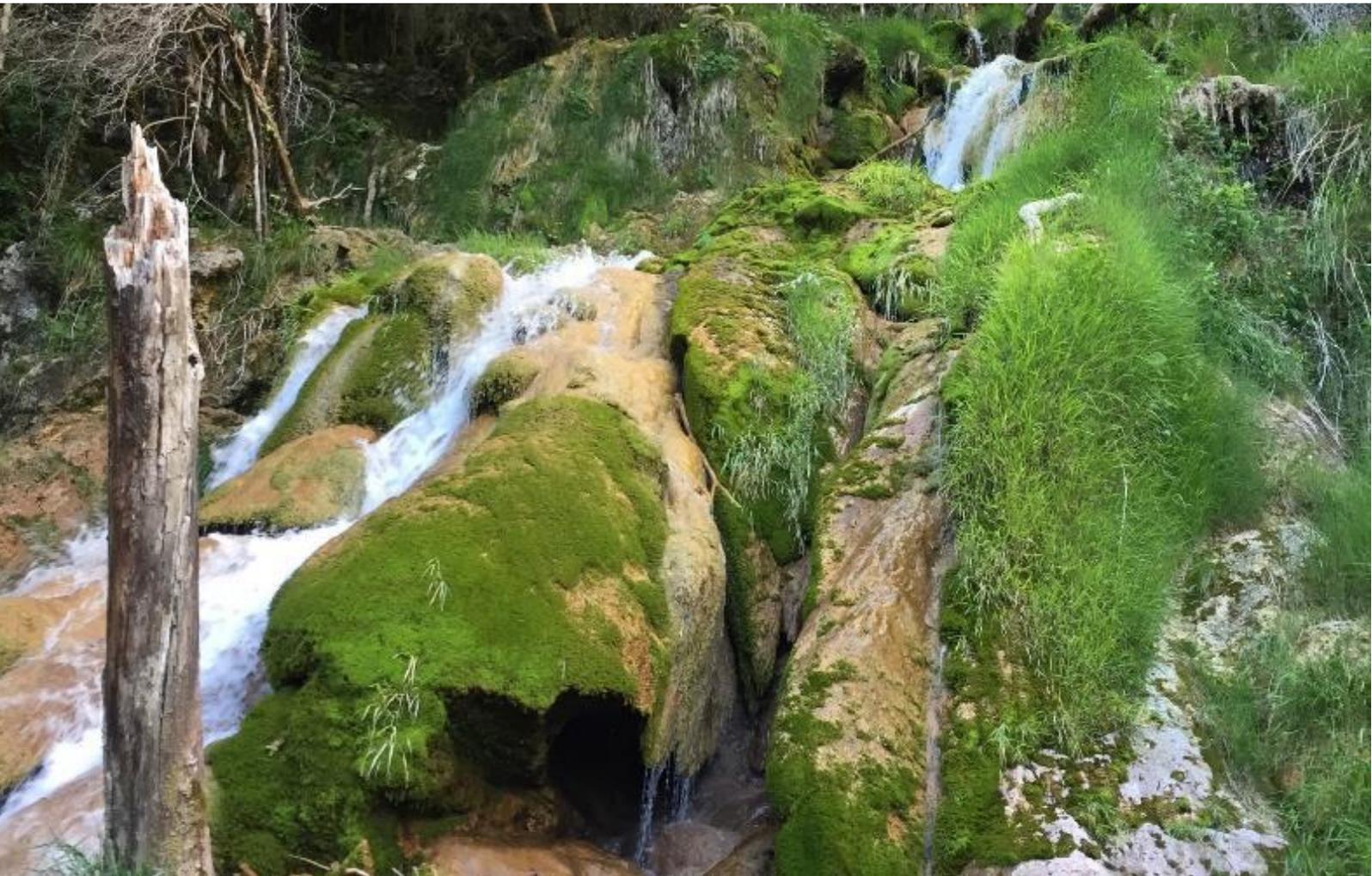


## Etude de faisabilité : Phase II

# REZOH-tuf : Plan d'actions, connaissances, et REstauration des ZOnes Humides associées aux tufières (Cratoneurions)

Application au bassin du Rhône en Auvergne-Rhône-Alpes



*Rédigé par : Elodie Lecornu et Raphael Torquebiau (IFREEMIS), Benoît Pascault (CEN Rhône-Alpes), Jean-Jacques Delannoy et Fabien Hobléa (Laboratoire EDYTEM - Université Savoie Mont Blanc- CNRS) Johan Berthet (Styx 4D).*

## Résumé

Les tufières sont des formations carbonatées générées par des processus bio-physico-chimiques complexes. Ce milieu est, en raison de sa complexité, un habitat remarquable aux enjeux socio-écologiques majeurs se déclinant en trois fonctionnalités : hydrologique, biogéochimique et biologique. Toutefois son fonctionnement, répondant à plusieurs champs disciplinaires, le rend sensible et fragile face aux pressions anthropiques (captage, dérivation, extraction, pollution, acidification, surfréquentation, ...).

De ce constat, est né le projet de **RE**stauration des **Z**ones **H**umides associées aux **TU**fières (Rezoh-tuf), dont les actions, déclinées en 3 phases, se déroulent sur l'espace commun au bassin du Rhône et à la Région Auvergne-Rhône-Alpes appelé « *bassin Rhône-RA* ». La phase 1 consiste à construire un état de la connaissance reposant sur un corpus bibliographique, une synthèse cartographique et des retours d'expériences multiscalaires. La phase 2 cherche à conduire sur 4 tufières pilotes aux fonctionnements dégradés et 1 site référent des opérations expérimentales de suivi et de restauration. Les sites pilotes retenus sont ceux des Vauthières (Gruffy, 74), de la Touvière (Jarsy, 73), de Darne (Saint-Martin-de-Celles, 38) et de Révaou (Vallon-Pont-d'Arc, 07), et, en tufière référente celle de Choranche (Choranche, 38). Enfin, la phase 3 a pour ambition de diffuser la connaissance acquise.

