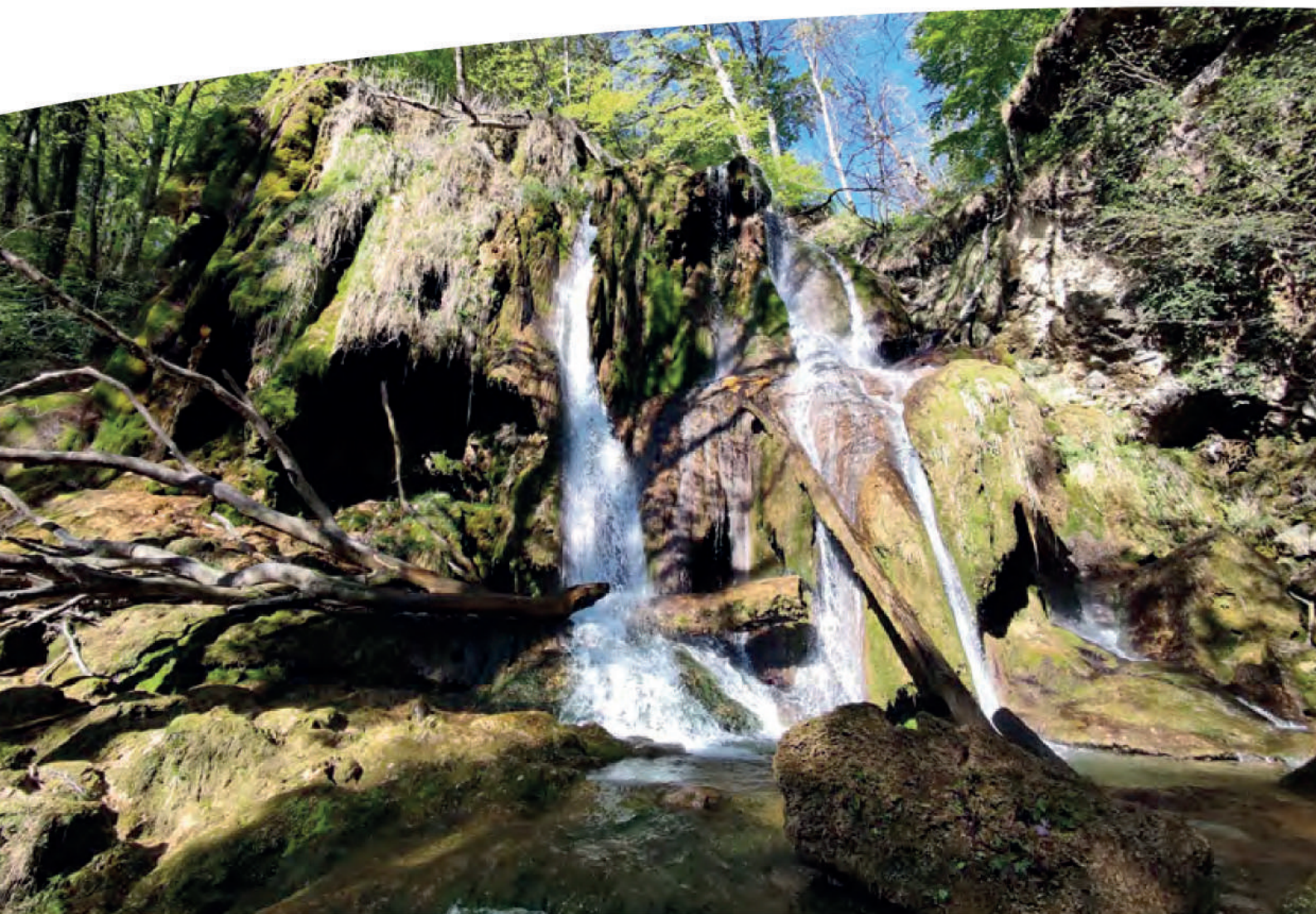




AUVERGNE-RHÔNE-ALPES
GUIDE TECHNIQUE

LES TUFIERES,
de la connaissance
à la gestion



SOMMAIRE

P. 4

CONNAÎTRE LES TUFIERES

P. 14

ÉVALUER L'ÉTAT DES TUFIERES

P. 25

AGIR POUR LA CONSERVATION DES TUFIERES

Les tufières sont des habitats fragiles étroitement liés à leur environnement, où les contextes hydrogéologique, géographique, climatique, biologique et anthropique déterminent leur développement.

Leur fonctionnement complexe rend la définition de ces écosystèmes difficile, tant pour les gestionnaires d'espaces naturels que pour la communauté scientifique.

Il nécessite de réaliser des études pluridisciplinaires.

LES TUFIERES, de la connaissance à la gestion

est un numéro de la collection
« Les cahiers techniques
d'Auvergne-Rhône-Alpes ».

Il capitalise le travail de spécialistes étroitement impliqués dans le cadre du projet Rezoh-tuf, coordonné par l'Institut de formation, de recherche et d'expertise en milieux souterrains (IFREEMIS) et financé par l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse et la Région Auvergne-Rhône-Alpes.

Rédaction : Elodie Lecornu (IFREEMIS), Elodie Derlande (IFREEMIS), Johan Berthet (Styx 4D), Aurélien Labroche (CBN Massif central), Pauline Debay (CBN alpin), Jean-Michel Faton (groupe Sympetrum), Régis Krieg-Jacquier (groupe Sympetrum).

Comité de rédaction : Benoît Pascault (CEN Rhône-Alpes), Fabien Hobléa (Edytem), Frédéric Hoffmann (UBM), François Chambaud (Agence de l'eau RMC).

Contributions et relectures : Mathilde Pantalacci (PNR Massif des Bauges), Christine Cholat (Commune de Saint-Martin-de-Clelles), Gaëtan Ayache (PNR de la Sainte-Baume).

Travail éditorial : Pascal Faverot (CEN Rhône-Alpes)

Photographie de couverture : Cascade de Clairefontaine (Ain) ©Elodie Lecornu

Mise en maquette : Marion Bijl - yesonyva.com

Impression : sur papier FSC 100% recyclé avec des encres à base végétale par IDMM (69 Dardilly). ISSN 1276-681X - ISBN 978-2-37170-088-8

Dépôt légal : Décembre 2024

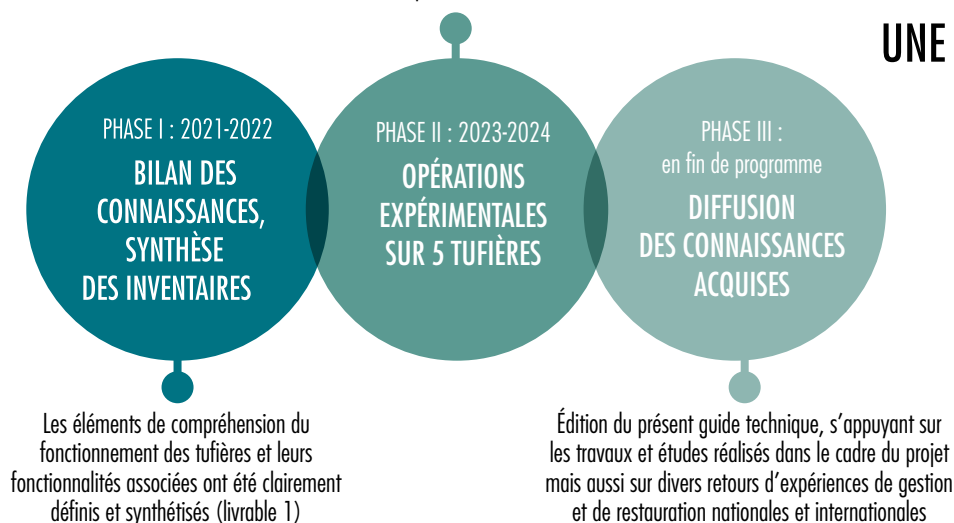


De nombreuses pressions anthropiques, pour certaines accentuées par les effets actuels du changement climatique, menacent l'état de conservation des tufières et mettent en péril leur capacité à répondre à des enjeux socio-écologiques majeurs en tant que : **réserve d'une biodiversité remarquable, filtre naturel assurant la qualité de l'eau et mémoire des environnements passés.**

Bien que reconnues comme habitats d'intérêt communautaire, les tufières s'avèrent être des formations peu documentées à l'échelle nationale notamment, en raison d'un manque de connaissance généralisé.

Ce constat révèle un profond besoin aujourd'hui de partager les données acquises sur le territoire, de proposer des méthodes d'évaluation de l'état de conservation des tufières, de diffuser les retours d'expériences de gestion et de restauration et enfin de sensibiliser le grand public à leur conservation.

- Évaluation et suivi avec l'aide des experts partenaires du projet (CBN, Styx4D, Sympetrum, IFREEMIS)
- Restaurations adaptées aux différents contextes



UNE ACTION DU PROJET REZOH-TUF

Porté par l'IFREEMIS, le projet Rezoh-tuf¹ s'inscrit dans l'espace commun au bassin du Rhône et à la région Auvergne-Rhône-Alpes.

Il concerne ainsi une grande partie du bassin Rhône Méditerranée Corse et plus des deux-tiers de la région Auvergne-Rhône-Alpes.

Il répond au dispositif régional intitulé « biodiversité ordinaire » et à l'appel à projet « eau et biodiversité 2021 » de l'agence de l'eau RMC.

Les tufières pilotes du projet Rezoh-tuf

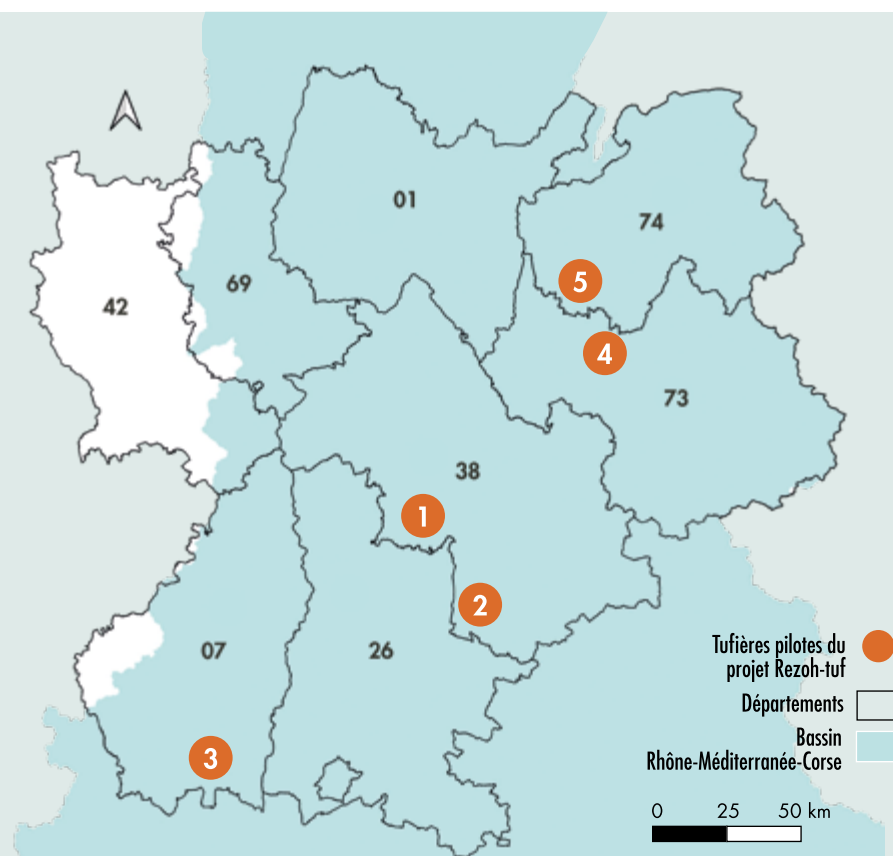
1 Tufière de Choranche
(Choranche, Isère)
Collaboration du site de Choranche et du Parc naturel régional du Vercors.

2 Tufière de Darne
(Saint-Martin-de-Clelles, Isère)
Collaboration de la Commune de Saint-Martin-de-Clelles (propriétaire), du Conseil départemental de l'Isère, du Conservatoire d'espaces naturels de l'Isère et du PNR du Vercors.

3 Tufière de Révaou
(Vallon-Pont-d'Arc, Ardèche)
Collaboration de la Commune de Vallon-Pont-d'Arc (propriétaire), du Syndicat de gestion des gorges de l'Ardèche et du Conseil départemental de l'Ardèche.

4 Tufière de la Touvière
(Jarsy, Savoie)
Collaboration des propriétaires, de la Commune de Jarsy, de la Communauté d'agglomération Grand Chambéry, du Parc naturel régional du massif des Bauges, du Conservatoire d'espaces naturels de Savoie et du Syndicat mixte interdépartemental d'aménagement du Chéran.

5 Tufière des Vauthières (Gruffy, Haute-Savoie)
Collaboration de la Commune de Gruffy, du PNR du massif des Bauges, du Conservatoire d'espaces naturels de Haute-Savoie et du SMIAC.



UN MILIEU COMPLEXE

QU'EST-CE QU'UNE TUFIERE ?

Une tufière peut être définie comme une zone de production de tuf, active ou héritée, dont l'accrétion génère des édifices tufeux d'épaisseurs et de structures variables.

