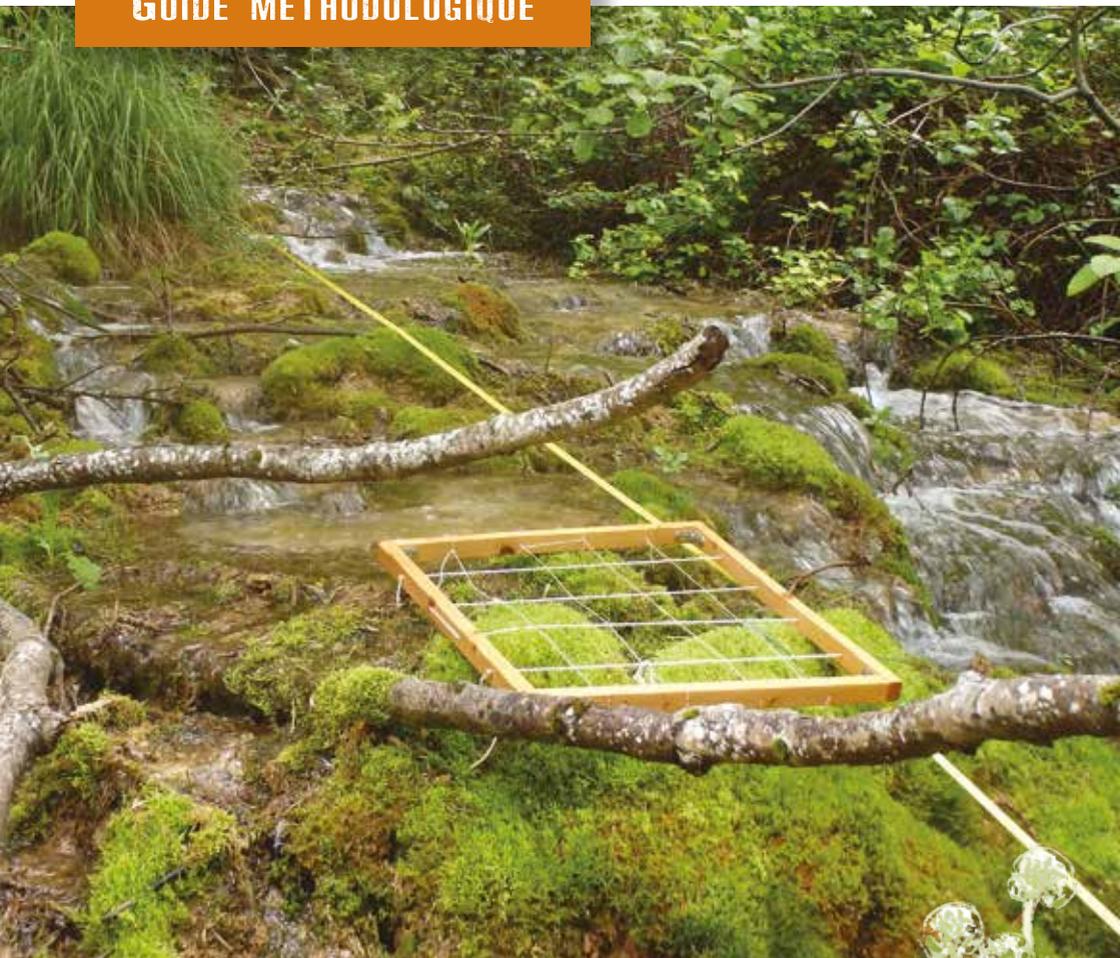


# Mise en place d'un suivi de la végétation des tufs

GUIDE MÉTHODOLOGIQUE



**APPLICATION À LA RÉSERVE NATURELLE  
RÉGIONALE DE SAINT-MAURIN**

**GORGES DU VERDON**





# SOMMAIRE

p.6

Connaissance

**Définition**

**Mécanismes de formation**

**Statuts de protection**

**Rôle de bio-indication des mousses**

**Menaces et conservation des tufs**

p.8

Cadre d'étude



**Réserve naturelle régionale de Saint-Maurin**

**Systèmes tufeux de Saint-Maurin**

**Patrimoine bryologique**

**Menaces et enjeux de conservation**

p.13

Méthodologie

**Etape 1 - Inventaire bryologique**

**Etape 2 - Mise en place des suivis**

**Etape 3 - Résultats et interprétations**



p.22

Eléments critiques

p.24

Annexes



# PRÉAMBULE

Les travertins constituent un habitat très particulier, presque exclusivement colonisé par des mousses et des hépatiques. Ces milieux discrets et encore assez mal connus sont relativement présents en France mais souvent localisés sur des surfaces restreintes. Dans le sud-est, à l'exception des massifs cristallins, les travertins sont présents dans la plupart des vallées (Hérault, Huveaune, Argens, etc.) (Vaudour, 1994). Ils sont essentiellement liés aux reliefs karstiques calcaires et dolomitiques avec des émergences d'eaux claires chargées en carbonates de calcium ou de magnésium.

Les travertins évoluent selon l'hydrologie locale et la géomorphologie des sites en fonction des aléas de l'occupation humaine. En effet, la sédimentation (accumulation de calcite) peut varier selon les apports et les écoulements de l'eau, les modifications climatiques, le piétinement, les pollutions etc. et ainsi causer le dépérissement de la végétation qui contribue à leur formation. Leur étude peut ainsi se révéler intéressante pour améliorer la connaissance des fonctionnements écologiques de ces milieux.