Ces tufières pilotes présentent des contextes environnementaux, des typologies et des dysfonctionnements relativement différents et représentatifs des systèmes tufeux rencontrés en « *bassin Rhône-RA* ». Ainsi, l'étude de faisabilité Rezoh-tuf présente des mesures de restauration et de suivi adaptées à chaque site, dont les objectifs sont de définir et de proposer des méthodes de suivi reproductibles par les gestionnaires d'espaces naturels non spécialisés.

## Table des matières

<b>1 CONTEXTE DE L'ETUDE</b>	<b>1</b>
1.1 Le projet Rezoh-tuf	1
1.2 Etat de connaissance	2
1.3 Processus de formation d'une tufière	4
1.4 Les enjeux des systèmes tufeux	5
1.5 Les pressions et menaces associées aux tufières	6
<b>2 METHODOLOGIE</b>	<b>8</b>
2.1 Appel à participation des opérateurs locaux	8
2.2 Compilation des données récoltées	9
2.3. Phase de terrain confirmant l'état de conservation des tufières	10
2.4. Classification des tufières prospectées et sélection des sites pilotes et référents	12
<b>3 DESCRIPTION DES SITES PILOTES ET DU SITE REFERENT RETENUS</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Tufière pilote 1 (TP1) : Le site de Darne</b>	<b>14</b>
3.1.1 Contexte du site	14
Statut et inventaire	14
Contexte hydrogéologique	15
Evolution paysagère et activités environnantes	16
3.1.2. Présentation du site	17
Patrimoine naturel (Annexe 1 : liste des espèces)	17
Description géomorphologique de la tufière et de ses dynamiques d'écoulements	18
Dysfonctionnements	20
Synthèse des enjeux, pressions et services rendus	21
<b>3.2 Tufière pilote 2 (TP2) : Le site de Révaou</b>	<b>22</b>
3.2.1 Contexte du site	22
Statut et inventaire	22
Contexte hydrogéologique	23
Evolution paysagère et activités environnantes	23
3.2.2. Présentation du site	24
Patrimoine naturel (Annexe 2 : liste des espèces)	24
Description géomorphologique de la tufière et de ses dynamiques d'écoulements	25
Dysfonctionnements	26
Synthèse des enjeux, pressions et services rendus	27
<b>3.3. Tufière pilote 3 (TP3) : Le site de la Touvière</b>	<b>28</b>
3.3.1 Contexte du site	28
Statut et inventaire	28
Contexte hydrogéologique	29
Evolution paysagère et activités environnantes	30
3.3.2 Présentation du site :	31
Patrimoine naturel (Annexe 2 : liste des espèces)	31
Description géomorphologique de la tufière et de ses dynamiques d'écoulements	32
Dysfonctionnements	34
Synthèse des enjeux, pressions et services rendus	35

<b>3.4 Tufière pilote 4 (TP4) : Le site des Vauthières</b>	<b>36</b>
3.4.1 Contexte du site	36
Statut et inventaire :	36
Contexte hydrogéologique	37
Evolution paysagère et activités environnantes	37
3.4.2. Présentation du site :	38
Patrimoine naturel (Annexe 2 : liste des espèces)	38
Description géomorphologique de la tufière et de ses dynamiques d'écoulements	39
Dysfonctionnements	42
Synthèse des enjeux, pressions et services rendus	43
<b>3.5 Tufière référente (TR) : Le site de Choranche</b>	<b>44</b>
3.5.1 Contexte du site	44
Statut et inventaire	44
Contexte hydrogéologique	45
Evolution paysagère et activités environnantes	45
Patrimoine naturel (Annexe 2 : liste des espèces)	47
Description géomorphologique de la tufière et de ses dynamiques d'écoulements	47
Synthèse des enjeux et services rendus	49
 <b>4 AMELIORATION DES CONNAISSANCES ET EVALUATION DES OPERATIONS DE RESTAURATION</b>	 <b>50</b>
4.1. Paramètres biologiques	50
4.2 Fonctionnements physico-chimiques	51
 <b>5 OPERATIONS DE RESTAURATION DES FONCTIONNALITES</b>	 <b>57</b>
5.1 Tufière pilote 1 : Site de Darne	57
5.2 Tufière pilote 2 : Site de Révaou	58
5.3 Tufière pilote 3 : Site de la Touvière	59
5.4 Tufière pilote 4 : Site des Vauthières	61
 <b>6 ESTIMATION DES DEPENSES PREVISIONNELLES</b>	 <b>65</b>
 <b>BIBLIOGRAPHIE</b>	 <b>67</b>
 <b>ANNEXE</b>	 <b>69</b>
Annexe 1 : Fiche de relevés de terrain	69
Annexe 2 : Liste des espèces floristiques et faunistiques	72

## 1 CONTEXTE DE L'ETUDE

### 1.1 Le projet Rezoh-tuf

S'inscrivant dans l'espace commun au bassin du Rhône et à la Région Auvergne-Rhône-Alpes, le projet concerne ainsi une grande partie du bassin RMC, territoire de gestion de la ressource en eau et des milieux aquatiques en application de la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques de 2006 (LEMA), et plus des deux-tiers de la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Les actions de la phase 1 sur le bilan des connaissances, et particulièrement la synthèse des inventaires, ciblent cet espace que nous qualifierons pour ce projet de « **bassin Rhône-RA** » (Fig. 1).