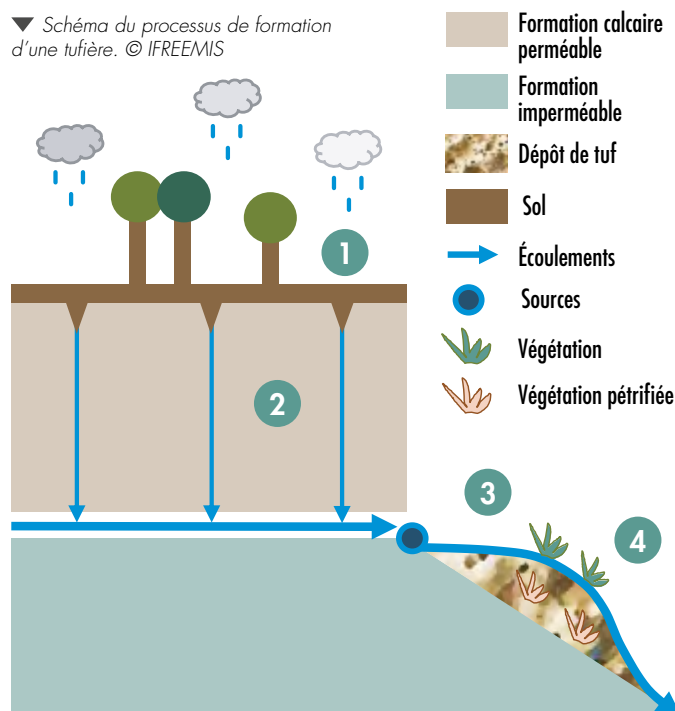
Le tuf est une roche carbonatée poreuse, vacuolaire tendre et friable, formée par des écoulements d'eau déposant leur charge calcaire sur des mousses et des débris végétaux qui se retrouvent pétrifiés dans la matrice minérale.

Des éléments de l'écosystème y sont régulièrement intégrés (clastes, blocs, troncs, etc.) et se retrouvent en quelque sorte fossilisés.

Le processus de formation et de fonctionnement

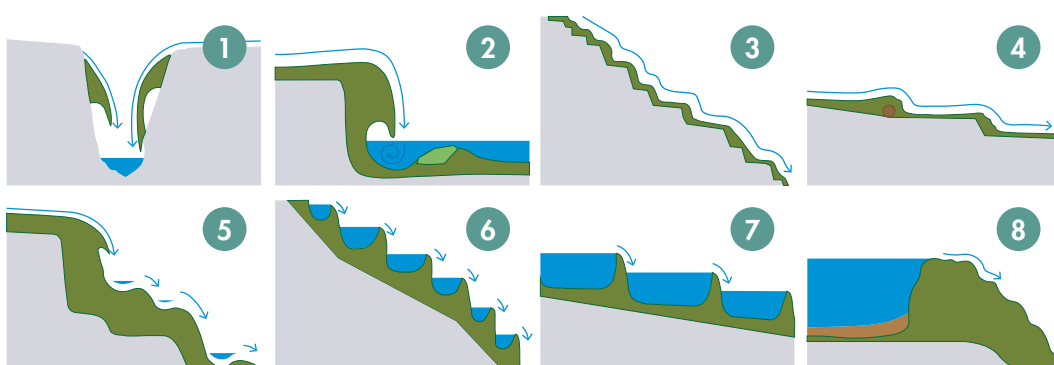
- 1 L'eau de pluie** au contact du sol, se charge en CO₂ produit par l'activité des plantes et micro-organismes et devient alors plus ou moins acide et corrosive.
- 2 Lors de son cheminement** dans le réseau souterrain, l'eau se minéralise et dissout les calcaires (CaCO₃) sous la forme d'hydrogénocarbonates de calcium (Ca(HCO₃)₂) : $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ↑ Solubilisation
- 3 L'eau souterraine** sourde au niveau d'une source qu'on appelle plus spécifiquement un « exutoire » en milieux karstiques.
- 4 Tout au long de l'écoulement**, le relief, la pente, l'exposition ainsi que la végétation mettent en jeu des facteurs bio-physico-chimiques favorables au dépôt de tuf (cf. page suivante)

▼ Schéma du processus de formation d'une tufière. © IFREEMIS



La diversité des formes

▼ Schéma des principales morphologies d'une tufière. © IFREEMIS

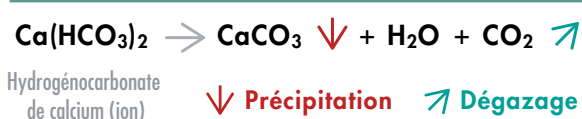


- 1 Tufière suspendue**
- 2 Cascade de tuf**
- 3 Tufière en gradins**
- 4 Parcours en cascadelles**
- 5 Parcours cascasant**
- 6 Succession de gours**
- 7 Succession de gours espacés**
- 8 Bouchon tufeux**

QUELS SONT LES FACTEURS FAVORABLES AU DÉPÔT DE TUF ?

Les processus chimiques

Au niveau d'une source, l'arrivée de l'eau dans le milieu extérieur moins confiné que le milieu souterrain, provoque la libération du CO₂ dans l'air. Ce dégazage entraîne une sursaturation des carbonates dissous dans l'eau, provoquant leur précipitation sous forme solide de CaCO₃ (calcite) selon l'équation suivante :



La température des écoulements se réajuste en sortie du milieu souterrain et l'eau, selon la saison, peut alors se réchauffer. La solubilité du CO₂ décroît lorsque la température de l'eau augmente, favorisant ainsi le dégazage du CO₂ et la sursaturation de la solution en carbonates. Ce phénomène est particulièrement marqué en adret du fait de l'ensoleillement qui réchauffe plus ou moins rapidement les écoulements.

Les processus physiques

Les facteurs physiques résultent principalement d'un changement rapide de l'hydrodynamisme des écoulements (Mazet, 1988). Trois effets majeurs découlent de ces dynamiques et sont contrôlés, d'une part, par l'accélération des vitesses d'écoulement et d'autre part, par un relief accidenté avec des ruptures de pente (Zhang, 2001, Chen et al., 2004).

- 1 L'effet d'aération** intervient lorsque le relief est pentu et que la vitesse d'un écoulement s'accélère. L'air entraîné par le courant forme une multitude de bulles d'air dans l'eau, augmentant significativement la surface d'échange entre l'eau et l'air. Cela a pour effet de favoriser le dégazage du CO₂ dissous.
- 2** Selon la loi de Henry, la solubilité d'un gaz est faible si la pression du fluide l'est aussi. Ainsi, lorsque la vitesse d'un écoulement augmente du fait de la pente, sa pression diminue et donc la solubilité du CO₂ aussi, ce qui favorise son dégazage. Cet **effet de basse pression** se retrouve notamment sur les parcours cascadants.
- 3 L'effet « jet-flow »** (éclatement) intervient au niveau d'une rupture de pente ou d'un obstacle. L'écoulement génère le plus souvent une cascade, traduisant la division de l'écoulement en une multitude de filaments, gouttes voire microgouttelettes et embruns. L'interface entre l'eau et l'air augmente alors considérablement, libérant le CO₂ dissous.

Les processus biologiques

Chaque organisme chlorophyllien aquatique (mousses, plantes vasculaires, cyanobactéries) contribue en journée à l'absorption du CO₂ dissous par le mécanisme de photosynthèse. La concentration de CO₂ dans l'eau diminue alors et déclenche la précipitation du carbonate de calcium, le plus souvent au niveau des racines. Le développement de ces organismes au sein des écoulements fournit aussi un support favorable à l'accroche de la calcite (calcaire) en mouvement dans l'eau. De plus, la morphologie ramifiée des bryophytes accroît la surface de contact entre l'eau et l'air et participe au dégazage du CO₂.

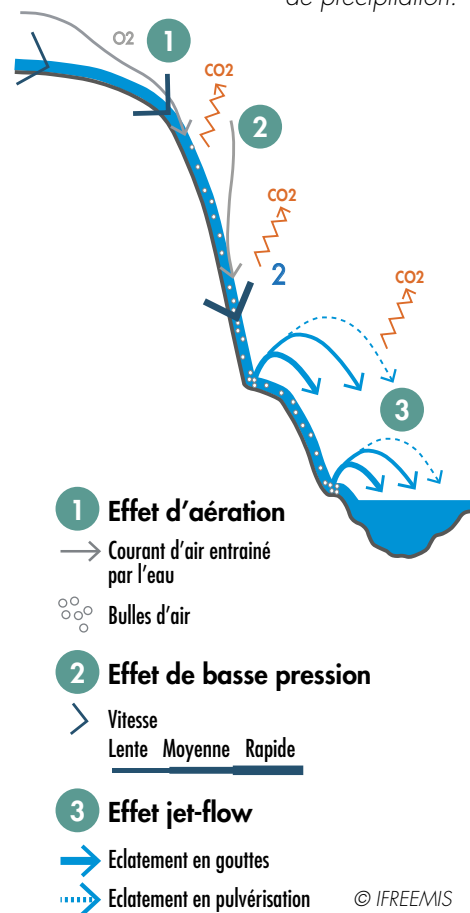
Ne pas confondre tuf et travertin

Le tuf se différencie du travertin, qui correspond à un ancien tuf dont les vides ont été colmatés par des écoulements incrustants durant des temporalités longues et plus anciennes (Mio-Pliocène et Pléistocène).



▲ Tuf fossile à Villebois (Ain). © IFREEMIS

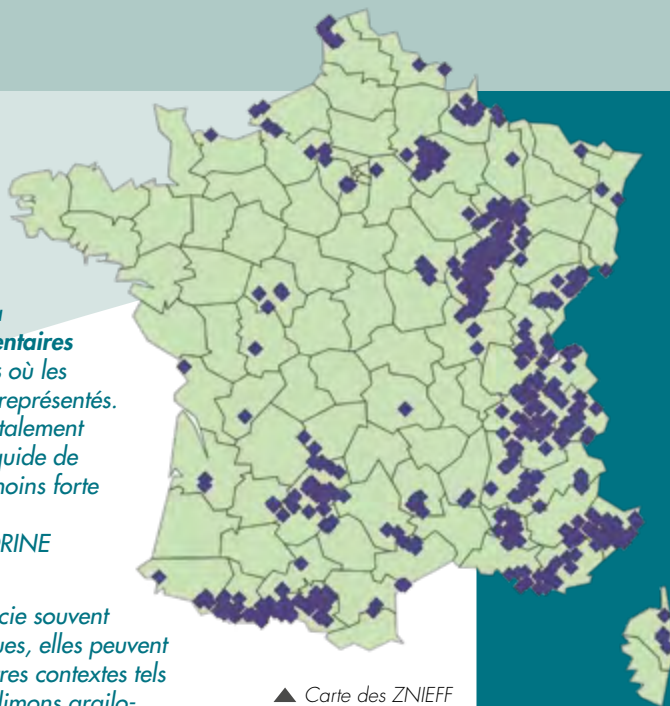
▼ La topographie en rupture de pente : vecteur de mécanismes de précipitation.



Où trouve-t-on des tufières en France ?

« L'aire de répartition s'étend à l'ensemble des régions sédimentaires et orogéniques non cristallines où les substrats carbonatés sont bien représentés. Ces communautés sont donc totalement conditionnées par une veine liquide de qualité et une charge plus ou moins forte en cations (calcium, etc.) ». D'après le cahier d'habitat CORINE Biotope 54.12 (INPN).

Par ailleurs, bien que l'on associe souvent les tufières aux régions karstiques, elles peuvent aussi se développer dans d'autres contextes tels que le loess (dépôts éoliens de limons argilo-calcaires) avec l'exemple du massif du Pilat, ou encore les secteurs à conglomérats tels que la région lyonnaise.



▲ Carte des ZNIEFF correspondant à l'habitat « Sources d'eaux dures » CORINE Biotope 54.12. 2024. ©INPN

Un peu d'histoire

Le tuf a été **exploité depuis l'Antiquité** pour ses qualités uniques. Utilisé notamment par les Égyptiens et les Romains, il servait à la construction de bâtiments, de routes et d'ouvrages hydrauliques grâce à sa **légèreté** et sa **facilité de taille** (à la scie).

Cette exploitation a non seulement **façonné le paysage architectural**, mais a également influencé les techniques de construction et les méthodes de conservation du patrimoine.

Certaines carrières de tuf sont encore en activité aujourd'hui pour la **restauration de bâtiments anciens ou des constructions traditionnelles**.

Le travertin est quant à lui largement exploité et utilisé pour les constructions modernes (terrasses, etc.)

FONCTIONS ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

L'analyse des tufières ou des travertins peut fournir des renseignements sur les paléoenvironnements et les dynamiques de fonctionnement de leur hydrosystème. En effet, les macrorestes de végétaux (feuilles de plantes vasculaires, bryophytes), le bois, le pollen, la macrofaune, les charbons et les vestiges archéologiques incrustés, constituent de véritables **témoins des environnements passés**.

D'autres fonctions sont également assurées par ces milieux :

- **les fonctions hydrologiques** permettent le ralentissement des écoulements, le soutien des débits en période d'étiage et la rétention des matières en suspension ;
- **les fonctions biogéochimiques** comprennent le maintien de la qualité des eaux par la bio-assimilation notamment des nitrates et des orthophosphates ou encore le phénomène de coprécipitation de ces polluants avec la calcite ;
- **les fonctions biologiques** se traduisent essentiellement par la fonction de support des cycles biologiques d'espèces pour certaines inféodées et par la connexion des habitats. En effet, les tufières hébergent des espèces animales caractéristiques des zones humides, parfois rares et remarquables. La diversité et la richesse spécifique sont entièrement dépendantes du contexte biogéographique et de la physionomie du site (exposition, pente, vitesse du courant, régimes hydrologiques, morphologies etc.) Ainsi, des amphibiens, des reptiles, des papillons, des libellules, des mammifères et autres taxons peuvent y être observés. Une flore spécifique s'y développe également, dominée par les bryophytes, les algues et les cyanobactéries.



▲ Empreinte foliaire « fossilisée » dans le tuf à Peyrus (Drôme). © IFREEMIS



EN QUELQUES MOTS...

Les tufières constituent un patrimoine géologique unique. Plusieurs facteurs interviennent, à diverses échelles, pour créer des concrétions de calcaire souvent spectaculaires.

Les tufières hébergent également une biodiversité spécifique, adaptée aux contraintes du milieu. Par les fonctions qu'elles assurent, elles répondent ainsi à des enjeux socio-économiques essentiels, notamment dans le contexte actuel de changement climatique.