Le programme européen FEDER POIA Grands Lacs Alpains 2014-2020 donnait l'opportunité au CEN PACA de développer une méthodologie expérimentale pour suivre l'évolution des groupements muscinaux associés aux sources pétrifiantes. Ce guide méthodologique élaboré par Vincent Hugonnot (Association Loisirs Botaniques) vise à proposer une méthode de suivi des végétations tuficoles afin de mieux cerner l'évolution de ces habitats en préalable de toute action conservatoire ciblée.

## Programme européen FEDER POIA Grands Lacs Alpains 2014-2020



Projet  
Grands  
Lacs  
Alpains

« Développer l'attractivité touristique par la préservation et la valorisation du patrimoine naturel et paysager », telle est l'ambition du projet « Grands Lacs Alpains » qui bénéficie du soutien financier de l'Union Européenne (FEDER), de l'État, des Régions Auvergne-Rhône-Alpes et Provence-Alpes-Côte d'Azur et de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse.

**Partenaires du projet :** Avec la coordination du Conservatoire d'Espaces Naturels de Savoie (CEN Savoie), les acteurs du développement touristique (Grande Traversée des Alpes) et les gestionnaires d'espaces naturels des cinq grands lacs alpins (Asters - CEN de Haute-Savoie, CEN PACA, Syndicat Mixte d'Aménagement et de Développement de Serre-Ponçon, Conservatoire du Littoral) se sont associés pour répondre à ces enjeux.



© Olivier Tanga - CEN PACA

Cascade de tuf qui se jette dans le Verdon

## Objectifs de ce guide

Ce document a été construit comme un outil pratique et opérationnel pour les gestionnaires souhaitant mieux comprendre le fonctionnement sur leurs sites des habitats de sources pétrifiantes, d'en évaluer l'état de conservation et de suivre leurs évolutions. Cette méthode expérimentale se base sur un suivi appliqué à la Réserve naturelle régionale de Saint-Maurin sur 3 sessions de terrain entre novembre 2017 et octobre 2018.

L'application de la méthode et les résultats obtenus sur la réserve sont présentés dans des encarts pour servir d'exemple au déploiement de ce suivi.



Des fiches de terrain ont été élaborées pour aider les gestionnaires à structurer le recueil de données.

Ce travail, nous l'espérons, est voué à être alimenté par les retours d'expériences des gestionnaires qui s'interrogent comme nous sur l'état et l'avenir de ces milieux.

## DÉFINITION

Cet habitat réunit diverses formations végétales dominées par des bryophytes spécialisées (mousses et hépatiques), que les scientifiques regroupent sous le terme de « *Cratoneurion* ». Il se développe au niveau des sources ou de suintements, sur des matériaux carbonatés humides issus de dépôts actifs de calcaires donnant des tufs (dépôts non consistants) ou des travertins (roche calcaire indurée).

## MÉCANISMES DE FORMATION

Lors de la circulation de l'eau au contact de la roche, celle-ci se charge en bicarbonates et en calcium. A l'exsurgence, des algues et des bactéries sont à l'origine de la précipitation de bicarbonate de calcium, minéral constitutif des travertins. Lors de la photosynthèse, le gaz carbonique dissous dans l'eau est absorbé par des végétaux, rendant le milieu saturé en ions. Ceux-ci sont alors piégés par une substance recouvrant les filaments algaires, point de départ de la cristallisation du calcaire. Le développement de tufs est donc étroitement lié à la présence et à l'abondance de la végétation.

## STATUTS DE PROTECTION

Plusieurs textes accordent un statut de protection aux bryophytes tel que la Convention de Berne (19 septembre 1979) qui liste 26 espèces en Europe dont 11 sont présentes en France. La Directive Habitat-Faune-Flore (Directive 92/43/CEE du 21 mai 1992) concerne 11 espèces et 12 espèces sont protégées dans la législation française (arrêté du 23 mai 2013), certaines régions disposant de listes de bryophytes protégées.

Cet habitat fontinal est considéré comme d'intérêt communautaire prioritaire par la Directive Habitat-Faune-Flore sous l'intitulé « 7220 – Sources pétifiantes avec formations de travertins (*Cratoneurion*) ».

In situ



Sur la Réserve naturelle régionale de Saint-Maurin, une seule espèce bénéficie d'un statut de protection.

Il s'agit de *Mannia triandra*, espèce rare, présente en France du Jura aux Pyrénées-Orientales. Dans les Alpes, les stations sont peu nombreuses : Alpes-Maritimes, Haute-Savoie et Alpes de Haute-Provence dont Saint-Maurin est l'unique station.



Mannie rupestre

© Héloïse Vanderpert - CEN PACA

## RÔLE DE BIO-INDICATION DES MOUSSES

Les bryophytes (mousses et hépatiques) sont d'excellents bio-indicateurs. Ces végétaux de petite taille, à forte spécialisation écologique, occupent des micro-habitats précis comme les petites dépressions à la surface d'un travertin sec et ombragé, les marges des écoulements permanents sur le dôme d'un tuf à proximité de l'émergence par exemple. Ces végétaux ne possèdent pas de racines. Ils sont simplement fixés sur le support par des rhizoïdes, ne possédant pas la capacité d'absorber des substances. Ils dépendent donc entièrement des conditions locales pour leur survie. Leur présence, leur abondance, leur fertilité, traduisent de manière fidèle et fine les conditions écologiques.

## MENACES ET CONSERVATION DES TUFFS

La pérennité de ces formations est liée à des exurgences d'eau aux caractéristiques physico-chimiques spécifiques. Par conséquent, la réduction des débits de sources (captage de source, évolutions des précipitations, etc.), le drainage des zones humides, les pollutions organiques et chimiques, l'augmentation de la température de l'eau, peuvent altérer durablement ces écosystèmes. La connaissance du bassin d'alimentation des sources est indispensable pour la conservation sur le long terme de ces habitats. Ces milieux fragiles sont également très vulnérables au piétinement, entraînant la destruction de la flore muscinale et des concrétions calcaires.