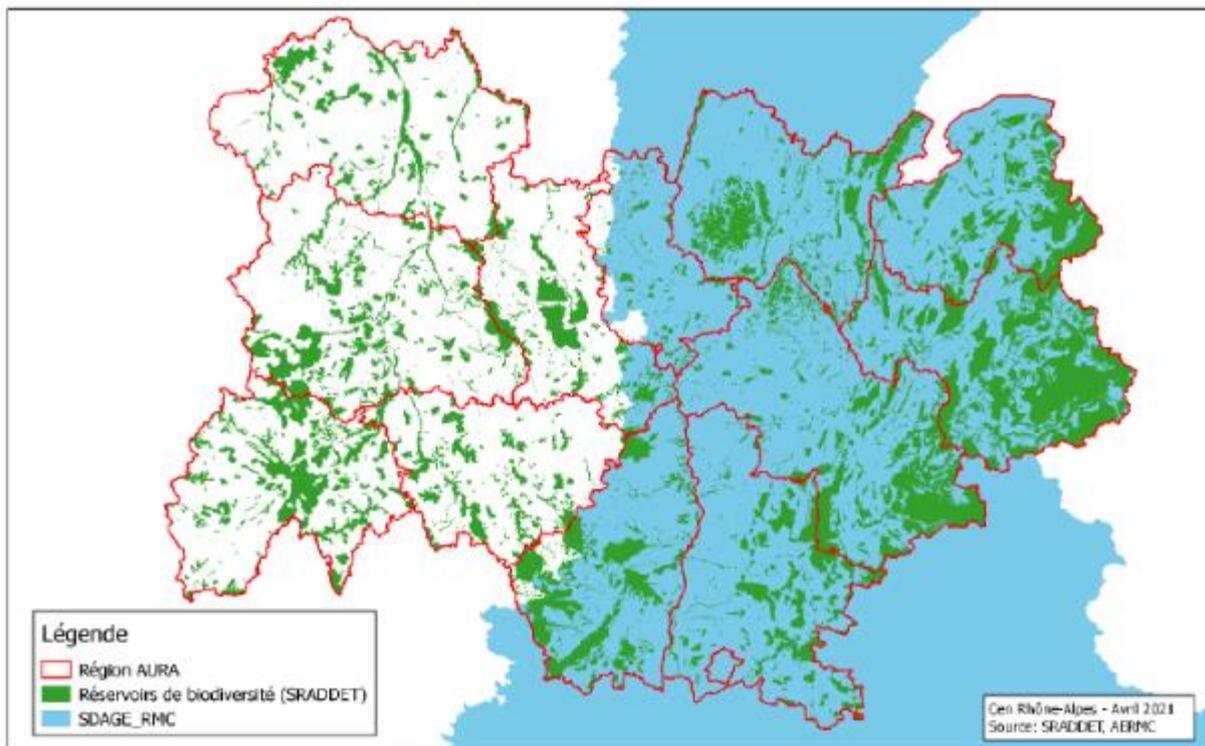


Figure 1 : Le bassin Rhône-RA représenté en bleu dans la région Auvergne Rhône-Alpes.

La phase 2, qui est l'objet de ce document, consiste à conduire sur des tufières pilotes des opérations expérimentales de suivi et de restauration adaptés aux différents contextes. A ce stade du projet, les « sites pilotes et référent » sont définis. Ces tufières ont fait l'objet de réunion de concertation, d'une part, avec les partenaires du projet (CEN RA, Laboratoire EDYTEM et Styx4D) pour leurs sélections, et d'autre part, avec les opérateurs locaux (EPTB, CEN, PNR, Syndicats, communes, propriétaires) pour la définition des actions expérimentales.

Les sites pilotes se devaient d'être représentatifs des différents types de tufs, des systèmes hydro-géomorphologiques et des aires biogéographiques (contextes alpin, continental et méditerranéen) rencontrés dans le bassin Rhône-RA. Enfin, une attention est portée à ce que ces sites retenus correspondent à des zones humides aux fonctionnalités hydrologiques, biogéochimiques et biologiques dégradées selon les principes de l'orientation fondamentale n°6 du SDAGE Rhône-Méditerranée 2016-2021. La compréhension des facteurs de dégradation et des différentes évolutions passées et récentes ont également été des axes essentiels pour penser et proposer le plan de restauration ci-dessous.

Ce projet co-financé par la Région Auvergne-Rhône-Alpes dans le cadre de sa stratégie Environnement/Energie adoptée en juin 2018, et plus précisément à travers son dispositif « Biodiversité ordinaire », invite à retenir des sites pilotes appartenant à un cadre administratif précis. Ainsi, les tufières pilotes retenues sont nécessairement localisées au sein de réservoirs de biodiversité du SRADDET tout en étant en dehors des secteurs éligibles ou couverts par l'outil « contrat vert et bleu ». Par ailleurs, ces sites pourront s'inscrire au sein de périmètres Natura 2000, si ces derniers ne bénéficient pas de fiches actions ciblant la restauration des tufières dans les DOCOB (Fig. 2).

