MARTELLOS S. & NIMIS P.L., s. d. *Toniniopsis aromatica* (Sm.) Kistenich, Timdal, Bendiksby & S. Ekman. Consulté 3 août 2022 (<https://italic.units.it/italic/index.php?procedure=taxonpage&num=695>).
- NIMIS P.-L., HAFELLNER J., ROUX C., CLERC P., MAYRHOFER H., MARTELLOS S. & BILOVITZ P.-O., 2018. The lichens of the Alps – an annotated checklist. *MycKeys* 31: 1–634. <https://doi.org/10.3897/mycokeys.31.23568>
- OFC, OFFICE FÉDÉRAL DE LA CULTURE, s. d. Inventaire suisse des biens culturels d'importance nationale et régionale (PBC). Consulté 21 avril 2022 (<https://www.bak.admin.ch/bak/fr/home/baukultur/archaeologie-und-denkmalspflege/inventare/kgs-inventar.html>).

- OFEV, OFFICE FÉDÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT, 2019. Liste des espèces et des milieux prioritaires au niveau national. Berne: Office fédéral de l'environnement.
- PURRO C., 2018. Enceinte romaine d'Avenches, études biologiques. atena ateliers nature sàrl.
- REYMOND B., FLÜCK M. & PURRO C., 2020. L'enceinte romaine au centre de toutes les attentions. Aventicum.
- RIGAMONTI M., 2008. Lichens and Monuments: Searching for the Balance between the Necessity of Restoration and Preservation, and the Improvement of the Naturalistic-Environmental Aspects of the Historical-Architectural Heritage. *Scientifica Acta* 2: 93-96.
- SCHEIDEGGER C. & CLERC P., 2002. Liste rouge des espèces menacées en Suisse: Lichens épiphytes et terricoles. Berne: Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP; Institut fédéral de recherches WSL; Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève CJBG.
- SEAWARD M. & GIACOBINI C., 1988. Lichen-induced biodeterioration of italian monuments, frescoes and other archaeological materials. *Studia Geobotanica* 8: 3-11.
- SITE ET MUSÉE ROMAINS D'AVENCHES, 2017. Rapport d'activité 2017.
- SITE ET MUSÉE ROMAINS D'AVENCHES, 2018. Rapport d'activité 2018.
- SITE ET MUSÉE ROMAINS D'AVENCHES, 2020. Rapport d'activité 2020.
- SITE ET MUSÉE ROMAINS D'AVENCHES, 2021. Rapport d'activité 2021.
- SITE ET MUSÉE ROMAINS D'AVENCHES, s. d. Aventicum - Mur d'enceinte. Consulté 20 avril 2022 (<https://www.aventicum.org/fr/site-monuments/mur-enceinte>).
- TEHLER A., ERTZ D. & IRESTEDT M., 2013. The genus *Dirina* (Roccellaceae, Arthoniales) revisited. *The Lichenologist* 45(4): 427-476.
- TRUONG C. & MULHAUSER B., 2011. Conservation des lichens de la Collégiale de la Ville de Neuchâtel en lien avec la rénovation du bâtiment. Rapport non publié, 11 p.
- VUST M., CLERC P., HABASHI C. & MERMILLIOD J.-C., 2015. Liste Rouge des lichens du canton de Genève. Hors-série n° 16. Conservatoire et jardin botanique de la Ville de Genève. 160 p.
- WSL, s. d. Revision der Roten Liste der Flechten. Consulté 18 avril 2022 (<https://www.wsl.ch/fr/projets/rote-liste-der-baum-und-erdbewohnenden-flechten.html>).