◀ Ancienne carrière de tuf à Peyrour (Drôme). © IFREEMIS

Parmi la végétation des tufières, on peut observer *Palustriella commutata*, *Cratoneuron filicinum*, *Ptychostomum pseudotriquetrum*, *Brachythecium rivulare*, *Didymodon tophaeus*, *Eucladium verticillatum* mais aussi quelques plantes vasculaires, notamment les Cypéracées, qui peuvent croître dans les zones de dépôts moins actifs et/ou sur les zones où la pente est faible (replats) comme *Carex mairei*, *Schoenus nigricans* et *Equisetum telmateia*.

Les services écosystémiques des tufières

Les tufières rendent également un certain nombre de services écosystémiques, répondant à des intérêts propres à l'homme et ses activités socio-économiques :

- des **services d'approvisionnement** pour l'alimentation en eau potable, la production hydro-électrique, le soutien des activités agricoles ou encore l'extraction de matériaux ;
- des **services de régulation** climatique et hydrologique notamment pour la prévention des risques naturels ou le maintien de la qualité de l'eau ;
- des **services socio-culturels** associés à la valeur paysagère des tufières et leurs fonctions récréative et pédagogique.

CONNAÎTRE



▲ Salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*). © IFREEMIS



▲ Cordulégastré bidenté (*Cordulegaster bidentata*). © IFREEMIS



▲ *Cratoneuron filicinum*. © CBNMC



▲ Grande prêlé (*Equisetum telmateia*). © CBNMC

Les « sources pétrifiantes avec formation de travertins (Cratoneurion) »

sont un habitat d'intérêt communautaire prioritaire (code 7220) au titre de la directive européenne Habitats-Faune-Flore et peuvent être définies comme telles selon deux conditions réunies :

- la production manifeste de tuf,
- la présence de végétations indicatrices.

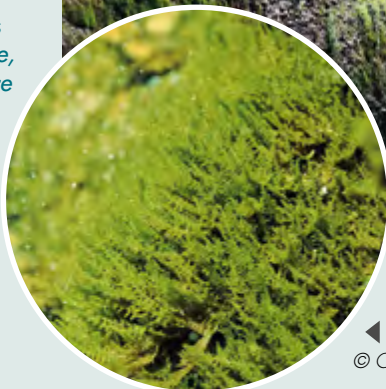
D'après Bensettiti et al., 2002 puis Videau et al., 2022 :

« Les plantes, surtout les algues et les bryophytes vivantes, par leurs structures fines et complexes, ainsi que leur activité photosynthétique, intensifient la fixation des cristaux de calcite entre eux et à la surface de leurs tissus. Elles participent de manière active à la formation des matériaux tufeux aussi appelés bryolithes »

[...] Il ne faut pas non plus perdre de vue la dimension temporelle de l'habitat, les grands systèmes, généralement dépendants des systèmes karstiques qui constituent leur alimentation en eau, sont généralement des systèmes anciens (parfois plusieurs milliers d'années) qui sont passés par des phases de fonctionnement différentes, de l'accumulation active, aux phases d'érosion, à l'abandon d'anciennes constructions en tuf qui peuvent rester une partie du paysage sous forme de tuf fossile. »



▲ Dépôt tufeux à *Eucladium verticillatum*. © CBNMC



◀ *Palustriella commutata*. © CBNMC

À noter

Les dynamiques de ces milieux sont influencées par un nombre important de paramètres : géologie locale (karst, molasse...), relief, régimes hydrologiques, types de végétations, exposition, pressions anthropiques, etc.

De ce fait, les tufières constituent des écosystèmes très variés dans leur fonctionnement et leur expression morphologique.

UN MILIEU VULNÉRABLE SUJET À DES DYSFONCTIONNEMENTS

Les tufières sont soumises à différentes **pressions anthropiques**, à l'échelle du bassin d'alimentation, de l'espace de bon fonctionnement ou plus directement sur les secteurs de dépôts actifs. Certaines d'entre elles sont aujourd'hui accentuées par les effets du changement climatique, comme les pressions de captage d'eau potable ou encore les prélèvements d'eau pour l'irrigation.

Les prélèvements d'eau (captages AEP, irrigation...)

Ils peuvent provoquer l'assèchement temporaire ou permanent de certains secteurs d'écoulement et modifier ainsi les dynamiques de dépôt de tuf. Par ailleurs, la diminution de la quantité d'eau disponible pour le milieu peut aussi modifier les cortèges faunistiques et floristiques du site, voire provoquer la disparition d'espèces inféodées. Une fermeture progressive du milieu par les strates arbustive et arborée peut s'opérer, réduisant alors la surface de l'habitat d'intérêt communautaire.

La modification des écoulements (chenalisation, canalisation, aménagements hydrauliques...)

Les modifications des écoulements dans les tufières par des aménagements (enrochement, canalisations etc.) ou le creusement de chenaux de dérivation, altèrent la dynamique naturelle de l'eau. Des écoulements diffus se retrouvant alors concentrés, peuvent amener à la fermeture du milieu par une végétation spontanée et provoquer des apports excessifs en matière organique défavorables au dépôt de tuf. L'ombrage provoqué par la strate arborée peut également limiter les facteurs biophysico-chimiques favorables au dépôt, bien qu'en période d'étiage il permette aussi de limiter le phénomène d'évaporation.

L'assèchement de certains secteurs peut aussi bien souvent résulter de ces diverses modifications des écoulements.



◀ Captage de la source de la Manche à Seillonnaz (Ain) - Depuis la source captée, cette zone s'assèche temporairement, ce qui provoque le développement d'une végétation herbacée et arborée. © IFREEMIS



▲ Dérivation d'un écoulement pour alimenter un bassin privé à Nurieux-Volognat (Ain). © IFREEMIS



▲ Canalisation et dérivation d'un écoulement à la source à Saint-Nicolas-de-Macherin (Isère). © IFREEMIS

► Creusement d'une mare et dérivation d'un écoulement à Saint-Georges-de-Commiers (Isère). © IFREEMIS



► Altération de la qualité de l'eau au pied d'une cascade de tuf en contexte urbain à Ceyzériat (Ain). © IFREEMIS

L'altération de la qualité physico-chimique de l'eau (fertilisants, rejets industriels etc.)

Les principales actions anthropiques altérant l'état physico-chimique des eaux incrustantes sont les pollutions (fertilisants, rejets industriels ou domestiques, sel de déneigement etc.), l'acidification des écoulements et des sols et enfin la surfréquentation. L'altération de la qualité de l'eau participe à l'appauvrissement de la biodiversité. Au-delà de certains seuils de concentrations en polluants, elle inhibe la formation de tuf. Les dérivés d'azote et de phosphore entraînent des phénomènes d'eutrophisation par la prolifération d'algues asphyxiant le milieu et concurrençant particulièrement les strates bryophytiques essentielles à la formation de tuf.

La casse et l'érosion des dépôts de tuf (piétinement, passage d'engins, curage...)

La dégradation des dépôts de tuf peut être liée à la fréquentation du public, au passage répété ou occasionnel d'engins motorisés ou encore, dans le cas de tufières à proximité de routes ou autres infrastructures, au curage volontaire des dépôts. Ces pressions sont inadaptées à la viabilité des cortèges faunistiques et floristiques des tufières, pour lesquelles certaines espèces peuvent être intolérantes. La casse des dépôts de tuf peut également entraîner une mise en suspension de particules dans l'eau, difficilement évacuées lorsque les débits sont faibles et défavorables à l'infiltration de la lumière dont dépendent les micro-organismes incrustants.

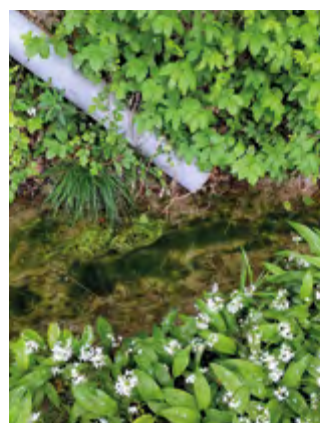
PAROLE D'ACTEUR

Christine CHOLAT, Maire de Saint-Martin-de-Clelles (Tufière de Darne)

« Nous souhaiterions que les générations futures puissent continuer d'observer une telle nature autrement que dans des ouvrages parlant d'une réalité révolue.

Quant à la question de la ressource en eau, je vois les élus comme des vigies. A l'heure actuelle, nous n'avons jamais rencontré de problème d'approvisionnement en eau potable et la tufière de Darne reste alimentée même en période d'étiage.

Cela étant dit, aussi grande soit notre volonté de protéger les milieux naturels, nous privilégierons toujours l'alimentation en eau potable des populations. »



▲ Arrivée d'un tuyau depuis la route dans un chenal d'eau stagnante dérivée d'un ruisseau tufeux à Serrières-de-Briord (Ain). © IFREEMIS

▲ Installation de certaines algues indiquant une eutrophisation du milieu à Larnas (Ardèche). © IFREEMIS



▲ Erosion des dépôts de tuf par la pratique du canyoning à Chaley (Ain). © IFREEMIS



▲ Creusement du tuf pour l'entretien d'une vanne à Saint-Lattier (Isère). © IFREEMIS

◀ Trace de passage de moto-cross dans une tufière à Villebois (Ain). © IFREEMIS

L'ÉTAT DE CONSERVATION DES TUFIÈRES

Le dernier relevé d'état de conservation des espèces et des habitats d'intérêt communautaire associés au *Cratoneurion* (UMS PatriNat, 2019) fait mention pour la période 2013-2018 en France d'un **état de conservation « inconnu » pour l'aire biogéographique alpine, d'un état « défavorable inadéquat » concernant le domaine continental et d'un état « défavorable à mauvais » pour les domaines atlantique et méditerranéen**. Cette étude de référence se réalise dans le cadre du rapportage Directive Habitats-Faune-Flore. Elle évalue l'état de conservation des tufières tous les six ans à l'échelle des régions biogéographiques, hors et en site Natura 2000.

Actuellement, la conservation de ce patrimoine et les stratégies de protection autour de celui-ci sont encore insuffisantes, de même que le travail de recensement de ces milieux révélé notamment par les inventaires sur le bassin RMC (voir carte ci-dessous). Pour autant, ces dernières années les tufières font l'objet d'un **regain d'intérêt** de la part des communautés scientifiques et naturalistes.

Des projets, réalisés par des gestionnaires d'espaces naturels **soucieux de protéger et restaurer cet habitat**, émergent progressivement à l'échelle locale. Les laboratoires universitaires, quant à eux, considèrent les tufières comme étant propices à des sujets de recherche porteurs.

En effet, la complexité de fonctionnement de ces objets leur accorde un rôle d'indicateur des changements environnementaux potentiellement associés à l'anthropisation et au dérèglement climatique.

L'état de conservation des tufières en Rhône-Alpes

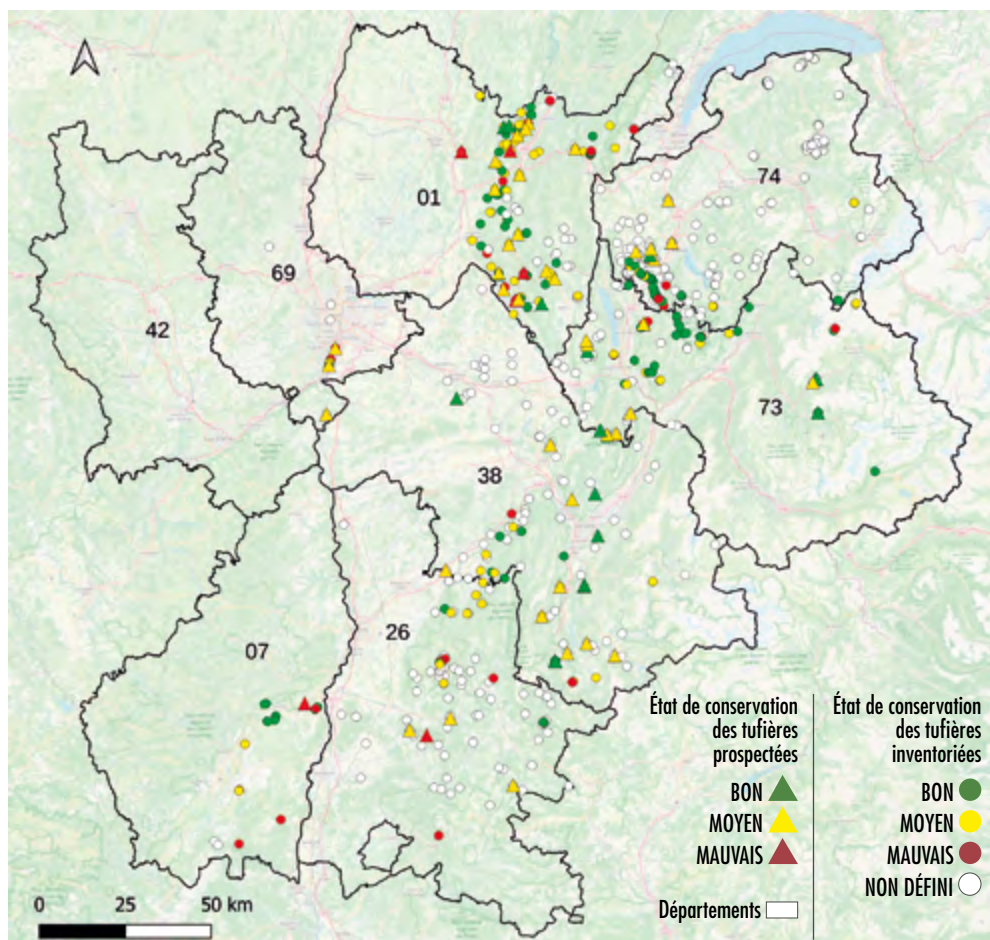
Il est soit transmis par les contributeurs, soit évalué par l'IFREEMIS lors des phases de prospections durant le projet Rezoh-tuf. Deux fiches sont remplies : l'une de terrain et l'autre d'évaluation du pré-état de conservation.