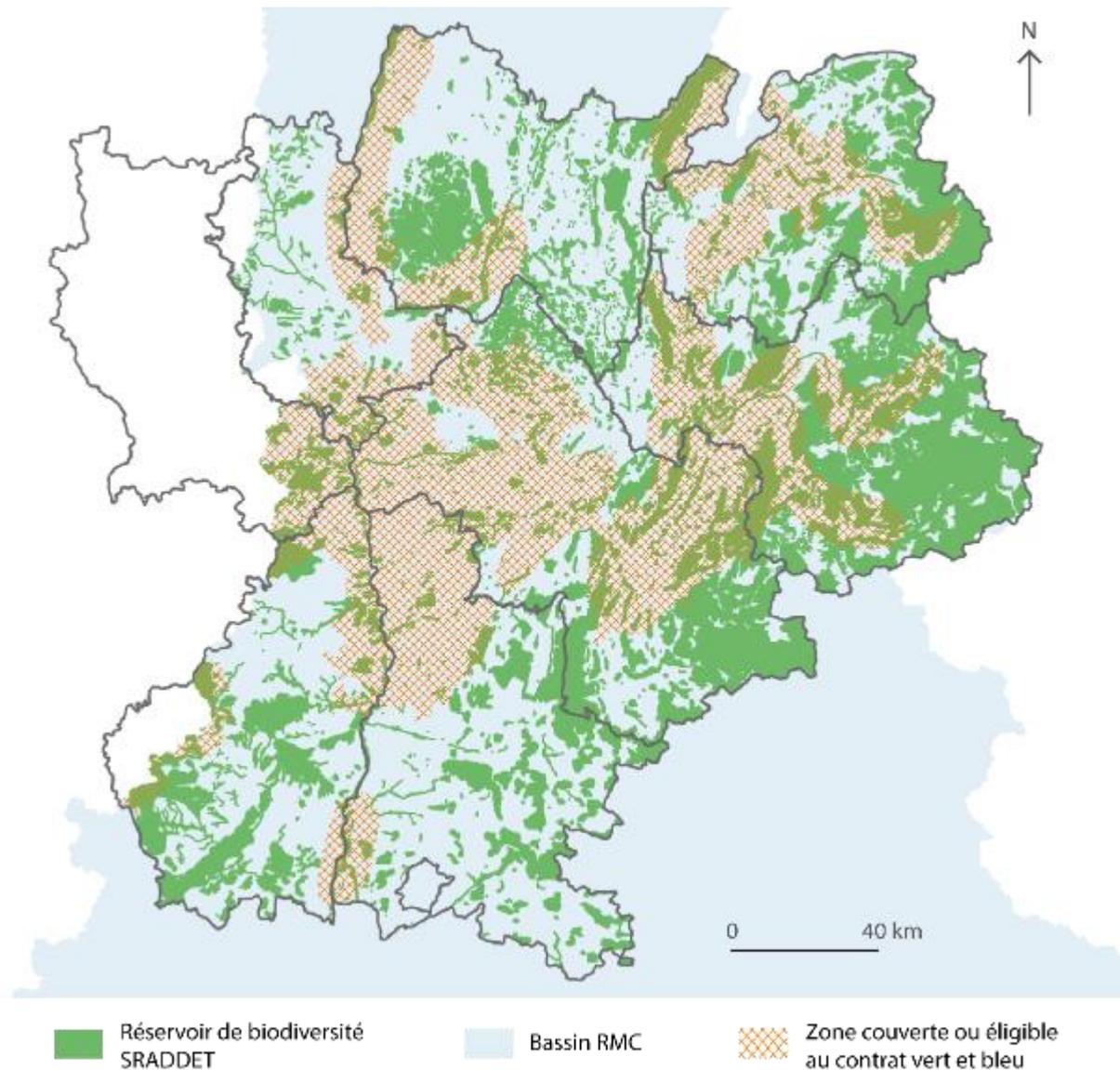


Figure 2 : Critères administratifs d'éligibilités pour la sélection des tufières pilotes et référente IFREEMIS, 2022

## 1.2 Etat de connaissance

Au-delà de leur dimension paysagère et de leur valeur géomorphologique, les tufs sont le siège de biotopes associés à des végétations indicatrices et des conditions environnementales spécifiques

(Gaudillat et al., 2018). L'ensemble de l'édifice tufeux se doit d'être considéré comme faisant partie intégrante de l'habitat, même si certains espaces sont apparemment exempts de végétation visible (secteur en pied de cascade ou éloigné du point de source avec des écoulements moins incrustants).

Cet habitat spécifique n'existe que par la présence de l'eau et ses combinaisons avec les facteurs biologique, topographique et climatique ; il est associé aux zones humides, ce qui fait pleinement sens notamment dans des secteurs soumis à la sécheresse (adret de zones de montagne ; régions soumises aux influences méditerranéennes...).

Cet habitat de zones humides est relativement peu documenté et peu étudié (origine des eaux des tufières, dynamique d'encroûtement, fonctionnement, évolution en lien avec l'anthropisation et le changement climatique ...). Il constitue cependant un véritable réservoir de biodiversité composé d'une faune et d'une flore remarquables.

Les tufières sont par ailleurs la mémoire de variations de la végétation et des écosystèmes récents et passés *via* l'étude des empreintes foliaires et de végétaux scellés au sein de la masse tufeuse : celle-ci peut atteindre fréquemment plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur.

Tableau 15. Résultats du dernier rapportage (2013-2018) sur l'état de conservation des sources pétrifiantes avec formation de travertins au sein du domaine biogéographique **alpin**.

Code UE	Aire de répartition	Surface	Structure et fonctions	Perspectives futures	État de conservation
<b>7220*</b>	Favorable	Inconnu	Inconnu	Inconnu	Inconnu

Tableau 16. Résultats du dernier rapportage (2013-2018) sur l'état de conservation des sources pétrifiantes avec formation de travertins au sein du domaine biogéographique **continental**.

Code UE	Aire de répartition	Surface	Structure et fonctions	Perspectives futures	État de conservation
<b>7220*</b>	Favorable	Défavorable inadéquat	Favorable	Favorable	Défavorable inadéquat

Tableau 17. Résultats du dernier rapportage (2013-2018) sur l'état de conservation des sources pétrifiantes avec formation de travertins au sein du domaine biogéographique **atlantique**.

Code UE	Aire de répartition	Surface	Structure et fonctions	Perspectives futures	État de conservation
<b>7220*</b>	Inconnu	Inconnu	Défavorable inadéquat	Défavorable mauvais	Défavorable mauvais

Tableau 18. Résultats du dernier rapportage (2013-2018) sur l'état de conservation des sources pétrifiantes avec formation de travertins au sein du domaine biogéographique **méditerranéen**.