Si l'habitat n'est pas dégradé, l'évolution naturelle sera fonction de la « production » de calcite et ne nécessitera aucune gestion pour assurer sa conservation.

## RÉSERVE NATURELLE RÉGIONALE DE SAINT-MAURIN

La Réserve est co-gérée par la commune de La Palud-sur-Verdon, le Conservatoire d'espaces naturels Provence Alpes Côte d'Azur (CEN PACA) et le Parc naturel régional du Verdon.

Située sur la commune de La Palud-sur-Verdon en rive droite du Verdon et au débouché du Grand Canyon, le site de Saint-Maurin est un Espace Naturel sensible du Département des Alpes-de-Haute-Provence. Il est aussi classé en Réserve naturelle régionale par la Région Provence-Alpes Côte-d'Azur depuis 2009 (délibération n°9-276) sur 27 ha. La principale justification de ce classement est la conservation des habitats de sources pétrifiantes avec formation de travertins. Dominée par de hautes parois calcaires du Jurassique, la réserve se caractérise par des terrasses étagées depuis l'exutoire jusqu'au Verdon, résultant de formations travertineuses de typologies différentes (types source, barrage et alluvial). La formation de baumes au sein de ces édifices explique également la présence d'anciens habitats troglodytiques remontant au V<sup>e</sup> siècle.



© David Allemand

Le Lignan est un cours d'eau temporaire qui se met en eau par surverse du réseau karstique lors d'importants épisodes pluvieux.

## SYSTÈMES TUFEUX DE SAINT-MAURIN

A Saint-Maurin, deux grands types de systèmes tufeux sont observés. Le système en cascade est le plus spectaculaire car il est associé à des chutes d'eau de presque 10 m de haut et à d'importantes concrétions tufeuses laminaires, constituant des draperies pendantes caractéristiques. Le système en gradins est plus discret mais occupe des surfaces tout à fait significatives et est le siège d'une intense accumulation. Ces gradins sur pentes douces sont constitués d'une succession de mini barrages associés à la création de vasques en amont.



Cascade des cantonniers © Cédric Roy - CEN PACA



Cascade du Verdon © Laura Granato - CEN PACA



Travertins en gradins © Laura Granato - CEN PACA

Dans le lit du Lignan on peut observer une communauté tufigène formant un macadam qui encroûte les pierres du ruisseau. Cette communauté active est soit dépourvue de bryophytes, soit peuplée de colonies éparses de *Gymnostomum calcareum*, *Fissidens gracilifolius*, etc. L'alimentation en eau de l'ensemble des tufs est due à des exurgences de sources (temporaires ou permanentes), qui coulent en se dispersant sur des gradins tufeux et sur de faibles pentes, jusqu'au Verdon. Les tufs drapent en vastes gradins le flanc du versant. La plupart de ces systèmes sont dominés par de puissantes accumulations travertineuses anciennes, inactives et qui n'ont fait l'objet d'aucune datation.



© Laura Granato - CEN PACA

Les formations travertineuses peuvent être de typologies différentes (types source, barrage ou alluvial) en fonction du pendage, du lieu de développement et de la précocité de la précipitation du calcium.

La flore muscinale disparaît une fois que l'eau ne circule plus et que le concrétionnement de la calcite n'a plus lieu. On parle alors de tuf inactif.

## PATRIMOINE BRYOLOGIQUE

Un premier inventaire des bryophytes des milieux humides avait été réalisé en 2009 par Vincent Hugonnot et Stéphanie Ullly. Une liste de 43 taxons (38 mousses et 5 hépatiques) avait pu être dressée. Parmi ces espèces, seul un petit nombre est à considérer comme typique des systèmes tufeux actifs : *Cratoneuron filicinum*, *Didymodon tophaceus*, *Eucladium verticillatum*, *Hymenostylium recurvirostrum*, *Palustriella commutata* et *Pellia endiviifolia*.

Parmi les 43 espèces recensées, 8 présentent une forte valeur patrimoniale : *Cephaloziella baumgartneri*, *Cinclidotus aquaticus*, *Neckera besseri*, *Orthotrichum bistratosum*, *Schistidium brunnescens* subsp. *griseum*, *Seligeria trifaria* et *Tortella inflexa* et *Orthotrichum bistratosum* dont c'était la première mention en France.

Aussi, plusieurs communautés bryologiques distinctes liées aux accumulations tufeuses et au type d'alimentation en eau ont pu être décrites :

- Groupement à *Palustriella commutata*, très variable, associé avec un groupement à *Cratoneuron filicinum*, un groupement à *Pellia endiviifolia* et un groupement à *Brachythecium rivulare* avec une alimentation en eau continue, par ruissellement, cascades, relativement indifférent à l'éclaircissement et présentant une forte accumulation de tuf ;
- Groupement à *Eucladium verticillatum*, thermophile, en encorbellements avec une alimentation par capillarité ;
- Groupement à *Hymenostylium recurvirostrum* des abords de cascades avec une alimentation par capillarité.