La documentation existante d'évaluation de l'habitat d'intérêt communautaire et adaptée aux compétences de l'IFREEMIS a servi d'appui. Les inventaires issus des divers appels à participation lancés dans le cadre du projet Rezoh-tuf, ont permis de faire remonter plus de 200 sites, pour 775 qui sont inventoriés à ce jour sur la zone d'étude.

À noter

Un certain recul doit être pris dans l'interprétation des données récoltées, transmises par des opérateurs issus de structures et de champs disciplinaires différents, pouvant avoir des niveaux de connaissance de l'habitat assez éloignés. Ce constat renforce l'importance du travail de prospection sur le terrain, qui a parfois permis de réévaluer la présence effective de l'habitat ou encore son état.

▼ Carte de localisation des tufières inventoriées et/ou prospectées dans le cadre du projet Rezoh-tuf sur la zone d'étude. © IFREEMIS



ÉTAT DE CONSERVATION	NON DÉFINI	BON	MOYEN	MAUVAIS	Total
Nombre de tufières recensées*	510	128	94	43	775
% du total	66	17	12	6	100

* Source des données : CBN Massif central, CEN Haute-Savoie, CEN Isère, CEN Rhône-Alpes, CEN Savoie, Club Essaonia, inventaires des zones humides, PNR du massif des Bauges, PNR de Chartreuse, PNR du Vercors, SMIRIL, Groupe Sympetrum, SMIAC, SR3A, UMS PatriNat, naturalistes indépendants.

OUTILS MÉTHODOLOGIQUES D'ÉVALUATION ET DE SUIVI



▲ Illustration représentant
une scène de travail
(études) sur une tufière.
© Nicolas de Faveri

Face à des variations naturelles ou des perturbations anthropiques, la complexité de fonctionnement des tufières entraîne des évolutions souvent nettes et rapides.



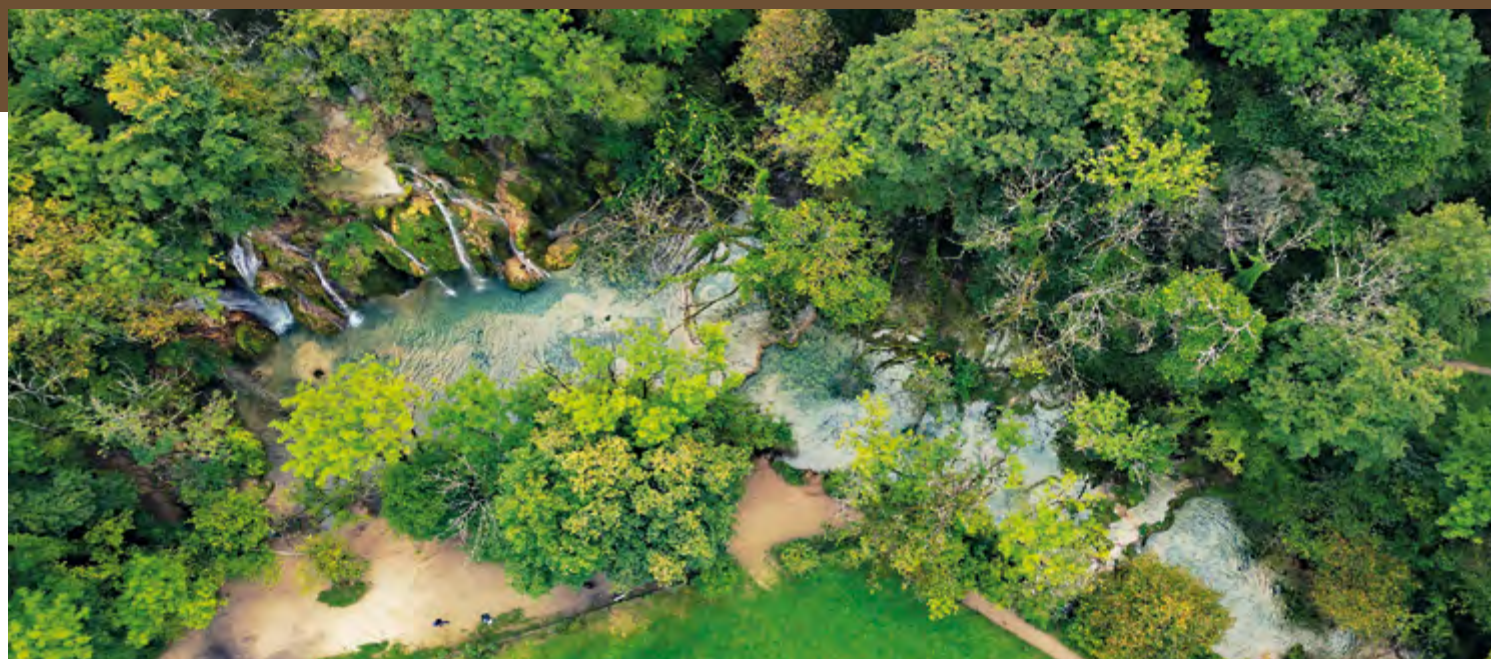
▲ Un tuf en détail.
© Nicolas de Faveri

Mettre en place une **surveillance** de ces milieux permet de comprendre leurs dynamiques spatiales et temporelles dans le but d'identifier leur vulnérabilité face à différentes sources de dysfonctionnements.

Porter à connaissance ces menaces potentielles ou avérées permet ainsi d'**accélérer les propositions d'actions de gestion et de restauration**, ou de prévenir les conséquences délétères liées à des projets d'aménagement du territoire à différentes échelles.

La pluridisciplinarité se trouve alors au cœur de l'enjeu de conservation. Elle implique la mise en place d'outils méthodologiques complémentaires, d'évaluation et de suivi de l'état des tufières.

Les pages qui suivent présentent plusieurs outils méthodologiques d'évaluation et de suivi des tufières.



▲ Photographie aérienne de la cascade des tufs aux Planches-près-Arbois (Jura). © Styx4D

Principe de la méthode :

La cartographie géomorphologique des tufières a pour objectif d'identifier les formes qui la composent, leur caractère actif ou fossile et l'ensemble des autres éléments qui peuvent impacter le fonctionnement, en particulier les aménagements d'origine humaine.

Dans le cadre du projet Rezoh-tuf, une nomenclature spécifique a été conçue. Le travail cartographique s'appuie sur des levés topographiques à très haute résolution réalisés à partir d'un capteur LiDAR embarqué sur un drone, qui est l'un des moyens les plus rapides d'obtenir une topographie très fine d'une tufière. A moindre résolution, sur la base de photographies aériennes et/ou des données issues de l'IGN, une étude géomorphologique reste réalisable avec toutefois une analyse, une cartographie et des interprétations moins précises.

Description du protocole :

La végétation dense présente autour des tufières rend complexe le travail cartographique. Le LiDAR sur drone, avec de très hautes densités d'acquisition (supérieures à 400 points/m²) permet de pallier cette difficulté, en réalisant des supports de carte à très haute résolution. S'il ne reste parfois que quelques points qui atteignent le sol, c'est suffisant pour distinguer le sol des autres formes. Les vols LiDAR doivent idéalement être réalisés à l'automne ou l'hiver, quand la végétation est la moins développée.

La cartographie est ensuite réalisée directement sur le terrain, dans un logiciel SIG (QGIS), avec une tablette connectée à un GPS de précision afin de pouvoir se situer précisément sur la carte. Elle est réalisée en suivant une nomenclature spécialement établie pour les tufières. En effet, l'identification seule des formes (gours, parcours cascade, résurgence, etc.) n'est pas suffisante pour caractériser un site et ses enjeux associés.

Elle doit également prendre en compte les aspects morphodynamiques, c'est-à-dire les parties actives ou inactives de la tufière, mais aussi des éléments biotiques, ainsi que les aménagements humains.

▲ Vue en coupe d'un nuage de points LiDAR de la tufière pilote de Darne à Saint-Martin-de-Clelles (Isère) : Bruit (points erronés) issu de la végétation dense à l'amont et limitant la visualisation du sol ; partie aval sans végétation permettant avec peu de traitement une modélisation 3D de la tufière. © Styx4D

CARTOGRAPHIE GÉOMORPHOLOGIQUE DES TUFIERES • STYX4D



Éléments d'interprétation :

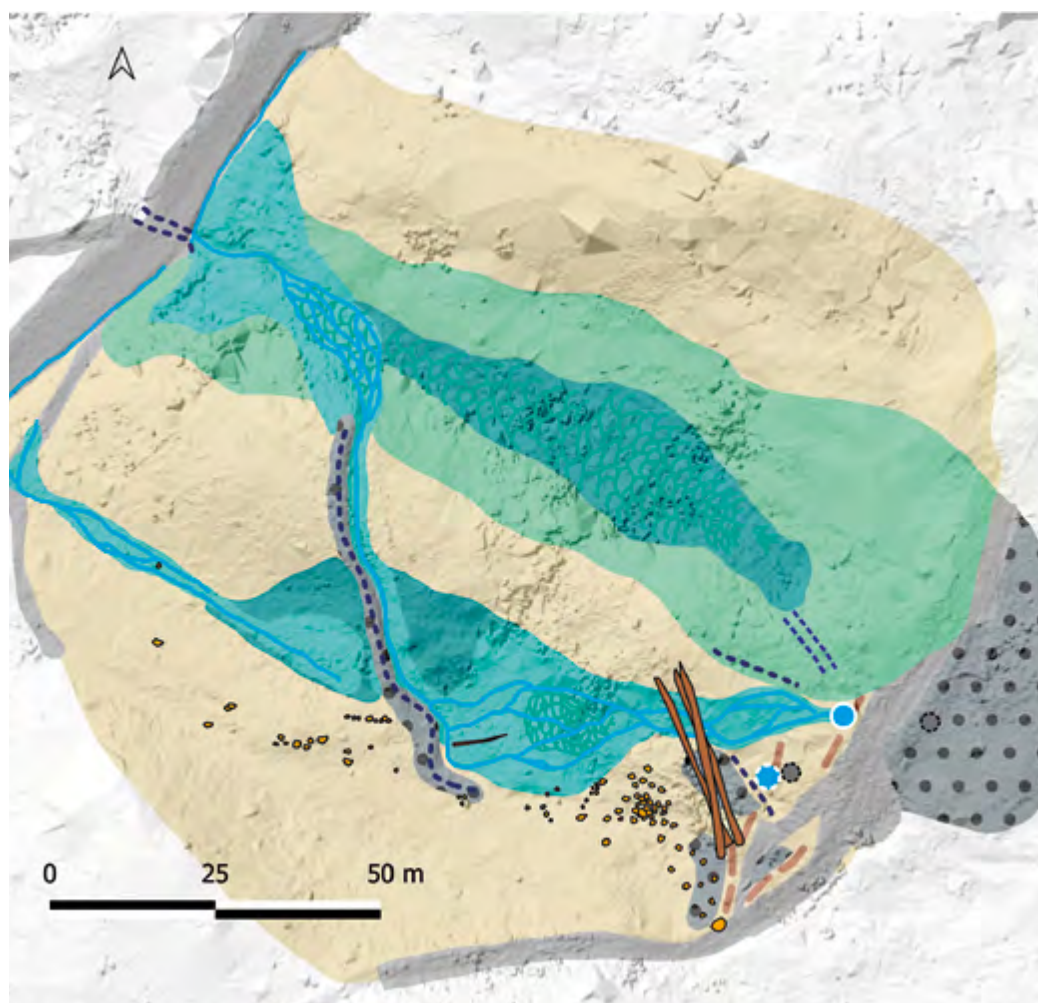
Le travail cartographique réalisé sur trois tufières étudiées dans le cadre du projet Rezoh-tuf met en évidence deux principaux éléments d'interprétation :

1 L'action de l'homme est le principal facteur d'évolution des tufières à l'échelle historique.

Les aménagements peuvent être très récents, comme beaucoup plus anciens (siècles ?). La cartographie géomorphologique doit alors s'évertuer à caractériser en premier lieu les aménagements hydrauliques. Ceux-ci peuvent avoir été conçus pour dériver les eaux (irrigation, alimentation en eau potable) ou pour exploiter les forces hydrauliques. Ces aménagements ont parfois totalement modifié la structure de la tufière en détournant son tracé de plusieurs dizaines, voire centaines de mètres.

2 Les parties fossiles représentent des surfaces beaucoup plus importantes que les parties actives.

Au-delà de leurs aspects géopatrimoniaux, il sera peut-être nécessaire de mener des études afin d'évaluer leur intérêt fonctionnel, notamment en termes d'habitats. Les parties inactives des tufières modifient profondément la vision que l'on porte à ces milieux en les rendant plus complexes et en apportant des connaissances nouvelles sur leurs dynamiques géomorphologiques. Elles interrogent également sur leur prise en compte dans les périmètres de gestion et de protection.



	Tufière inactive		Réseau hydrographique		Buse
	Tufière active		Exsurgence active		Murs-talus
	Gours		Exsurgence temporaire		Déblais
	Blocs		Ouvrage hydraulique		Piste
	Bois mort		Regard		Versant
					Zone incertaine

▲ Cartographie géomorphologique de la tufière pilote de la Touvière à Jarsy (Savoie).
© Styx4D

Limites de la méthode :

- La cartographie géomorphologique, ainsi que son support topographique à haute résolution ont pour ambition d'être des documents de base de la gestion et la préservation des tufières. Leur utilité va de la connaissance fondamentale à la conception des aménagements, en passant par le suivi biophysique ou encore par la planification de travaux de restauration. Afin d'atteindre ces ambitions, il est donc nécessaire d'éprouver des méthodes sur le temps long et dans un panel le plus large possible de tufières.
- A ce jour, la nomenclature géomorphologique n'est pas encore définitive. Elle doit être éprouvée et validée scientifiquement avant d'être publiée et répliquée.

Principe de la méthode :

Les méthodes hydrochimiques permettent de quantifier la dynamique de dépôt des tufs dans son contexte spatio-temporel.