Code UE	Aire de répartition	Surface	Structure et fonctions	Perspectives futures	État de conservation
<b>7220*</b>	Défavorable mauvais	Défavorable mauvais	Défavorable mauvais	Défavorable mauvais	Défavorable mauvais

Figure 3 : Etat de conservation de l'habitat Cratoneurion selon les aires biogéographiques. Clément H., Reich M., Botcazou F., Mistarz M. et Garcin J., 2021.

Le dernier relevé d'évaluation d'état de conservation des espèces et habitats d'intérêt communautaire (DHFF) des habitats associés au Cratoneurion fait mention pour la période 2013-2018 d'un état de conservation mal connu voire non défini pour l'aire biogéographique alpine, d'un état « défavorable inadéquat » concernant le domaine continental et d'un état « défavorable à mauvais » pour le domaine méditerranéen (Fig. 3). Ce rapport repose sur les travaux menés par l'UMS PatriNat (MNHN et OFB). Bien que cette étude fasse référence, elle n'a que peu couvert l'espace de travail concerné par ce projet sur le bassin Rhône-Méditerranée-AURA.

Aujourd'hui la conservation de ce patrimoine et les stratégies de protection autour de celui-ci restent insuffisantes, même si ces dernières années l'étude des zones humides associées à des Cratoneurions fait l'objet d'un regain d'intérêt de la part de la communauté scientifique et naturaliste, avec aussi bien des études locales réalisées par des gestionnaires d'espaces naturels soucieux de le protéger et le restaurer, que des laboratoires universitaires y voyant un sujet de recherche porteur compte-tenu de sa fonction d'indicateurs de changements environnementaux liés à l'anthropisation et au changement climatique.

### 1.3 Processus de formation d'une tufière

Tout au long de leur parcours souterrain, notamment dans les zones épikarstique et supérieure du karst, les eaux se chargent en carbonates à mesure de la dissolution des assises calcaires. Ce travail de dissolution est conditionné par la présence de CO<sub>2</sub> dissous dans les eaux d'infiltration. Dès l'arrivée des écoulements dans les grands vides karstiques, puis à la sortie de l'exutoire karstique, les écoulements deviennent, le plus souvent, sursaturés en carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) (BAKALOWICZ, 1992 ; COUCHOUD, 2008). Les concentrations élevées en carbonates dissous évoluent relativement rapidement en fonction des environnements rencontrés et des processus de dépôt prédominants. Ainsi, les eaux en mouvement modèlent perpétuellement les tufières par des phénomènes de dissolution et de précipitation du carbonate de calcium, résultant de processus bio-physico-chimiques.

Processus chimique : La température des écoulements issus du karst se réajuste en sortie de source en se réchauffant. La solubilité du CO<sub>2</sub> décroît lorsque la température de l'eau augmente (CORBEL, 1959 ; MUXART, 1981). Le dégazage du CO<sub>2</sub> s'opère tout en accentuant la sursaturation en carbonate de la solution et déclenche ainsi le dépôt de tuf. Ajouté à cela, les températures externes, parfois élevées, peuvent occasionner des phénomènes d'évaporation de l'écoulement. La compétence de stockage de l'eau diminue et entraîne de nouveau la précipitation du carbonate de calcium (ZHANG, 2001).

Processus physique : La vitesse (effet de basse pression), la turbulence (effet d'aération) et l'éclatement (effet jet-flow) d'un écoulement augmentent de façon considérablement l'interface entre l'eau et l'air (CHANSON, 1995 ; CHEN et al, 2004 ; WEISROCK, 1981 ; ZHANG, 2001) (Fig. 4). Plus la surface de contact entre les écoulements et l'atmosphère est élevée et plus la libération du CO<sub>2</sub> est rapide. Les reliefs cascadants, les fortes pentes et la présence de rugosités au sol (branches, blocs, etc.) sont donc déterminants dans les mécanismes de précipitation du tuf et interviennent aussi dans l'oxygénation abondante des écoulements. Ce dernier facteur est essentiel au développement d'organismes vivants (mousses, algues, bactéries).

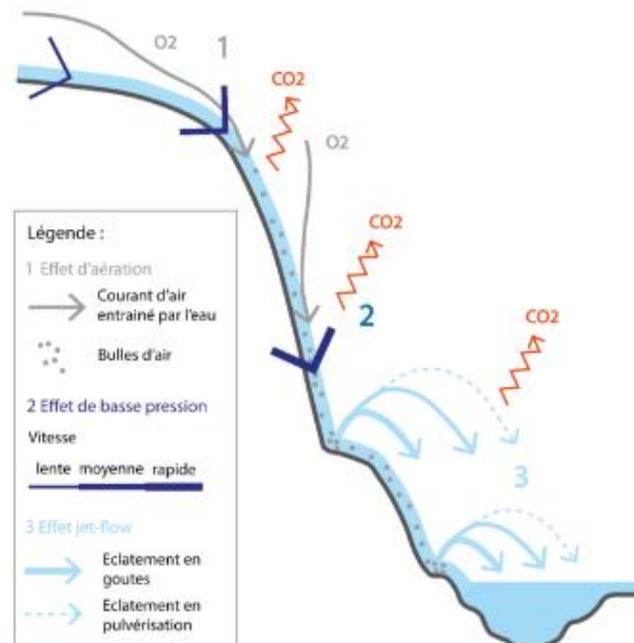


Figure 4 : La topographie en rupture de pente vecteur des mécanismes de précipitation des carbonates dissous. Lecornu E., 2020.