© Williams Bernard - CEN PACA



Groupement à *Palustriella commutata*



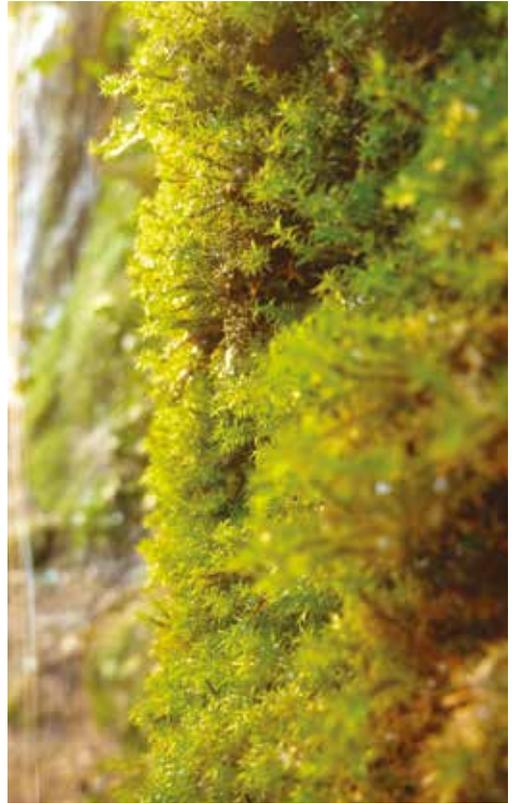
© Thomas Legland - CBNA

*Palustriella commutata*, espèce caractéristique des travertins actifs pouvant constituer des formations monospécifiques.



© Yannick Tranchant - CEN PACA

Balme à *Hymenostylium recurvirostrum*.



© Héloïse Vanderpeert - CEN PACA

*Eucladium verticillatum*, espèce typique des sols et rochers calcaires humides à suintants riches en carbonates.



Cascade de la maison cantonnière.



Création d'un belvédère d'observation pour limiter les piétinements des randonneurs, qui n'ont pas conscience de l'impact de leurs semelles sur ces formations fragiles !

## **MENACES ET ENJEUX DE CONSERVATION**

L'intégrité des travertins de la Réserve naturelle régionale de Saint-Maurin a été influencée de longue date par l'occupation humaine. Les premières traces datent du néolithique mais c'est à partir du V<sup>e</sup> siècle que les moines de Lérins occupent durablement le site. Au XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup>, les terrasses étaient pâturées et fauchées et un réseau de rigoles taillées dans le tuf permettait d'irriguer de manière gravitaire les prairies (dispositif non daté). Plus récemment, l'alimentation en eau des tufs a été modifiée par la déviation d'une partie du Lignan pour le passage en souterrain de la route départementale. Les tufs de la réserve présentent ainsi une sensibilité particulièrement forte aux apports d'eau car ils dépendent de la redistribution du volume d'eau (en lien avec la pluviométrie) par ruissellement sur les pentes, infiltration à travers le tuf et les autres couches géologiques superficielles. Le tarissement prolongé de la source temporaire du Lignan lié à des épisodes climatiques plus secs, les modifications des écoulements de surfaces (naturelles ou anthropiques) peuvent donc avoir des conséquences sur l'ensemble des tufs et porter atteinte à leur bon fonctionnement.

Le piétinement des formations par les visiteurs est un facteur important de dégradation des travertins sur la Réserve. Ces dernières années, l'augmentation de la fréquentation s'est montrée exponentielle avec un record de 52 000 personnes en 2016. Des mesures de protection des travertins ont été prises : mises en défens, aménagements sur les sentiers (pas japonais, caillebotis) et implantation d'un belvédère d'observation sur l'une des principales cascades.

Les tufs représentent un enjeu majeur et structurant au sein de la Réserve. Il nous est donc apparu nécessaire de développer une méthode pour évaluer leur état de conservation.

## ETAPE 1

## INVENTAIRE BRYOLOGIQUE



La réalisation d'un inventaire des bryophytes et la caractérisation des bryocénoses est un préalable indispensable à l'application de ce protocole. L'identification des mousses présente certaines difficultés et requière des compétences spécifiques.



© Laura Granato - CEN PACA

Détermination des mousses.

ETAPE 2

MISE EN PLACE DES SUIVIS

Matériels nécessaire

Les suivis sont réalisés à deux échelles, celle du système tufeux et celle des placettes. Une fiche de mise en place du suivi sera remplie pour chaque système tufeux (cf. Annexe 1, p.24).



© Laura Granato - CEN PACA



Quadrat de 30 x 30 cm divisé tous les 10 cm et décimètre pour les mesures de triangulation.

Type de mesure	Matériel nécessaire	
Distances et repérages	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GPS</li> <li>• boussole</li> <li>• décimètre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• télémètre</li> <li>• double décimètre</li> <li>• appareil photos</li> </ul>
Paramètres physico-chimiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH mètre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• conductimètre</li> </ul>
Relevés de végétation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• quadrat de 30 x 30 cm divisé tous les 10 cm</li> <li>• loupe de terrain (grossissement minimum x 10)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• couteau</li> <li>• enveloppes</li> <li>• carnet de notes</li> </ul>
Pour les suivis avec marquages permanents	<ul style="list-style-type: none"> <li>• perceuse portative</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• piquets (type Vis charpente - Rocket - 6 x 260 mm)</li> </ul>
Vitesse de croissance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• colliers de marquage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• paire de ciseaux</li> </ul>

Méthode de suivi

La méthode préconisée se base sur une expertise à deux échelles avec une approche large considérant un édifice tufeux dans sa globalité (niveau n°1), puis une approche plus fine à l'aide de placettes au sein de chaque édifice tufeux (niveau n°2).