Les dépôts se forment à partir des carbonates contenus dans l'eau et se mettent en place très rapidement après l'exutoire. Les encroûtements fonctionnent souvent toute l'année avec un renforcement de l'intensité de dépôt en période chaude et lumineuse, sous nos latitudes, en été. L'approche par l'hydrochimie souligne également les effets de site avec l'importance de secteurs de chute d'eau. On peut coupler cette approche avec la mise en place de supports (tubes, dalles, etc.) témoins de leur encroûtement. Elles permettent de calculer des rythmes théoriques de dépôt, par l'épaisseur déposée.

► Dalle de travertin.
© IFREEMIS



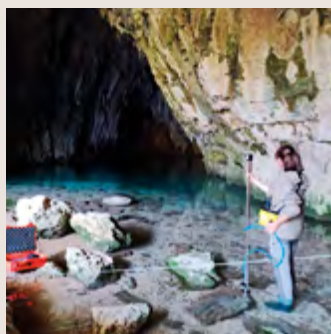
▼ Schéma de la méthode de suivi hydrochimique.
© IFREEMIS

▼ Mesures physico-chimiques de l'eau à l'aide de sondes. © IFREEMIS



► Mesure du débit à l'aide d'un courantomètre électromagnétique.
© IFREEMIS

▼ Analyse chimique des échantillons d'eau par titrages.
© IFREEMIS



▲ Mesures physico-chimiques sur la tufière pilote de Darne à Saint-Martin-de-Clelles (Isère). © IFREEMIS

Description du protocole :

- 1 Mesure des paramètres physico-chimiques sur le terrain :** avec des sondes mesurant la température de l'eau et de l'atmosphère, le pH, la conductivité à 25°C et l'oxygène dissous.
- 2 Mesure des débits :** avec un courantomètre électromagnétique et analyse des profils d'écoulement.
- 3 Analyse chimique de l'eau** (dans les 24h qui suivent les prélèvements) : par méthode volumétrique soit la réalisation de titrages avec des acides pour déterminer la composition minérale de l'eau et estimer le dépôt de tuf entre l'amont et l'aval de la tufière.

- Échantillon d'eau pour mesurer le taux de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ dissous
- Paramètres physico-chimiques (T, CE, pH, O_2) pour analyser leurs influences dans le fonctionnement du système tufeux
- Mesure du débit pour définir le taux de CaCO_3 déposé
- Repère témoin (dalle et barre) de la dynamique de dépôt de tuf

AVAL

DU DÉPÔT DE TUF PAR L'ÉTUDE DES DYNAMIQUES HYDROCHIMIQUES • IFREEMIS



Éléments d'interprétation :

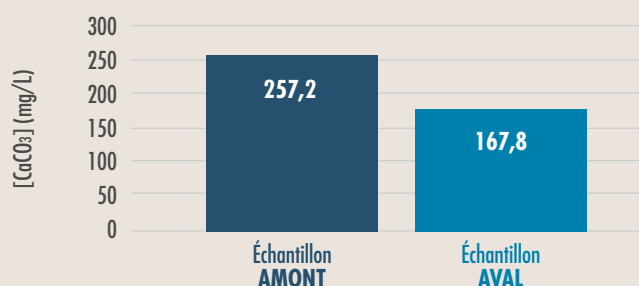
- 1 La température de l'eau ou encore le relief affectent les concentrations en gaz dissous dans l'eau (O_2 et CO_2). Un écoulement turbulent qui se réchauffe est soumis à un phénomène de dégazage provoquant un déséquilibre chimique favorable au dépôt de tuf. L'activité photosynthétique des mousses, plantes etc. participe à la réduction du CO_2 dans l'eau en journée et le phénomène de respiration (plantes, micro-organismes) à l'inverse, participe à la libération du CO_2 dans l'eau (cf. Les processus biologiques).
- 2 Le pH, mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. Le dégazage de CO_2 (dissous dans l'eau sous forme d'acide carbonique) entraîne une diminution de l'acidité de l'eau se traduisant par l'augmentation du pH. Il n'est donc pas rare de trouver des valeurs de pH à l'amont des tufières inférieures aux valeurs de pH à l'aval.
- 3 La conductivité électrique est une mesure de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. Elle est positivement corrélée à la minéralisation de l'eau. Le dépôt de tuf entraîne la diminution de la concentration en ions dissous dans l'eau (calcium etc.) Ceux-ci sont précipités sous forme solide et la conductivité diminue.

L'analyse de repères témoins :

L'usage complémentaire de repères témoins (dalles, tubes) présente un avantage visuel et pédagogique pour témoigner du dépôt de tuf sur un site. Les mesures du dépôt par pesée des repères ou mesures permettent d'observer la dynamique de dépôt même avec une faible fréquence de suivi (exemple d'un pas de temps annuel ci-contre).

Limites de la méthode :

- La méthode hydrochimique est assez chronophage (une journée par passage), implique du matériel coûteux et nécessite une connaissance de base en analyse chimique des eaux naturelles.
- L'efficacité de la méthode des repères témoins s'avère fortement dépendante des régimes hydrologiques (possibilité de non-immersion des repères en période d'étiage) et les résultats sont fortement dépendants de la précision des outils de mesure utilisés.

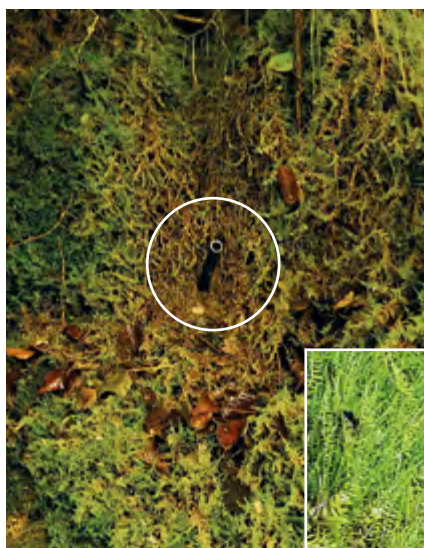
Exemple de dureté calcique sur une tufière exprimée en mg/L de $CaCO_3$ 

AMONT

Sur cet exemple **34,7%** de la charge minérale dissoute initiale (à la source) est déposée sous forme précipitée (solide) de calcite ($CaCO_3$)

AVAL

© IFREEMIS



▲ ► Repère témoin sur la tufière de Révaou à Vallon-Pont-d'Arc (Ardèche) le 25/07/2023 (en haut) et le 25/06/2024 (ci-contre).
© IFREEMIS



Principe de la méthode :

Par leur forte spécialisation écologique et leur sensibilité, les bryophytes sont parmi les meilleurs indicateurs de l'état de conservation des tufières.

En effet, la dynamique évolutive du recouvrement des espèces tuficoles est étroitement corrélée à la variation de deux facteurs clés que sont la quantité et la qualité des eaux.

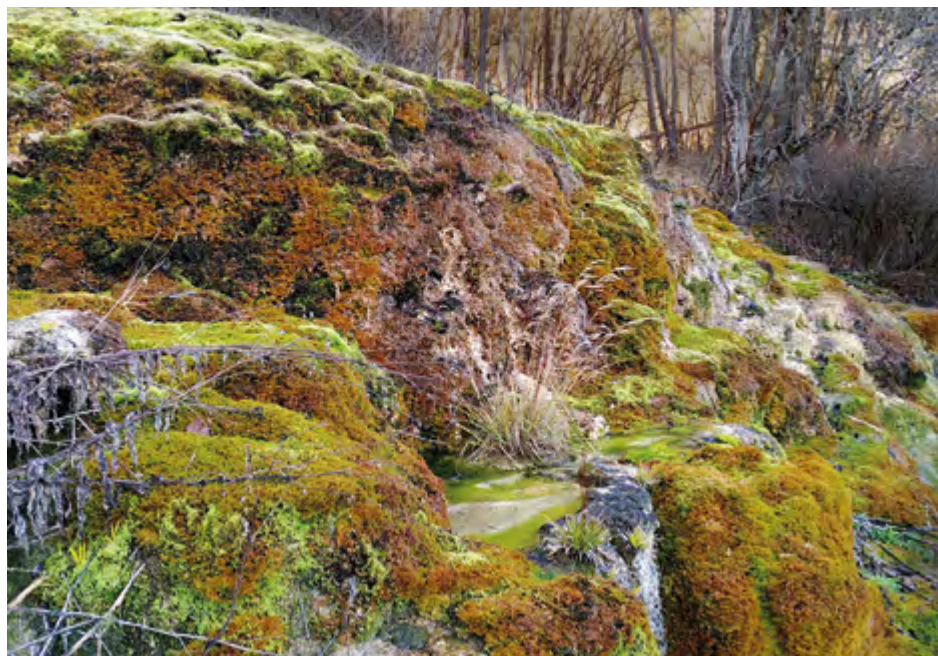
Dès lors, l'élaboration d'un protocole de suivi des communautés bryophytiques tuficoles se révèle être une option pertinente pour mieux comprendre le fonctionnement des sources pétrifiantes, d'en évaluer l'état de conservation, de suivre leurs évolutions et de réagir rapidement en cas de dégradations environnementales constatées.

Description du protocole :

Dans un site donné, deux ou trois transects fixes sont préalablement installés dans des zones homogènes et représentatives du milieu et, le cas échéant, dans lesquelles des menaces sur l'alimentation en eau sont pressenties. Lors du suivi, une fois le transect matérialisé à l'aide d'un décimètre qui relie les repères fixes des deux extrémités, un quadrat de 30 x 30 cm subdivisé en 9 sous-quadrats de 10 x 10 cm est plaqué sur le substrat, à intervalles réguliers.

À l'échelle du quadrat, l'observateur commence par indiquer le recouvrement des strates (arbustive, herbacée, muscinale, algale). Une photo vue du dessus est prise pour chaque quadrat. L'observateur recense à l'échelle des sous-quadrats toutes les espèces de bryophytes et leur attribue un recouvrement en %.

L'installation d'une sonde microclimatique permet de suivre les évolutions de la température et de l'humidité relative du site.



▲ Couverture bryophytique sur la tufière de Darne à Saint-Martin-de-Clelles (Isère). © IFREEMIS



▲ Quadrat placé sur le transect d'échantillonnage des bryophytes. © IFREEMIS

◀ Recensement des espèces de bryophytes au sein des sous-quadrats. © IFREEMIS



▲ Sonde microclimatique. © CBN alpin

DE L'ÉTAT DE CONSERVATION DES TUFIERES • CBN DU MASSIF CENTRAL ET ALPIN



Éléments d'interprétation :

- 1 La pérennité des formations tuficoles dépend étroitement de la qualité (caractéristiques physico-chimiques, absence de polluants) et de la quantité de l'eau des exurgences : l'assèchement (suivi par une colonisation ligneuse) et l'eutrophisation constituent les deux principaux facteurs d'influence négative sur ce milieu.
- 2 Les données récoltées durant les deux premières années du suivi des sites pilotes du projet Rezoh-tuf, n'offrent pas un recul suffisant permettant de tirer des conclusions sur d'éventuelles évolutions du milieu. En revanche, la liste d'espèces recensées donne des pistes pour l'évaluation de l'état de conservation du milieu à travers la présence/absence d'espèces indicatrices d'eutrophisation, d'assèchement ou d'espèces caractéristiques des milieux tufeux.
- 3 Sur le long terme, les résultats acquis dans le cadre du suivi seront en mesure de nous fournir des informations précieuses sur l'évolution des facteurs environnementaux à l'œuvre dans chaque site.
- 4 Les valeurs indicatrices de trophie et d'humidité des bryophytes associées aux évolutions de fréquence et de recouvrement des espèces, nous permettent de suivre l'état de conservation du milieu. Par ailleurs, l'évolution de recouvrement de la strate arbustive nous offre un bon aperçu de la dynamique ligneuse à l'œuvre.

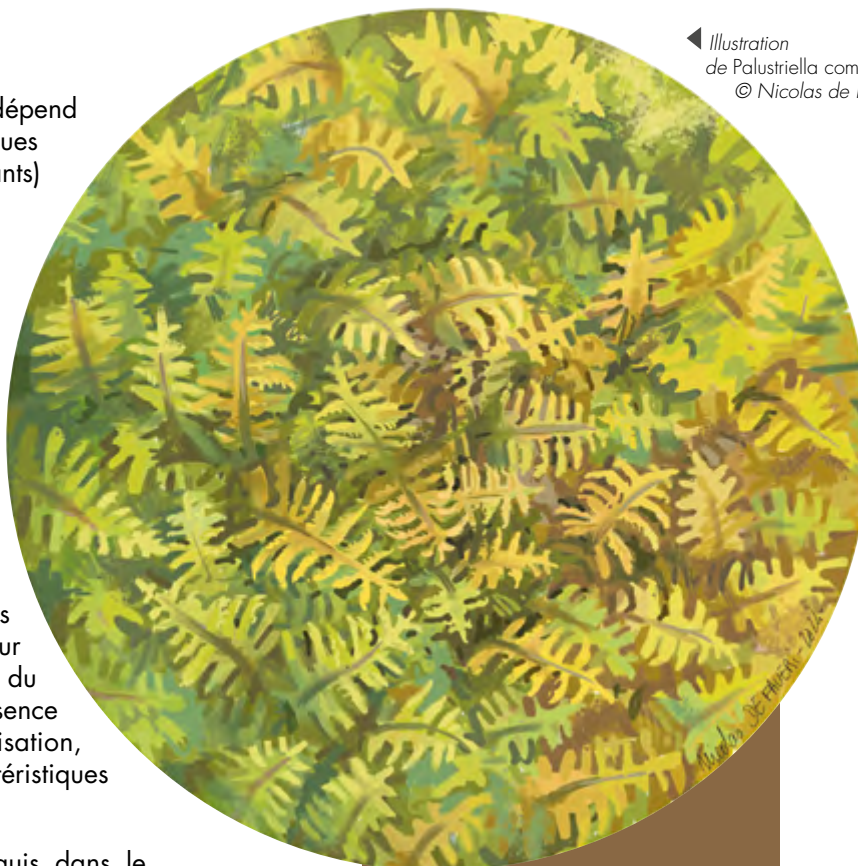


Illustration
de *Palustriella commutata*.
© Nicolas de Faveri

Quelle fréquence de suivi ?