Processus biologique : Chaque acteur chlorophyllien contribue en journée à l'absorption du CO<sub>2</sub> dissous par le principe de la photosynthèse. Le rapport entre le CO<sub>2</sub> et le CaCO<sub>3</sub> dissous est de nouveau déséquilibré et déclenche la précipitation de la calcite en cas de sursaturation. A l'inverse, la nuit ces organismes assimilent l'O<sub>2</sub> contenu dans les écoulements et ceci explique leur présence dans des milieux fortement oxygénés (cascade, succession de gours sur des reliefs pentus). Les bryophytes réalisent principalement la précipitation de la calcite au niveau de leur système racinaire et servent de support à des bactéries ou micro-algues incrustantes (ADOLPHE, 1986, ADOLPHE et al, 1991). Leur développement dans les écoulements fournit aussi un substrat à l'accroche de la calcite en mouvement dans l'eau. De plus, leur morphologie ramifiée accroît la surface de contact entre l'interface eau-air et participe au dégazage partiel du CO<sub>2</sub>.

### 1.4 Les enjeux des systèmes tufeux

Les tufières font partie d'un des écosystèmes à très forts enjeux que sont les zones humides. A ce titre, différentes **fonctionnalités** leurs sont associées :

- Hydrologique, déclinée en 4 sous-fonctions : le ralentissement des ruissellements, la recharge des nappes, la rétention des sédiments, le maintien de terrains instables (substratum marneux)
- Biogéochimique avec 5 sous-fonctions associées ; dénitrification (élimination des nitrates), assimilation végétale de l'azote, adsorption et précipitation du phosphore, assimilation végétale des ortho-phosphates et séquestration du carbone
- Accomplissement du cycle biologique des espèces abordées avec 2 sous-fonctions : support et connexion des habitats.

Mais également des **services rendus** :

- L'approvisionnement : Les sites sont parfois utilisés, d'une part, comme zone de captage, le plus régulièrement à la source, pour l'approvisionnement en eau potable (AEP) et/ou l'activité agricole, et d'autre part, pour l'extraction de tuf.
- La régulation : Les tufières contribuent à la régulation du climat, de l'hydrologie, des pollutions et à la prévention d'événements naturels exceptionnels (inondations, sécheresses).
- Les services culturels et sociaux : Certaines tufières s'avèrent emblématiques pour leurs valeurs paysagère et esthétique, récréative et éducative (comme par exemple les nombreuses cascades Choranche en Isère)

Concernant la fonctionnalité biologique, les tufières constituent des écosystèmes rares et remarquables. Reconnu comme habitat d'intérêt communautaire prioritaire au titre de la Directive Habitat, le Cratoneurion héberge de nombreuses espèces de faune et de flore, inféodées ou présentes de manière irrégulière.

D'un point de vue floristique, on retrouve plusieurs espèces très spécialisées, conditionnées par la permanence d'une humidité élevée, voire d'une ou plusieurs veines liquides courantes, en contexte carbonaté. La végétation indicatrice est dominée par des bryophytes telles que *Brachythecium rivulare*, *Bryum pseudotriquetrum*, *Cratoneuron filicinum* et *Palustriella commutata*. Aux bryophytes s'ajoute parfois une strate herbacée plus ou moins dense comprenant essentiellement des Saxifragacées (*Saxifraga aizoides*, *Saxifraga stellaris*, etc.), des Brassicacées (*Arabis soyeri* subsp. *subcoriacea*, *Cochlearia pyrenaica*, etc.) et des Cypéracées. La présence d'algues est également à noter.

Au niveau faunistique, les secteurs à tufs hébergent des espèces caractéristiques des zones humides, parfois rares et remarquables. La diversité et l'abondance spécifique est entièrement dépendante du contexte biogéographique et de la physionomie du site (présence de bassin, pente, courant). Des amphibiens, des reptiles, des papillons, des libellules, mammifères, ... peuvent y être observés. Selon les contextes, les espèces remarquables suivantes peuvent par exemple y être rencontrées : salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*), écrevisse à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes*), codulégastre annelé (*Cordulegaster boltoni*) et codulégastre bidenté (*C. bidentata*), ou encore de l'agrion de mercure (*Coenagrion mercuriale*) (Villaret, 2019) (Fig. 5).



Figure 5 : Larve de *Cordulegaster bidentata* inventorié dans une tufière de l'Ain. IFREEMIS, 2022.

### 1.5 Les pressions et menaces associées aux tufières

À débit et conditions bio-physico-chimiques constants, cet habitat intrinsèquement fragile peut rester stable. En revanche, le moindre déséquilibre physico-chimique peut conduire à des changements de communautés végétales et avoir des répercussions sur l'accrétion de matières minérales au sein des formations tufeuses. Par exemple, un changement dans la composition des eaux (eutrophisation) allié à une élévation de température entraîne des développements d'algues filamenteuses qui recouvrent alors les communautés bryophytiques et les font dépérir (effets phytotoxique salgaux). La morphologie de ces algues offre une interface eau-air moindre à celle des bryophytes. En suivant ce principe, la précipitation des carbonates diminue et freine ainsi la vitesse de développement des formations tufeuses.

Un système tufeux peut évoluer vers des états dégradés lorsque les sources se tarissent, phénomène parfois amplifié dans un contexte de modifications climatiques. Nécessitant des apports en eau constants, il est en effet particulièrement sensible aux modifications de l'alimentation et de l'écoulement de l'eau. Toutes formes de modification (canalisation, prélèvement, drainage, extraction de matériaux rejets ponctuels, pollutions, ...) entraînent des effets négatifs impactant son état de conservation et ses fonctionnalités.