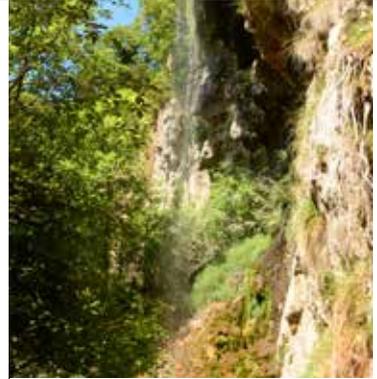
Une fiche protocole est à renseigner pour chaque échelle d'analyse. Les situations à suivre préférentiellement sont les secteurs soumis à des dégradations afin de déterminer leur potentiel de régénération, mais également les secteurs intacts comme sites témoins. Les habitats tufeux doivent être échantillonnés dans leur variabilité respective.

Attention :

il est nécessaire de disposer des autorisations nécessaires à la mise en place du suivi (piquets plantés dans le tuf, repères colorés etc.).

# 1. DESCRIPTION DE L'ÉDIFICE TUFEUX DANS SA GLOBALITÉ (NIVEAU N°1)

La limite de l'édifice tufeux peut être matérialisée par des piquets ou des marques sur des éléments de l'habitat (arbres, pierres etc.). La limite d'un édifice tufeux peut être difficile à circonscrire de manière objective sur le terrain, les marges pouvant établir des transitions insensibles avec la végétation environnante ou n'être pas accessibles. Dans ce cas, on fixera des limites subjectives, les plus inclusives possibles (à préciser dans la fiche de terrain).



© Gabriel Létard - CEN PACA

Exemple d'un édifice tufeux.

Les paramètres suivants seront relevés :

Type de mesure	Paramètres à relever	
<b>Éléments de description / localisation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nom du site</li> <li>• localisation (X et Y)</li> <li>• exposition précise à la boussole</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alimentation en eau (recherche systématique des sources)</li> </ul>
<b>Paramètres physiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• conductivité (à l'aide d'un conductimètre) en amont, sur le tuf et en aval</li> <li>• pH (à l'aide d'un pH-mètre)</li> <li>• surface du tuf (exprimée par L x l)</li> <li>• profondeur estimée de la concrétion de travertin (en m)</li> <li>• inclinaison déterminée à chaque changement de pente significatif (à l'aide d'un inclinomètre)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schéma général de la morphologie du tuf avec les principales unités de végétation bryophytique</li> <li>• évaluation de l'état de conservation du tuf (recherche des facteurs potentiellement néfastes et des facteurs d'artificialisation)</li> </ul>
<b>Éléments biologiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• recouvrement total des ligneux et herbacées (en % ou coefficient d'abondance-dominance)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• évaluation de la surface occupée par les principales espèces bryophytiques structurantes</li> </ul>
<b>Photos</b>	Des photos seront prises pour illustrer l'édifice tufeux et assurer un suivi temporel sur image	

**Cf. Annexe 1, (p. 24) : Fiche terrain suivi « système tufeux » (Niveau 1).**

## 2. MISE EN PLACE D'UN SUIVI DE L'ÉDIFICE SUR UN ÉCHANTILLONNAGE REPRÉSENTATIF (NIVEAU N°2)

Pour chaque édifice tufeux, un échantillonnage de la végétation représentative de l'édifice est réalisé au moyen de petits quadrats permanents. Chaque quadrat mesure 30 cm x 30 cm, il est divisé en 9 petits carrés de 10 cm x 10 cm.

Ces quadrats sont placés sur des secteurs relativement homogènes au plan stationnel.

Pour les édifices tufeux relativement plats, le choix s'est porté sur une disposition des quadrats le long de transects. Pour les édifices tufeux verticaux, les quadrats ont été positionnés selon les communautés présentes, toujours avec un repérage minutieux et des photos d'illustration.



© Laura Granato - CEN PACA

Exemple de positionnements des quadrats.

A l'échelle de la placette de 30 cm x 30 cm, les informations suivantes sont relevées :

- liste des espèces de bryophytes
- recouvrement respectif des bryophytes au sein de chaque sous-carré de 10 x 10 cm (en pourcentage)
- espèces de trachéophytes (plantes à fleurs et fougères) sur cette surface
- recouvrement respectif des trachéophytes sur cette surface (en pourcentage)
- type d'alimentation locale en eau (ruissellement, capillarité, goutte à goutte)
- recouvrement de la roche nue en % ou en nombre de sous-carrés

Exemple de la fiche relevée :

Identification du quadrat : GRADIN Q1

1. A l'échelle de la placette (30 x 30 cm) :

Recouvrement de la roche nue (N) :

Type d'alimentation locale en eau (ruissellement, capillaire, goutte à goutte) : ruissellement

Taxons herbacés : Recouvrement (N ou code AD) :

*Agrostis stolonifera*

*Mentha longifolia*

2. Strate bryophytique

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Indiquer le % de recouvrement dans chaque case :

Taxon	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Cyatophorum filicinum</i>									
<i>Escladum verticillatum</i>									

3. Sol et plantes :



In situ



29 quadrats ont

été mis en place sur 5 systèmes tufeux. Pour des raisons de conservation et de réglementation, aucun repère fixe (4 fers à béton pour chaque quadrat) n'a été implanté dans l'habitat. En revanche, un repérage minutieux des quadrats à l'aide de mesures de triangulations sur des éléments paysagers, complétées de photos a été réalisé.

Quand cela est possible il est préférable, car beaucoup plus simple et rapide, de mettre en place des marqueurs permanents (vis).

Cf. Annexe 2 (p. 26) :  
Fiche terrain suivi « placette » (Niveau n°2)

### 3. MESURE DE LA CROISSANCE TUFUEUSE (NON MIS EN PLACE À CE JOUR)

Afin de mesurer la vitesse de concrétionnement, un dispositif de marquage permanent fixé dans le tuf est nécessaire. Des petits piquets sont enfoncés dans le tuf. A chaque passage, on y mesure l'épaisseur de la concrétion (par soustraction de la hauteur émergée du piquet). Plusieurs mesures sont effectuées afin d'enregistrer la variabilité des dépôts sur le site.