Un site dégradé, en cours de dégradation ou pour lequel des menaces sont pressenties fera l'objet d'un suivi annuel tandis qu'une fréquence bisannuelle sera suffisante pour un site dans un environnement préservé.

Ce protocole est réalisable en une journée durant la période mai-juin (favorable en termes de débit d'eau, fréquentation touristique et développement des communautés bryophytiques).

Limites de la méthode :

- Les données collectées ne permettent pas un suivi surfacique des communautés bryophytiques présentes sur le site, aucune cartographie des habitats n'est réalisée.
- Elles ne permettent pas non plus un suivi à l'échelle des sous-quadrats dans la mesure où les transects matérialisés peuvent être décalés de quelques centimètres d'une année sur l'autre (contrainte de la microtopographie). Les données sont à analyser à l'échelle du transect.

À noter

Les indicateurs RhoMeO n'incluent pas dans leurs critères d'évaluation les formations bryophytiques, majoritairement présentes dans les systèmes tufeux. Ils ne peuvent donc pas être utilisés dans le contexte d'évaluation des tufières.

Principe de la méthode :

Les libellules constituent d'excellents indicateurs de la qualité des habitats aquatiques et des zones humides.

Pour l'étude des tufières, le suivi du Cordulégastre bidenté (*Cordulegaster bidentata*), semble particulièrement adapté. En effet, cette espèce sténoèce (spécialiste), dont les sources incrustantes (tufières, marais tufeux) sont un des habitats, est particulièrement sensible aux modifications de son milieu de vie (pollution, captage, piétinement, etc.)

Le Cordulégastre bidenté est d'ailleurs décrit comme l'espèce dont la larve est la plus sensible à la charge organique des cours d'eau. Les milieux fréquentés par les larves, au courant faible, sont vulnérables.

Description du protocole* :

Le recensement des imagos, larves et exuvies, se fait en suivant un transect.

L'observation des imagos durant la période de vol (mai-septembre) est efficace pour contrôler rapidement la présence des libellules sur le site.

Les larves de taille supérieure à 15 millimètres et les exuvies de Cordulégastre étant facilement identifiables, leur recherche est pertinente.

Les exuvies peuvent disparaître rapidement et sont assez peu visibles.

Toutefois, **seule l'observation des exuvies ou des émergences sur un site permet de conclure à l'autochtonie certaine de l'espèce.** A défaut, la découverte de grandes larves est un indice pertinent.

La recherche des larves se fait en tamisant le sédiment à l'aide d'un tamis de cuisine ou de piscine. Afin de ne pas perturber inutilement les milieux, nous recommandons **d'arrêter l'échantillonnage dès qu'une larve de taille supérieure à 15 millimètres est trouvée**, en privilégiant la recherche en hiver avant les émergences.

*La méthode initiée dès les années 1990 en Allemagne a été déclinée en France d'abord dans le Limousin (Guerbaa & Lolive, 2007).



▲ Imago de Cordulégastre bidenté.
© Sympetrum

◀ Larve de Cordulégastre bidenté capturée au tamis à Virieu-le-Grand (Ain).
© IFREEMIS



▲ Illustration d'une femelle de Cordulégastre bidenté en ponte.
© Nicolas de Faveri

L'écologie du Cordulégastre bidenté

Cette libellule noire et jaune, peut être confondue avec une espèce proche, le Cordulégastre annelé (*Cordulegaster boltonii*), sans connaissance de ses caractéristiques morphologiques. Elle s'observe sur les suintements, les sources et ruissellets de têtes de bassins, riches en sédiments.

La larve se développe lentement (2 à 6 ans) dans l'eau fraîche à froide dans des milieux généralement escarpés sans poisson.

Elle s'éloigne souvent de l'eau (jusqu'à 15 mètres) au moment de l'émergence entre avril et fin juillet. L'imago retourne sur les sites de reproduction après une période de maturation sexuelle d'environ 3 semaines.

De fait, la période d'observation des imagos la plus favorable est juin sur l'étage collinéen et de juillet à août sur l'étage montagnard.

LE SUIVI DES LIBELLULES DES TUFIERES • GROUPE SYMPETRUM



Éléments d'interprétation :

Exemple de l'étude de *C. bidentata* sur l'ENS de Combe Laval dans la Drôme (2023) :

L'échantillonnage pour le recensement des imago, larves et exuvies, s'est fait le long de deux transects sur chaque tufière, d'au moins 150 mètres.

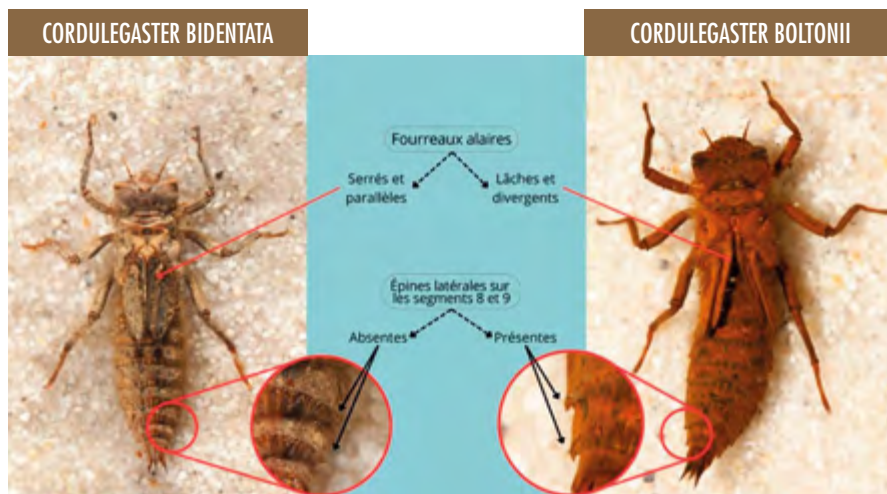
4 passages entre mai et août ont été réalisés en commençant par la recherche des larves.

- 1 *C. bidentata* est présent et se reproduit probablement dans les deux tufières, en témoigne la présence de grandes larves.
- 2 Il existe un réseau de tufières environnantes pouvant favoriser la présence de *C. bidentata* sur au moins une des tufières.
- 3 La présence d'un captage à la source de la tufière de Frochet pour alimenter une centrale hydroélectrique est une source de dysfonctionnement du milieu et peut affecter les cortèges d'odonates.

Exemple du suivi de *C. bidentata* dans la RNR de la Galerie du Pont des Pierres dans l'Ain (2019-2023) :

Au cours de 3 sessions annuelles visant à suivre les sites larvaires (seulement 2 en 2022), 786 larves de *Cordulegaster spp.* dont 126 larves de *C. bidentata* (9/9 stations) ont été inventoriées.

- 4 La conservation des sites larvaires dans un état fonctionnel favorable à l'espèce dépend essentiellement de l'hydrologie et du maintien des écoulements.
- 5 L'absence de menaces anthropiques améliore le contexte de conservation des sites.



▲ Différences morphologiques entre les larves de *C. bidentata* et *C. boltonii* (crédit Loup Noally). © Christophe Brochard

Exemple de résultats sur deux tufières étudiées dans le Vercors en 2023

TUFIERE	IMAGO	LARVE	TOTAL
Frochet	3	3	6
Tahiti	2	9	11
Total général	5	12	17

▲ Tableau récapitulatif des données de *Cordulegaster bidentata* sur deux tufières du Vercors (2023). © Sympetrum



◀ Tufière de Frochet présentant des microhabitats a priori favorables au *Cordulegaster bidentata*. © Sympetrum

Limites de la méthode :

• La recherche des larves est efficace mais assez impactante pour l'habitat, elle peut être effectuée hors saison et cesser dès lors que l'espèce est identifiée. Par la suite, pour assurer le suivi d'un site, la recherche des exuvies est moins impactante. Le renouvellement des prospections de larves peut se faire, par exemple, tous les 5 ans.

À noter

L'indicateur RhoMeO « Intégrité du peuplement d'odonates » (I10) est peu adapté aux tufières. Le cortège d'odonates des écoulements tufeux est relativement restreint et son analyse au travers de l'indicateur I10 ne peut pas permettre la définition de l'état de conservation d'une tufière.



DÉFINITION DE L'ESPACE DE BON FONCTIONNEMENT DES TUFIERES

Principe de la méthode :

Définir l'espace de bon fonctionnement d'une tufière (EBF), implique, d'une part, de la considérer à une échelle multiscalaire en intégrant les éléments de son environnement capables d'interagir avec le milieu et, d'autre part, d'y impliquer l'ensemble des acteurs du territoire dans une démarche de dialogue territoriale. La définition de cet espace permet alors d'envisager un champ d'actions cohérent pour une préservation efficace et durable du site. Cette démarche intègre et assure la préservation des trois fonctions majeures que l'on attache particulièrement aux zones humides : biogéochimiques, biologiques et hydrologiques.

L'espace de bon fonctionnement est caractérisé pour les zones humides comme pour les cours d'eau.

Les contextes des tufières, que l'on considère comme des zones humides particulières, peuvent fortement varier et il devient pertinent d'adapter les protocoles au cas par cas. Par exemple, si une tufière se développe dans le lit d'un cours d'eau, son EBF devra potentiellement tenir compte de la fonction hydraulique, laquelle n'est associée généralement qu'aux cours d'eau.

La définition de l'EBF d'une tufière peut ainsi correspondre à la mise en commun des informations suivantes :

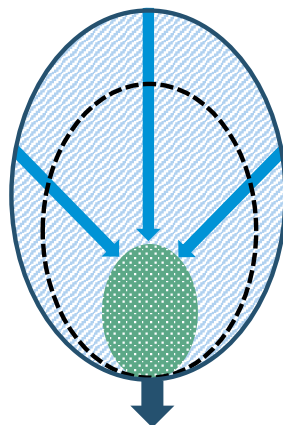
- les limites de son bassin d'alimentation réel déterminé par traçages (à défaut, les limites de son bassin versant topographique) ;
- l'occupation du sol ;
- les éléments principaux de son fonctionnement hydrologique / hydraulique ;
- les habitats environnants et enjeux biologiques associés ;
- les activités humaines et les usages (pressions).

Limites de la méthode :

• La définition de l'EBF est complexe et nécessite d'argumenter les choix de méthodologies employées, au regard du contexte et des informations disponibles (inventaires, hydrologie, géologie etc.).

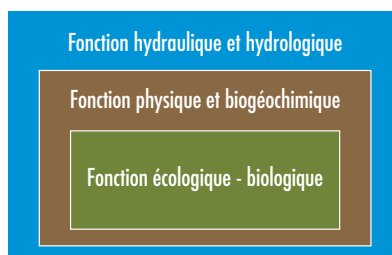
• De manière générale et plus particulièrement dans un contexte karstique, la prise en compte du bassin d'alimentation réel de la tufière est essentielle pour la définition d'un EBF pertinent. En revanche, cette surface n'est pas toujours connue faute de campagnes de traçages et l'utilisation des limites topographiques est alors imposée.

▼ Modèle théorique des différentes limites surfaciques de bassins. © IFREEMIS



- Limite géologique du bassin d'alimentation réel de la tufière (couches imperméables souterraines)
- Limite topographique du bassin versant de la tufière (ligne de crête)
- Surface du bassin d'alimentation réel de la tufière
- Surface de la tufière
- ➡ Entrée d'eau
- ➡ Sortie d'eau

► Schéma des éléments constitutifs de l'EBF.
© AE RMC



► Exemple de schéma de synthèse EBF.
© CEN RA

Caractéristiques principales

- EBF
- Zone d'étude
- Zones humides
- Zones urbanisées
- Limites du bassin versant
- Cours d'eau principaux
- Cours d'eau secondaires
- Sens du courant
- Source
- Ruissellement diffus
- Flux entrant
- Flux sortant
- Échanges biologiques
- Corridor biologique

▲ Prospection de la cascade de Clairefontaine à Virieu-le-Grand (Ain). © IFREEMIS

AGIR POUR LA CONSERVATION DES TUFIERÈRES

UN TRAVAIL PRÉALABLE DE PROSPECTION ET DE RECENSEMENT

Le recensement des tufières apparaît comme un préalable indispensable à toute volonté d'initier des projets de gestion de ces milieux. En effet, le nombre grandissant de tufières recensées sur les territoires justifie toujours plus l'importance **de les intégrer davantage dans les projets de gestion des espaces naturels**. La découverte de nouveaux sites va de pair avec l'amélioration de nos connaissances, tant sur le plan scientifique que sur notre capacité à gérer efficacement ces milieux remarquables.

Cette démarche ne peut se faire sans mettre à contribution l'ensemble des services des eaux et de l'environnement, les gestionnaires d'espaces naturels, les associations d'activités sportives de pleine nature, les agriculteurs et autres usagers évoluant au plus proche de ces milieux. Cette mobilisation implique de convenir de protocoles, de **faciliter la remontée et le partage d'informations de terrain** et de rendre ces dernières accessibles. A travers cette démarche, c'est bien l'objectif d'une gestion concertée qui est visée, sans laquelle les risques d'aboutir à des conflits d'usage ou le report de pressions sur d'autres milieux sont prévisibles.

Des descriptions et évaluations facilitées

Dès lors qu'une tufière est localisée sur le territoire, il est important de pouvoir **estimer rapidement son état de conservation** à l'aide d'outils de terrain utilisables par tout acteur, même non spécialiste des tufières.

Ce premier diagnostic peut se faire suivant différentes étapes réalisables à n'importe quelle période de l'année :

- **Ex situ** en contactant les acteurs locaux et en mobilisant les différentes données géographiques, administratives et environnementales disponibles via des centres de ressources informatiques (cf. « Où s'informer » ci-contre) ;
- **In situ** à l'aide d'une fiche descriptive des tufières permettant d'apporter de premiers éléments de compréhension de leurs fonctionnements et fonctionnalités (caractéristiques géomorphologiques, hydrologiques, biologiques, etc.)