Cet habitat peut aussi subir des dégradations directes du fait de la fréquentation humaine (plus ou moins importante selon les sites). Ce facteur constitue la seconde menace principale qui pèse sur le bon fonctionnement et le bon état de conservation de ces milieux. Le piétinement humain, l'escalade ou le canyonisme et le ruisseling, les prélèvements de matériaux tufeux, le passage de véhicules, tout comme le passage de bétail ou de grands gibiers (sangliers) peuvent entraîner des phénomènes d'érosion du tuf, de pollution de l'eau et de dégradation de son cortège végétal et faunistique. Certaines routes, voies de desserte et même sentiers situés à l'amont hydraulique ou bien coupant les dépôts peuvent également nuire à leur fonctionnement. Suite aux modifications du fonctionnement hydrologique, des phénomènes d'invasion par les ligneux et même par les invasives sont

également constatés sur de nombreux sites. Selon le type d'essence arborée rencontrée, cette dynamique ligneuse peut avoir des conséquences sur le débit par l'absorption racinaire et l'état physico-chimique de l'eau (acidification, réchauffement de l'écoulement moindre).

Enfin, toutes ces pressions cumulées mettent en péril ces habitats naturels rares, remarquables et fragiles.

## 2 METHODOLOGIE

---

La sélection des sites pilotes et de la tufière référente s'appuie, dans un premier temps, sur une extraction des tufières identifiées aux Inventaires départementaux des Zones Humides (IZH), puis dans un deuxième temps, sur une méthode dite de « l'opportunité ». Celle-ci consiste à se rapprocher des opérateurs locaux afin d'obtenir une première vision des enjeux et des pressions pesant sur les formations tufeuses. Compte tenu du cadre administratif et des critères de sélection se voulant représentatif de la diversité des contextes géologique, géographique, topographique, climatique et biogéographique du bassin Rhône-RA, ces méthodes se sont avérées être les plus appropriées au vu des délais impartis.

La méthode se hiérarchise en six phases :

1. Extraction des tufières identifiées à l'IZH et appel à participation des opérateurs locaux afin de faire remonter la présence de tufières dégradées ou en bon état de conservation sur leur territoire.
2. Compilation des données afin de les juxtaposer au cadre administratif.
3. Phase de terrain confirmant l'état de conservation des systèmes tufeux.
4. Classification des tufières prospectées.
5. Présélection des tufières pilotes et référentes potentiels durant un comité technique (COTECH).
6. Sélection de quatre tufières pilotes et d'une tufière référente compte tenu des volontés locales.

### 2.1 Appel à participation des opérateurs locaux

Afin d'établir un premier état de conservation des tufières du bassin Rhône-RA, l'ensemble des opérateurs locaux concernés de près ou de loin par l'habitat Cratoneurion ont été consulté entre décembre 2021 et janvier 2022. L'objectif de cet appel est, d'une part, de recueillir les connaissances présentes sur le territoire, et d'autre part, d'établir une pré-liste des tufières jugées dégradées ou en bon état de conservation.

Les opérateurs locaux contactés sont :

- Les Etablissements Publics Territoriaux de Bassin (EPTB)
- Les syndicats gestionnaires de rivières et d'espaces protégés
- Les Conservatoires des Espaces Naturels (CEN)
- Les Conservatoires Botaniques Nationaux (CBN)
- Le Muséum National d'Histoire Naturel (MNHN)
- Les Parcs Naturels Régionaux (PNR)
- Les Parcs Nationaux (PN)
- Les gestionnaires de Réserves Naturelles (RN)
- Les fédérations et associations de pêche, de canyonisme et de spéléologie
- Les communautés de communes lorsque certains secteurs manquaient de données

En parallèle de cette prise de contact, la recherche de retours d'expériences (REX) auprès des opérateurs a également été menée. De cette action, un premier constat est ressorti et appuie la pertinence du projet Rezoh-tuf. Les opérateurs locaux ont relativement peu de connaissance sur les

dynamiques, les fonctionnalités hydrologiques et les services rendus d'une tufière. Ainsi, la prise en considération des tufières dans les stratégies de gestion et d'action est relativement restreinte et a des échelles peu adaptées.