## 4. PÉRIODE ET FRÉQUENCE

Les bryophytes peuvent être observées toute l'année. Toutefois, les périodes les plus propices sont l'automne et le printemps. Pour observer la fructification des taxons, le printemps et l'été sont les périodes les plus favorables.

In situ



Les suivis de terrain ont été menés en novembre 2017 (mise en œuvre de la méthode), juin et octobre 2018. En fonction de la problématique, les intervalles de suivi doivent être adaptés. Ainsi, dans des sites dégradés par le piétinement ou sur des tufs asséchés, les passages peuvent être relativement fréquents, soit 1 ou 2 par an. Les passages seront espacés dans des systèmes plus intègres, où les évolutions seront plus lentes, 1 tous les 2 ans par exemple. Il faut toutefois garder en mémoire que la végétation des tufs est soumise à des variations qui peuvent être assez rapides à une échelle très réduite (de l'ordre du dm<sup>2</sup>) en raison de l'instabilité des écoulements.

### ETAPE 3

### RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS



#### Le suivi permet de mesurer :

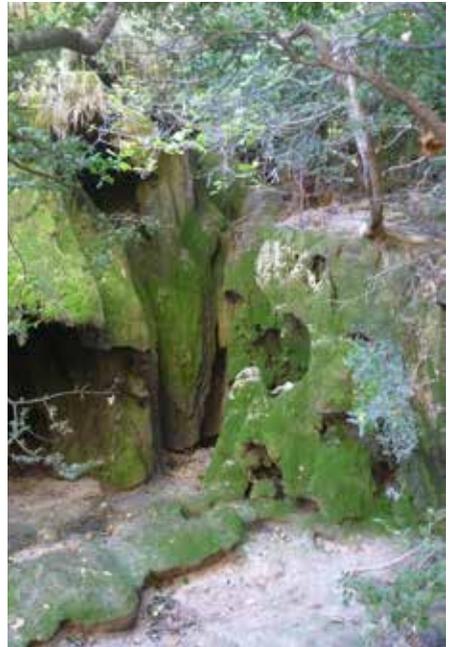
- L'érosion des tufs (piétinement, régénération après dessiccation etc.) : apparition de zones nues ou d'espèces pionnières
- L'eutrophisation (pollution, apport de matière organique etc.) : apparition d'espèces rudérales et nitrophiles
- L'assèchement (changement climatique, canicule etc.) : diminution de l'accrétion tu-feuse, régression des bryophytes hygrophiles, ralentissement de la vitesse de croissance, modification de la composition floristique
- Le recouvrement par la végétation non tufigène : colonisation par les ligneux et la végétation herbacée (pouvant influencer l'accumulation de calcite par dépôt de litière, occupation de l'espace etc.)
- L'évolution des concrétions en lien avec le régime hydrologique
- Les capacités de résilience après l'arrêt des dégradations



In situ



Le premier passage (automne 2017) a mis en évidence un fort brunissement des mousses. Les conditions climatiques du printemps et de l'été étaient particulièrement sèches avec l'absence de précipitations et des épisodes de canicule. Des inquiétudes étaient apparues quant à la reprise de l'activité biologique des mousses sur certaines zones. Une mise en culture en laboratoire a permis de suivre et d'évaluer la régénération des communautés muscinales. Les observations faites en 2018, au printemps puis à l'automne se sont révélées encourageantes avec l'observation d'une reprise de l'activité des bryophytes sur les 5 secteurs suivis.

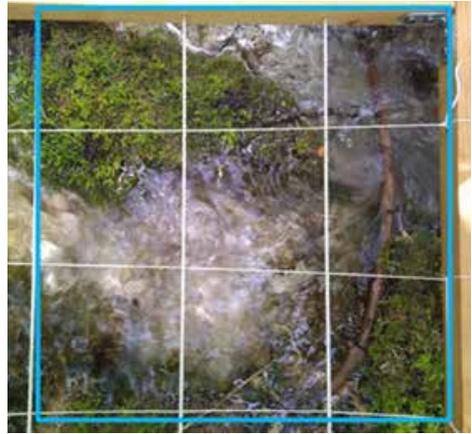
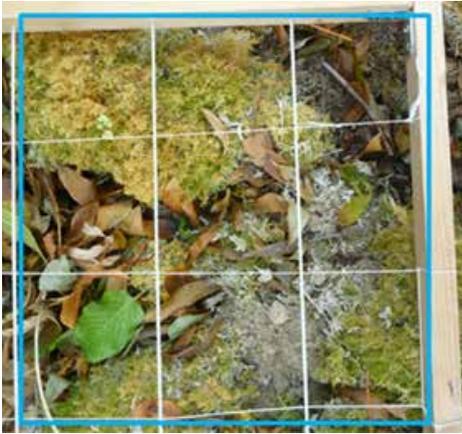


Cascade du Verdon (secteur n°5) – automne 2017  
– printemps 2018 – automne 2018  
(de gauche à droite et de haut en bas).

© Héloïse Vanderpert - CEN PACA



Comparaison d'un quadrat sur draperie de *Palustriella commutata*, cascade du Verdon en automne 2017 et 2018.



Comparaison d'un quadrat sur les gradins à l'automne 2017 et printemps 2018.