OÙ S'INFORMER ?

- Bases de données sur l'eau : SANDRE et NAIADES (Eau France)
- Informations géographiques (eau, géologie, espaces protégés, etc.) : Visualiseur Infoterre (BRGM) et Géoportail (IGN)
- Données sur la qualité de l'eau des captages d'eau potable : Carte interactive Infotactures (ARS)
- Données quantitatives sur les prélèvements d'eau (irrigation, AEP) : BNPE (Eau France)
- Données sur les espèces remarquables et habitats : INPN (MNHN)
- Données sur les géosites inventoriés : INPG (MNHN, DREAL)

PAROLE D'ACTEUR

Benoît Pascault, CEN Rhône-Alpes

« La compilation des données issues notamment des différents inventaires départementaux des zones humides a mis en évidence une connaissance partielle de la répartition des tufières et a également démontré le besoin que des compléments soient apportés. Au-delà des habituelles institutions compétentes en la matière, il apparaît qu'une mobilisation plus large et notamment des pratiquants de sports de nature ; tels que la spéléologie, la descente en eaux vive en kayak, rafting ou hydrospeed, tout comme le canyonisme ; pourraient être proposées pour participer à ces démarches, sous le prisme des sciences participatives. »

▼ Réunion de terrain entre l'IFREEMIS, le CEN Savoie, le PNR du Massif des Bauges et le propriétaire du site pour discuter de l'intégration de la tufière de la Touvière (Jarsy) au projet Rezoh-tuf. © IFREEMIS

Concilier les usages et la préservation du milieu par la concertation

A l'échelle d'un territoire, la construction d'une stratégie d'intervention permet **d'identifier des sites à enjeux prioritaires et d'orienter des actions de gestion ou de restauration**, dans le but d'assurer la conservation des milieux considérés.

Cet outil n'engage aucun acteur dans la réalisation des actions mais propose une ligne directrice pouvant être suivie ou remobilisée par les gestionnaires d'espaces naturels ou propriétaires souhaitant s'impliquer dans des projets de conservation. Pour exemple, Le PNR du Massif des Bauges s'est intéressé particulièrement aux tufières de son territoire à travers le plan d'actions « Tufières du massif des Bauges » en 2016.



Suivant cette dynamique, le projet Rezoh-tuf a permis d'initier la construction du plan d'actions « Marathon du tuf » pour les tufières comprises dans l'espace commun au bassin du Rhône et à la Région Auvergne-Rhône-Alpes.

Le projet a également permis d'impliquer le PNR du Vercors dans l'amélioration des connaissances sur les tufières de son territoire par la rédaction en 2023 d'un plan d'actions identifiant 25 tufières à enjeux, après un premier diagnostic de terrain.

A l'échelle d'un site particulier, dans une vision de gestion à moyen et long terme, un **plan de gestion** peut être élaboré¹. Ce document est **un outil de travail permettant d'atteindre des objectifs concrets en matière de préservation**. Il est co-construit avec les usagers dans une démarche de concertation² et s'inscrit dans une démarche participative et volontaire impliquant des partenariats entre les propriétaires, les usagers et l'organisme gestionnaire.

PAROLE D'ACTEUR

Mathilde Pantalacci, PNR du Massif des Bauges

« La prise de conscience de l'enjeu des tufières a d'abord été liée à la gestion de captages sur deux sources majeures d'approvisionnement en eau potable sur le massif. On a pris la mesure de l'importance des édifices tufeux jusqu'ici peu connus et il était nécessaire de bien les diagnostiquer et travailler sur la compatibilité entre les besoins en eau potable et l'alimentation de la tufière pour améliorer leur état de conservation. De ces expériences est née la nécessité d'inventorier les principaux édifices tufeux du massif et de prioriser nos actions de gestion. La réalisation du plan d'actions « tufières » s'est faite en partenariat avec les Conservatoires d'espaces naturels de Savoie et Haute-Savoie, et en concertation avec les acteurs locaux. »

« [Le plan d'action] est un document de référence pour porter à connaissance les sites à enjeux et travailler avec d'éventuels gestionnaires ou porteurs de projet. Cette vision territoriale permet d'avoir une feuille de route que l'on décline annuellement pour doter les sites prioritaires de plan de gestion. 3 plans de gestion ont été réalisés depuis. Ces données sont systématiquement transmises et portées à connaissance des démarches de planification territoriale, ou encore à l'échelle fonctionnelle des plans d'actions stratégiques en faveur des zones humides, conduits par les structures GEMAPI. Une des tufières a fait l'objet d'un aménagement raisonné pour en faire une « ambassadrice » des tufières du massif et une vitrine d'information sur cet enjeu. »

1/ Guide d'élaboration des plans de gestion des espaces naturels - Outils de gestion et de planification (CT n°88, OFB)

2/ Cahier technique - Une démarche de concertation pour la gestion du patrimoine naturel (CEN Rhône-Alpes)

RESTAURER LES SYSTÈMES TUFEUX

Les prélèvements d'eau, les modifications physiques et chimiques des écoulements ainsi que l'érosion des dépôts sont autant de sources d'altération de l'état de conservation des tufières et de leurs fonctionnalités. Par leur complexité de fonctionnement et selon le degré atteint, la dégradation peut soit s'avérer irréversible, soit être atténuée voire supprimée par des aménagements et des mesures de restauration.

Sont présentés ci-après quelques exemples de projets de gestion et de restauration des tufières, à commencer par un célèbre exemple américain, suivi de plusieurs cas français d'actualité :

FOSSIL CREEK (ARIZONA, ETATS-UNIS)

Mise hors service de la centrale hydro-électrique sur le cours d'eau.

• Enjeu(x) et problématique(s)

De 1909 à 2005, un barrage de 8 mètres de haut détournait la quasi-totalité du débit initial du cours de Fossil Creek en dehors de son lit pour la production hydroélectrique. Cet aménagement avait considérablement impacté le processus de dépôt de tuf.

• Solution(s) apportée(s)

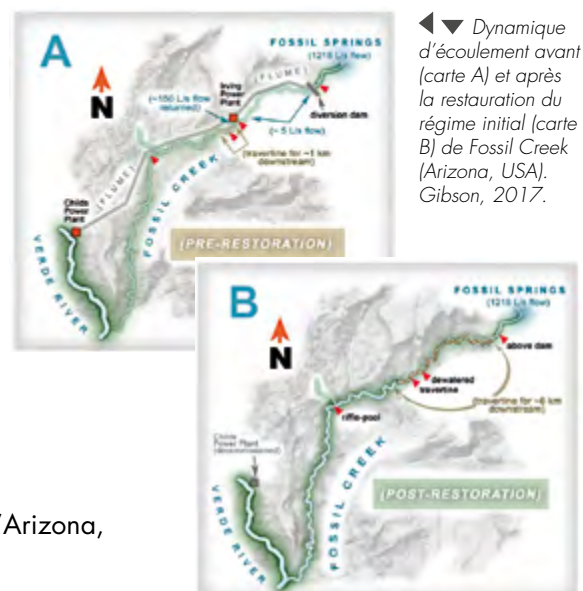
Démantèlement du barrage en 2008.

• Résultats attendus ou observés

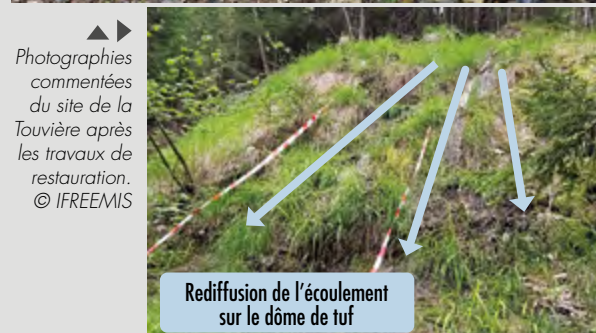
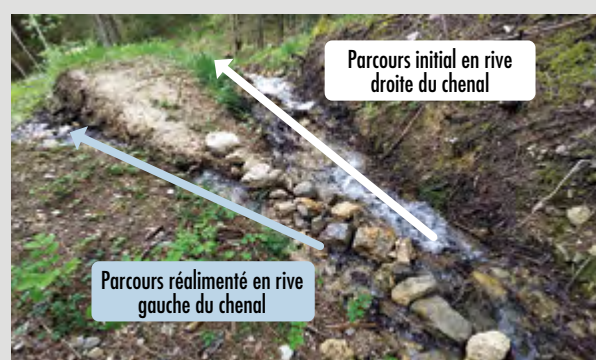
Augmentation du dépôt de tuf de 10 à 100 fois après les travaux.

• Partenaires de l'action

Autorités fédérales américaines, compagnie publique d'électricité d'Arizona, associations.



◀▼ Dynamique d'écoulement avant (carte A) et après la restauration du régime initial (carte B) de Fossil Creek (Arizona, USA). Gibson, 2017.



▲▲ Photographies commentées du site de la Touvière après les travaux de restauration. © IFREEMIS

TUFIÈRE DE LA TOUVIÈRE (JARSY, SAVOIE)

Remise en eau d'un paléo-parcours de la tufière.

• Enjeu(x) et problématique(s)

Historiquement, la tufière avait fait l'objet de travaux de dérivation de ses écoulements dans la partie amont, récoltés dans un chenal de 35 mètres de longueur et de 1,5 mètres de largeur, asséchant alors deux anciens parcours tufeux.

• Solution(s) apportée(s)

Réalimentation d'un dôme tufeux par la réfection d'une partie du chenal.

• Résultats attendus ou observés

Changements dans les communautés de bryophytes observés 2 mois après les travaux (CBN alpin, 2024).

• Partenaires de l'action

Propriétaires, IFREEMIS, CEN Savoie, PNR du massif des Bauges.

TUFIÈRE DES SOURCES DU BONTEY (PLANCHERINE, SAVOIE)

Rediffusion de l'écoulement au niveau de la source captée.

• Enjeu(x) et problématique(s)

Les aménagements du captage à la source du Bontey avaient chenalisé une partie des eaux, qui était restituée à l'amont de la tufière en un unique écoulement. Plusieurs parcours tufeux restaient inactifs.

• Solution(s) apportée(s)

Rediffusion de l'écoulement à l'aide de tuyaux en PVC afin de remettre en eau d'anciens parcours tufeux.

• Résultats attendus ou observés

Amélioration attendue des fonctionnalités de la tufière notamment par l'augmentation du dépôt de tuf.

• Partenaires de l'action

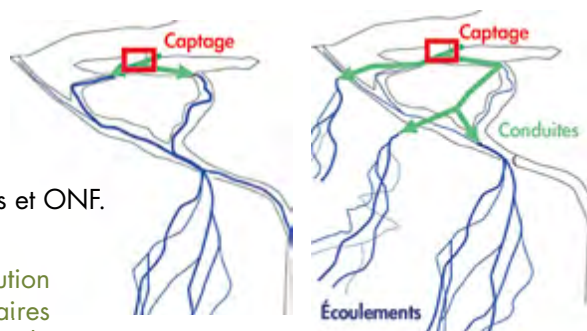
Commune de Plancherine, CEN Savoie, PNR du Massif des Bauges et ONF.

Remarque

Ce type d'aménagement à l'aide de tuyaux PVC constitue une solution exploratoire et provisoire dans l'attente d'études complémentaires préalables au démarrage de travaux de restauration hydrologique de plus grande ampleur.



▲ Tufière des sources du Bontey. © Alban Culat



▲ Plan de la restauration des dynamiques naturelles des écoulements à la source par l'installation de tuyaux en PVC. CEN Savoie, 2020 / modifié par Elodie Derlande, 2024

TUFIÈRE DE DARNE (SAINT-MARTIN-DE-CLELLES, ISÈRE)

Gestion des ligneux en contexte d'énrésinement de la tufière.

• Enjeu(x) et problématique(s)

Développement d'une strate arbustive dense et de résineux sur le secteur amont de la tufière, conséquence des prélèvements d'eau par le captage. L'ombrage provoqué et la consommation d'eau par les racines ne sont pas favorables au mécanisme de dépôt de tuf.

• Solution(s) apportée(s)

Gestion douce de la végétation par l'abat-tage de résineux sélectionnés et débroussaillage de la strate arbustive sur le secteur amont de la tufière.

• Résultats attendus ou observés

Amélioration attendue des fonctionnalités de la tufière notamment par l'augmentation du dépôt de tuf.

• Partenaires de l'action

Commune de Saint-Martin-de-Clelles, IFREEMIS, CEN Isère, Conseil départemental de l'Isère, PNR du Vercors.



NOTA BENE !

Les effets du réchauffement climatique et notamment les sécheresses répétées de ces dernières années mettent en question la nécessité de rouvrir ces milieux naturels bénéficiant en l'état d'un couvert végétal limitant l'évaporation de l'eau en période d'été. Toute la complexité réside alors dans l'identification d'un équilibre satisfaisant à la fois les besoins en lumière de la tufière pour fonctionner et les fonctions de régulation thermique et hydrique en période estivale.

◀ Travaux d'abattage de résineux à l'amont de la tufière de Darne à Saint-Martin-de-Clelles (Isère) et débardage par traction animale (mars 2024). © IFREEMIS

SOURCES DE L'HUVEAUNE

(NANS-LES-PINS, VAR)

Gestion de la surfréquentation des sources de l'Huveaune.

• Enjeu(x) et problématique(s)

Dégradation significative des dépôts de tuf remarquables par le piétinement des gours et la baignade.