### In situ

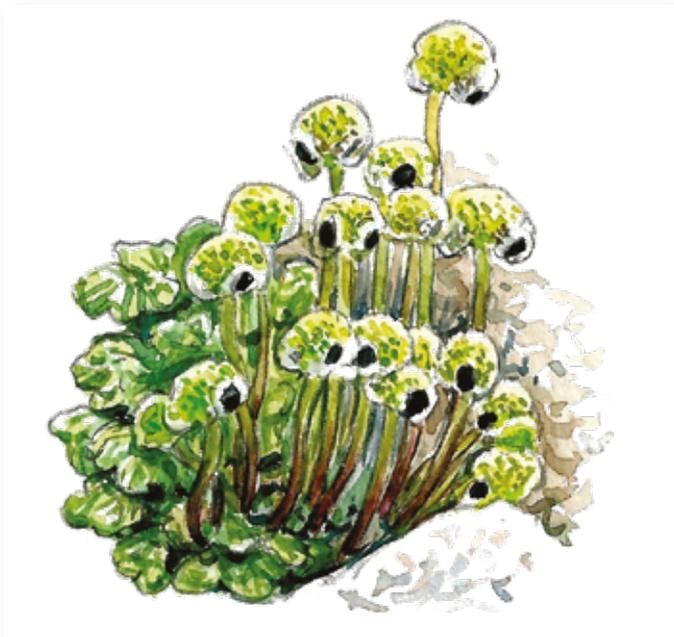


Sur le suivi « placette » plus fin (niveau n°2), avec des relevés dans les quadrats, on constate la reprise de croissance des mousses là où elles semblaient mortes. Ce constat est particulièrement évident sur *Palustriella commutata* sur la cascade du Verdon et *Cratoneuron filicinum* sur le secteur des gradins.

Les bonnes conditions hydriques de 2018 ont également permis une recolonisation sur des zones où la roche était à nu. *Gymnostomum calcareum* et *Eucladium verticillatum* ont ainsi comblé de petites zones de roches de la cascade du Verdon. Sur certains quadrats, on note également une ou deux espèces en plus de celles qui avaient été observées lors de la mise en place.



Ces observations vont donc dans le sens d'une bonne capacité de la bryoflore à endurer des conditions hydriques variées avec une possibilité de reprise de vie, après une année extrêmement sèche. Néanmoins, une fréquence accrue des années sèches et chaudes (les bryophytes sont en effet sensibles à une élévation de la température de l'eau), avec la diminution des apports hydriques, pourrait entraîner la mort des bryophytes, une diminution de la capacité à retenir les dépôts de calcaire et donc la formation de tuf. Aucune observation d'espèces indicatrices de pollution n'a été faite.



© François Desbordes

Mannie rupestre

Les résultats détaillés du suivi ont fait l'objet d'une publication dans le Bulletin de la Société Linnéenne de Provence tome 68, 2017 (téléchargeable dans la version numérique). Référence : Hugonnot, Vanderpert, Granato. 2017 : Les bryophytes du complexe pétrifiant de Saint-Maurin (La Palud-sur-Verdon, Alpes de Haute-Provence), approche conservatoire, 10 p.

## ÉLÉMENTS CRITIQUES DE LA MÉTHODE

### Les plus

- Le suivi photographique à l'échelle des systèmes (niveau n°1) permet de voir facilement les variations interannuelles de la végétation : dessiccation, régénération, érosion etc.
- Les suivis photographiques niveau 1 et niveau 2 sont faciles à appréhender pour un gestionnaire car il ne nécessitent pas de faire le relevé des espèces.
- L'importance de faire un repérage photographique des quadrats, accompagné de schémas à insérer dans la fiche de terrain, pour faciliter la mise en œuvre. Nous avons constaté qu'à l'échelle du quadrat, un suivi photo peut suffire à retrouver leur emplacement précis.

### Les moins

Le suivi en zone verticale est beaucoup plus compliqué à mettre en œuvre que celui sur les zones horizontales en gradins pour les raisons suivantes :

- En l'absence de marquage permanent (choix des gestionnaires), une triangulation est nécessaire et peut s'avérer compliquée, surtout sur les zones verticales. La triangulation nécessite d'être au minimum 3 personnes pour les manipulations simultanées nécessaires.



© Héloïse Vanderpert - CEN PACA

L'utilisation de la triangulation pour le positionnement des quadrats au sein des systèmes tufeux peut s'avérer insuffisamment précise (sous réserve de retranscrire dans la fiche protocole les mesures par points avec des photos) et nécessite plus de « main d'œuvre ».

- L'accessibilité est parfois très périlleuse en période de pleine eau. Il s'avère nécessaire de positionner les quadrats sur des secteurs faciles d'accès. En cas d'apports d'eau importants, un simple suivi photographique peut permettre de collecter des données de régénération. Un repérage ou la mise en œuvre des placettes de suivi en période de pleine eau est à préconiser pour éviter « les mauvaises surprises » et l'inaccessibilité aux placettes.
- Le suivi peut être assez inconfortable (douche permanente en cas de chute d'eau) : impossibilité d'écrire, matériel et personnel mouillé très rapidement. Prévoir éventuellement du matériel d'écriture et combinaison waterproof (voire équipements de plongée).



© Héloïse Vanderpert - CEN PACA

Sur les formations de sources pétrifiantes avec un écoulement permanent de type « chute d'eau », le relevé des données et la saisie sont très difficiles et nécessitent du matériel waterproof (appareil photo, papier etc.).

Sur les zones en gradins, le protocole est plus facile à mettre en œuvre car on retombe sur une méthode classique de transects fixes avec des placettes repérées par la distance. L'observation des bryophytes reste compliquée quand il y a mise en eau avec un peu de courant car les plantes sont immergées sous 10-15 cm et les reflets sur l'eau sont gênants.