• Solution(s) apportée(s)

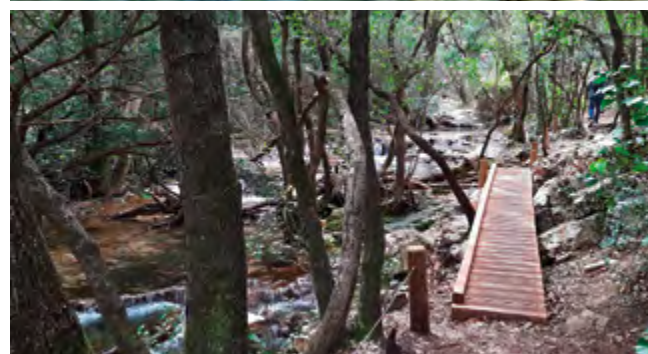
Application d'un arrêté municipal en 2021 interdisant la circulation en dehors des sentiers balisés, installation de passerelles surélevées et points de vue, création de cheminements en terre/pierre et mise en défens de certains secteurs par des aménagements de type « fil-guide ».

• Résultats attendus ou observés

Arrêt, à défaut, réduction de l'érosion des gours provoqués par le piétinement et amélioration des fonctionnalités de la tufière.

• Partenaires de l'action

Commune de Nans-les-Pins, Région Sud,
PNR de la Sainte-Baume, Communauté d'agglomération
Provence verte, EPAGE Huveaune-Côtières-Aygalades.



▲ Panneau d'interdiction de pénétrer dans le lit du cours d'eau, passerelles et « fils-guide » le long du sentier touristique de la rivière de l'Huveaune à Nans-les-Pins. (Var).

Des études globales d'aménagement pour faire face à la surfréquentation : les exemples de la reculée des Planches (Jura) et de Combe Laval (Drôme)

Les effets cumulés récents du « déconfinement post COVID » et des épisodes de fortes chaleurs ont amené à battre des **records de fréquentation** sur les milieux aquatiques entre autres, par un public toujours plus en quête de fraîcheur et de paysages remarquables. A titre d'exemples, cette problématique a été constatée au niveau de la cascade des tufs aux Planches-près-Arbois (Jura) ou encore sur la tufière de Frochet au sein de l'ENS de Combe Laval (Drôme).

En conséquence, la Communauté de communes Arbois-Poligny-Salins et le Parc naturel régional du Vercors ont lancé respectivement en 2021 et 2023 deux **études globales d'aménagement**, portant des réflexions visant à développer un tourisme durable en conciliant les enjeux de sécurité, de maintien de la qualité de vie des habitants et de préservation des milieux naturels remarquables. Les réflexions portent notamment sur :

- des accès plus contraignants aux sites sensibles (fermeture de certains accès aux véhicules ou interdictions de stationner) ;
- la création de parkings dédiés aux visiteurs pour des questions de sécurité dans les villages ;
- la priorité aux modes de déplacements doux par la création de pistes dédiées (marche, vélo) ;
- la canalisation des flux de visiteurs vers des zones d'interprétation (plateformes pédagogiques, belvédères, etc.) ;
- la mise en valeur d'autres sites patrimoniaux locaux afin de désengorger les milieux fréquentés.



▲ Surfréquentation de la cascade des Tufs aux Planches-près-Arbois. © Philippe Trias

Le cadre législatif sur les milieux naturels auquel se référer

- **La loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA)** du 30 décembre 2006 complétée par la loi du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale, affecte aux communes et intercommunalités la compétence «gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations» (compétence dite «GEMAPI»).

- **Le droit d'usage de l'eau** : l'article 644 du Code civil précise d'une part, que celui dont la propriété borde une eau courante non domaniale peut s'en servir à son passage pour l'irrigation de ses propriétés et d'autre part, que celui dont cette eau traverse l'héritage, peut en user dans l'intervalle qu'elle y parcourt, à condition de la rendre à la sortie à son cours ordinaire.

- **Les débits réservés** : l'article L.214-18 du code de l'environnement concerne l'obligation légale de débit minimal à respecter pour les ouvrages en cours d'eau (prise d'eau, barrages etc.), garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces.

- **Les arrêtés préfectoraux sécheresses** : l'article L.211-3 II-1° du Code de l'environnement précise que pour faire face à une insuffisance de la ressource en eau en période d'étiage, les préfets sont amenés à prendre des mesures exceptionnelles de limitation ou de suspension des usages de l'eau. Ces arrêtés peuvent limiter voire interdire l'accès aux sites et la pratique du canyonisme sur certains sites.

- **La loi du 10 juillet 1976**, relative à la protection de la nature, concerne « la protection des espaces naturels et des paysages, la préservation des espèces animales et végétales, le maintien des équilibres biologiques auxquels ils participent et la protection des ressources naturelles contre toutes les causes de dégradation qui les menacent» et met en avant la responsabilité de chacun.

- **Régime d'autorisation en site Natura 2000** : l'article L.414-4 du Code de l'environnement précise que certains projets et activités envisagés au sein d'un site Natura 2000 ou à proximité immédiate doivent être soumis à une évaluation d'incidences environnementales et à une autorisation spécifique.

VALORISER ET COMMUNIQUER POUR PROTÉGER

Concevoir des sentiers d'interprétation et des plateformes pédagogiques

Les plateformes pédagogiques et sentiers d'interprétation permettent non seulement d'informer le public sur le fonctionnement et les enjeux liés à la préservation des tufières, mais aussi d'interpeller les visiteurs en matérialisant physiquement la présence d'un site d'intérêt et la volonté de limiter le piétinement de ces milieux.

Dans le cas d'une plateforme, dès lors qu'elle est idéalement située pour avoir un point de vue intéressant, les visiteurs sont alors moins tentés de circuler dans le milieu et la création de sentes « sauvages » peut alors être évitée ou restreinte.



▲ Sentier d'interprétation sur la promenade des tufières le long de l'Isère. (La Sône, Isère).



▲ Plateforme pédagogique face à la tufière de Termignon (Val-Cenis, Savoie). © Syndicat du Pays de Maurienne

Prévoir des programmes pédagogiques



▲ Sentier d'interprétation le long du ruisseau de Pernaz (Site labellisé Rivières sauvages) mentionnant les tufières. © ARRS

L'exemple du réseau Rivières sauvages, illustre à travers son programme « Graines de Rivières sauvages » la volonté de sensibiliser les jeunes publics (écoles, centres de loisirs etc.) aux enjeux de préservation des sites concernés. C'est le cas par exemples

du ruisseau de Pernaz (Serrières-de-Briord, Ain), présentant de nombreuses zones de dépôt de tuf le long de son parcours. Des formations sont alors proposées aux enseignants et animateurs afin qu'ils puissent accompagner les jeunes publics à la découverte de ces milieux à travers diverses activités.

POUR ALLER PLUS LOIN

Bensettiti F., Gaudillat V. & Haury J., 2002. - Cahiers d'habitats Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats d'intérêt communautaire. Tome 3. Habitats humides. Éd. La Documentation française, 457 p.

Boudot J.-P., Grand D., Wildermuth H. & Monnerat C., 2024. - Les Libellules de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Biotope, 3e éd., 472 p.

Chen J., Zhang D.D., Wang S., Xiao T., Huang R., 2004. - Factors controlling tufa deposition in natural waters at waterfall sites. *Sedimentary Geology*, 166, pp. 353-366.

Doucet, G., 2016. - Clé de détermination des Exuvies des Odonates de France, ; Société Française d'Odonatologie ; Fondation Nature & Découvertes, Bois d'Arcy, France, 68 p.

Faton J.M., 2023. - Étude de l'odonatofaune des 2 principales tufières de Combe Laval, Parc naturel régional du Vercors. *Groupe Sympetrum*, 14 p.

Faton J.M., 2024. - La Tufière des Vauthières à Gruffy (Haute-Savoie). Dossier Rouge du Groupe Sympetrum N°67, 27 p.

Gibson C.A., Koch B.J., Compson Z.G., Hungate B.A. et Marks J.C., 2018. - Ecosystem responses to restored flow in a travertine river. *Freshwater Science*, Vol. 37, 1, 10 p.

INPN – cahier d'habitat code CORINE 54.12 : <https://inpn.mnhn.fr/docs/cahab/habitats-declines/7220.pdf>

Krieg-Jacquier R. & Houard X., 2022. - *Cordulegaster bidentata* (Selys, 1843), Atlas dynamique des Odonates de France, Office pour les insectes et leur environnement. <https://atlas-odonates.insectes.org/odonates-de-france/cordulegaster-bidentata>

Lecornu (coord), 2023. - Etat de la connaissance sur les systèmes tufeux - REZOH-tuf : Plan d'actions, connaissances, et REstauration des ZOnes Humides associées aux tufières (Cratoneurion), 56 p.

Letscher R., Krieg-Jacquier R. & Noally L., 2024. - Suivi de *Cordulegaster bidentata* et de ses sites larvaires. Bilan 2019-2022, résultats 2023. Rapport Réserve naturelle régionale de la Galerie du Pont des Pierres (Ain), LPO AURA DT01, 44 p.

Lolive N. & Guérbaa K., 2007. - La connaissance de *Cordulegaster bidentata* (Selys, 1843) en Limousin affinée par une méthode de recherche des larves (Odonata, Anisoptera, Cordulegastriidae). *Martinia*, 23 (1), pp. 3-8.

Mazet J., 1988. - Contribution à l'étude des tufs-barrages de la haute vallée de l'Huveaune. Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le Midi de la France, Travaux de TUA 903 et ATP PIREN, 17, pp. 201-208.

Morvan T., Doucet G., 2018. - Amélioration de la connaissance de l'habitat larvaire de *Cordulegaster bidentata* (Selys, 1843) et *C. boltonii* (Donovan, 1807) dans le Châtillonnais. In : 14e Rencontres Bourgogne-Nature et 6e rencontres Odonatologiques, pp. 257-264.

Pont B., 2014. - Intégrité du peuplement d'odonates, 110, programme RhoMéO, In : La boîte à outils de suivi des zones humides / Programme RhoMéO, 48 p. http://rhomeo-bao.fr/?q=indicateurs_10

Schleicher J., 2008. - *Cordulegaster bidentata*. In: Deliry et le groupe Sympetrum, (dirs.) Atlas illustré des Libellules de la région Rhône-Alpes. Biotope, pp. 265-268.

Videau A., Infante Sanchez M., et Prud'homme F., 2022. - Programme d'actions pour l'évaluation des habitats Natura 2000 sur le territoire du CBNPMP : Les sources pétrifiantes, habitat d'intérêt communautaire 7220. Conservatoire Botanique National des Pyrénées et de Midi Pyrénées, 24 p. + annexes.

Zhang D.D., Zhang Y., Zhu A., Chen X., 2001. - Physical mechanisms of river waterfall tufa (travertine) formation. *Journal of Sedimentary Research* 71, pp. 205-216.



EN QUELQUES MOTS...

Vous avez une tufière sur votre territoire ?

En tant que citoyen, parlez-en aux autorités compétentes (municipalité, OFB) afin que celle-ci soit identifiée et préservée.

En tant que collectivité locale, portez à connaissance l'existence de la tufière auprès des propriétaires concernés en vue d'en améliorer la maîtrise d'usage, et informez vos concitoyens.

Un diagnostic du site peut alors être demandé aux structures compétentes afin d'évaluer les enjeux et pressions qui s'exercent sur cette tufière. L'identification fine de ces éléments sera le point de départ de la mise en place d'actions de gestion ou de restauration adaptées ainsi que les suivis nécessaires.

Enfin, n'oubliez pas que les actions proposées doivent respecter le cadre législatif d'interventions en milieu naturel.

Contacts utiles :

- DREAL
- Office français de la biodiversité
- Directions départementales des territoires
- Services eau et environnement des conseils départementaux
- Etablissements publics territoriaux de bassin
- Syndicats de rivières
- PatriNat (MNHN, OFB, CNRS, IRD)
- Conservatoires botaniques nationaux
- Conservatoires d'espaces naturels
- Parcs nationaux, parcs naturels régionaux, réserves, etc.
- IFREEMIS
- Styx4D
- Associations d'étude et de protection de la nature (groupe Sympetrum, etc.)
- Associations d'activités de pleine nature (spéléo, canyoning, rafting, etc.)

▼ Tufières de La Sône
(Isère). © IFREEMIS



L'ENJEU DE CE GUIDE TECHNIQUE

Les zones humides en France ont subi une régression alarmante, avec environ 50% de leur superficie ayant disparu entre les années 1960 et 1990.

Les pressions exercées par les activités humaines (urbanisation, agriculture intensive, déprise agricole, etc.) sont aujourd'hui exacerbées par les effets du changement climatique et les sécheresses répétées.

Les tufières, formations de dépôts calcaires uniques, ne font pas exception à ces enjeux et présentent, en plus, le désavantage d'être mal identifiées et peu prises en compte dans les projets de gestion des milieux naturels. A cela s'ajoute la pression grandissante du surtourisme et les mauvaises pratiques associées, sources de dégradation de ces milieux fragiles.

Ce guide technique donne des éléments de compréhension du fonctionnement des tufières et de leurs fonctionnalités ainsi que des outils pour assurer leur gestion et leur restauration, sur la base de retours d'expériences essentiellement à l'échelle du territoire national.

Avec le soutien financier de :



Une édition



Les auteurs et contributeurs



L'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse est un établissement public du ministère de l'environnement, dédié à la préservation de l'eau. Elle perçoit l'impôt sur l'eau payé par tous les usagers.

Chaque euro collecté est réinvesti auprès des collectivités, acteurs économiques et agricoles pour lutter contre les pollutions et mieux

utiliser l'eau disponible, à travers un programme pluriannuel d'intervention. Par ailleurs, l'agence de l'eau organise la concertation avec les acteurs locaux, produit et diffuse la connaissance sur l'eau.

La reconquête de la biodiversité L'agence de l'eau s'engage pour la reconquête de la biodiversité en soutenant la restauration du fonctionnement des écosystèmes.

Restaurer les rivières, les lacs et zones humides, les espaces côtiers de la Méditerranée, c'est en effet sauver les espaces de vie pour un grand nombre d'espèces.

L'agence de l'eau vise aussi la reconquête des corridors écologiques favorisant la circulation des espèces inféodées à l'eau et nécessaires à l'accomplissement de leur cycle de vie.