**Références utiles :**

- Pentecost A, 2005 - Travertine. Springer-Verlag, Berlin, 445 p.
- Hugonnot V, Celle J. & Peipin F. 2015 - Mousses et hépatiques de France. Manuel d'identification des espèces communes. Biotopie, Mèze, 288 p.

## SUIVI « système tufeux » (Niveau 1)

Abbreviations des principales espèces :	<i>Pellia endivivata</i> PE <i>Brachythecium rivulare</i> BR <i>Palustriella commutata</i> PC <i>Catoneuran filicinum</i> CF
	<i>Eucladium verticillatum</i> EV <i>Hymenostylium recurvirostrum</i> HR

Nom du site :

Secteur 2 - GRADIN

## 1. Eléments de description /localisation

Délimitation du système tufeux (piquets ; marques etc.) :	Zone à faible pente, entre le platelage et la cassure de pente en amont.
Surface du tuf (exprimée par L x l) :	30 m x 17 m
Localisation X Y (centre approximatif du système) :	
Exposition :	Sud /Sud - Ouest

Photos :



## 2. Hydrologie

Recherche des sources :	
Conductivité en amont, sur le tuf :	
Conductivité en aval, sur le tuf :	
pH :	7,9
Température :	8,3°C

## 3. Morphologie du système

Profondeur de travertin (en m) :	Inconnue
Inclinaison à chaque changement de pente significatif (à l'aide d'un inclinomètre) :	25%
Schéma général de la morphologie du tuf (+ principales unités de végétation bryophytique) :	

## 4. Etat de conservation

Très sec en novembre 2017 brunissement des mousses (taux de mortalité élevé ?)

## 5. Végétation du tuf : (relevé fait depuis le bord de la cascade, angle de la prise de vue photo)

Taxon ligneux	Recouvrement (%)	Nombre d'individus
<i>Acer opalus</i>	30	4
<i>Rhamnus alpina</i>	20	6
<i>Fraxinus excelsior</i>	60	8
<i>Rubus ulmifolius</i>	10	
<i>Ligustrum vulgare</i>	5	
Taxon herbacé	Recouvrement (% ou coef. AD)	
<i>Mentha longifolia</i>	1	
<i>Agrostis stolonifera</i>	+	
<i>Eupatorium cannabinum</i>	1	
<i>Achnatherum calamagrostis</i>	2	
<i>Angelica sylvestris</i>	+	
<i>Brachypodium rupestre</i>	1	
<i>Senecio doria</i>	+	
<i>Mycelis muralis</i>	+	
<i>Hedera helix</i>	+	
<i>Clematis vitalba</i>	+	
<i>Scrophularia sp.</i>	+	
<i>Solunum dulcamara</i>	+	

## 6. Evaluation de la surface occupée par les principales communautés bryophytiques structurantes (en coef. AD)

Número (schéma)	Végétations	Surface (m <sup>2</sup> )
1 = bourrelet des gradins	<i>Cratoneuron filicinum</i> <i>Brachytecium rivulare</i>	4 2
2 = zone à l'arrière du bourrelet, généralement immergée	<i>Palustriella commutata</i> <i>Eucladium verticilatum</i>	2 +
3 = zone verticale des gradins	<i>Bryum pseudotriquetrum</i> <i>Didymodon tophaceus</i>	1 +

## SUIVI « placettes permanentes » (Niveau 2)

Nom du site : GRADIN

## 1. Schéma général de disposition des quadrats sur le système tufeux (numéroter les quadrats) :

9 quadrats de 30x30 cm ont été positionnés le long d'un transect. Il est vers la fin du platelage, côté ouest.



## 2. Repérage du transect et positionnement des placettes :

Transect placé entre le platelage et un frêne. Le transect est perpendiculaire au platelage. Il commence au 6<sup>ème</sup> poteau côté ouest et s'arrête à 28 m, au pied d'un frêne. Il y a un quadra tous les 3 mètres, entre 3 m et 27 m.

Azimut du transect :



Départ et fin du transect :



## 3. Disposition des quadrats

Chaque quadra est positionnée à gauche du transect, en allant du platelage jusqu'au frêne. Entre 3 m et 3,30 m pour Q1, puis 6 et 6,30 m pour Q2...

Quadra	Distance au platelage (m)	Quadra	Distance au platelage (m)
Q1	3	Q3	9
Q2	6	Q4	12

## Identification du quadra : GRADIN Q1

## 1. A l'échelle de la placette (30 x 30 cm) :

Recouvrement de la roche nue (X) :	
Type d'alimentation locale en eau (ruissellement, capillarité, goutte à goutte) :	ruissellement
Taxon herbacé	Recouvrement (% ou coef. AD)
<i>Agrostis stolonifera</i>	
<i>Mentha longifolia</i>	

## 2. Strate bryophytique

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Indiquer le % de recouvrement dans chaque case :

Taxon	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Cratoneuron filicinum</i>									
<i>Eucladium verticillatum</i>									

## 3. Suivi photo



Lepidodion smithii © Héloïse Vanderpert CEN - PACA



**Rédaction :**

Vincent Hugonnot (Loisirs Botaniques), Héloïse Vanderpert (CEN PACA),  
Laura Granato (CEN PACA),

**Coordination :**

Laura Granato (CEN PACA)

**Avec des contributions et relecture de :**

Lionel Quelin (CEN PACA), Mathilde Dusacq (CEN PACA), Laurence Foucaut (Odepp),  
Sonia Richaud (CEN PACA) et Agnès Vivat



EN PARTENARIAT AVEC LA RÉGION AUVERGNE-RHÔNE-ALPES