## 2.2 Compilation des données récoltées

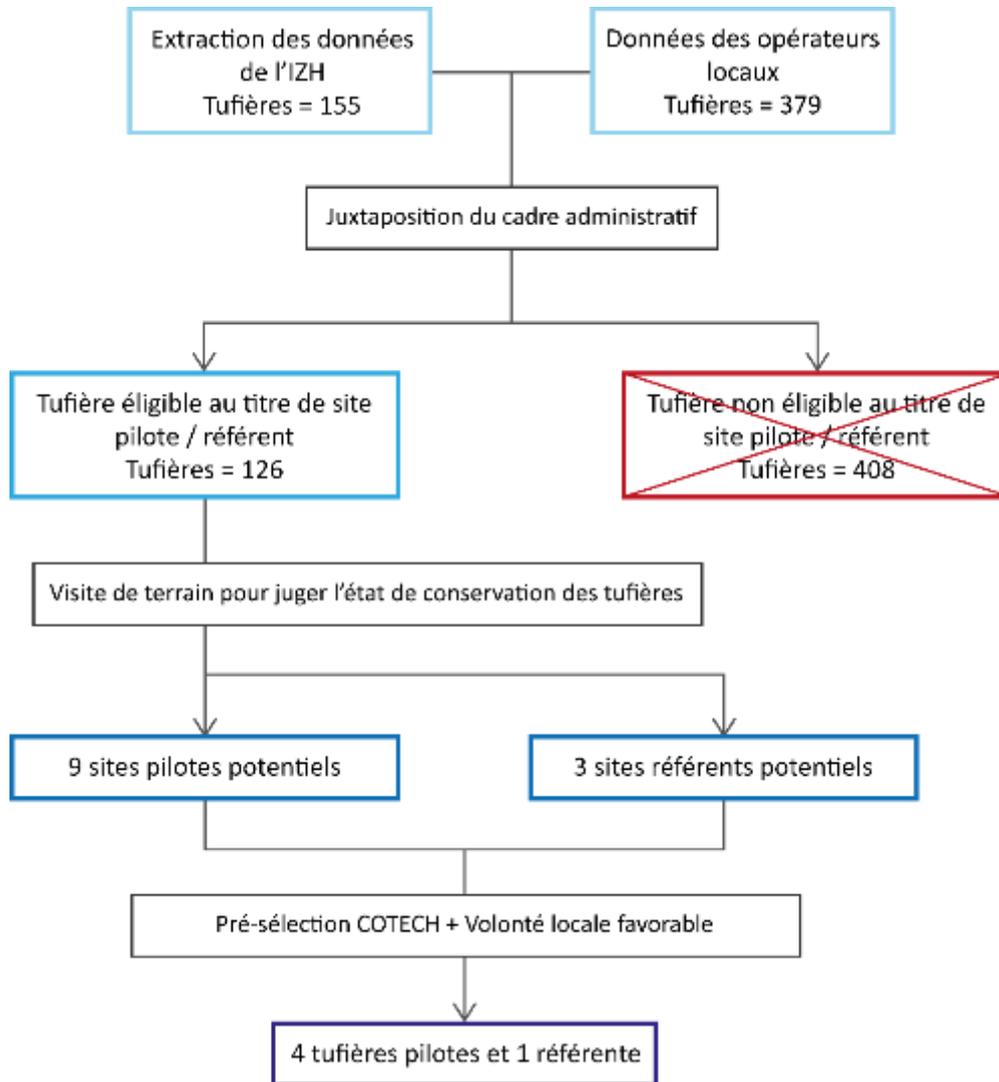


Figure 6 : Organisation de la méthodologie appliquée. IFREEMIS, 2022

De cette première phase, en ressort une liste non exhaustive de 534 tufières jugées dégradées ou en bon état de conservation par les opérateurs locaux (Fig. 6). Le nombre de tufières recensées s'avère relativement restreint à l'échelle du bassin Rhône-RA. Ce résultat reflète le manque de données et d'inventaires sur l'habitat Cratoneurion notamment sur le territoire de l'Ain, une sous-considération des tufières dans les outils de gestion et également un faible taux de réponse à l'appel.

A cette liste ont été juxtaposés les critères administratifs de la Région AuRA stipulant qu'une tufière pilote doit (i) intégrer un réservoir de biodiversité tout en étant en dehors (ii) des zones éligibles ou

couvertes par un contrat vert et bleu et (iii) des zones Natura 2000 si une fiche action cible les tufières. Ainsi à ce stade, 126 formations tufeuses peuvent prétendre au statut de site pilotes et référents.

### 2.3. Phase de terrain confirmant l'état de conservation des tufières

En priorité, les tufières dégradées et prétendant au statut de site pilote et référent ont fait l'objet d'une visite de terrain pour confirmer leur état de conservation. Ainsi, 49 sites potentiels ont été prospectés (Fig. 6, 7 et 8). Pour faciliter et harmoniser la prise de notes entre chaque site visité, une fiche de relevé de terrain a été construite et utilisée comme support (Annexe 1).

Les données recensées sont :

- Les paramètres d'état
- Les indicateurs de fonctionnement et d'évolution (origine de la minéralisation, topographie du parcours tufeux, taux de recouvrement végétal, etc.)
- Les valeurs géopatrimoniales
- Les activités environnantes
- Les aménagements présents
- Les dysfonctionnements rencontrés

Nom de la tufière	Département	Commune	Site référencé à l'IZH	Zone éligible : Site pilote	Etat de conservation	Site pilote/ référent potentiel
01-sei-01	Ain	Seillonaz	Non	En dehors	Dégradé	Non
01-sei-02	Ain	Seillonaz	Non	En dehors	Menacé	Non
01-lom-01	Ain	Lompnaz	Non	En dehors	Dégradé	Non
01-mag-01	Ain	Magnieu	Oui	En dehors	Dégradé	Non
01-vir-01	Ain	Virieu-le-Grand	Non	En dehors	Menacé	Non
01-mon-01	Ain	Montanges	Non	En dehors	Bon	Non
01-mon-02	Ain	Montanges	Non	En dehors	Dégradé	Non
01-mon-03	Ain	Montanges	Non	En dehors	Dégradé	Non
01-cham-01	Ain	Chamfromier	Non	En dehors	Bon	Non
01-nan-01	Ain	Nantua	Non	Dedans	Menacé	Non
01-cer-01	Ain	Cerdon	Non	En dehors	Menacé	Non
01-cer-02	Ain	Cerdon	Non	Dedans	Bon	Non
07-val-01	Ardèche	Vallon-Pont-d'Arc	Oui	Dedans	Dégradé	Oui
07-val-02	Ardèche	Vallon-Pont-d'Arc	Non	Dedans	Dégradé	Oui
07-roc-01	Ardèche	Roche-colombe	Non	En dehors	Dégradé	Non
07-roc-02	Ardèche	Roche-colombe	Non	En dehors	Menacé	Non
07-lau-01	Ardèche	Saint-Laurent-sur-Coiron	Oui	Dedans	Menacé	Non
07-lar-01	Ardèche	Larnas	Oui	Dedans	Dégradé	Oui

07-lav-01	Ardèche	Lavilledieu	Oui	En dehors	Menacé	Non
26-aub-01	Drôme	Aubres	Non	Dedans	Dégradé	Oui
26-sao-01	Drôme	Saou	Oui	Dedans	Menacé	Non
26-mor-01	Drôme	Mornans	Oui	Dedans	Menacé	Non
26-bou-01	Drôme	Bouvières	Oui	En dehors	Dégradé	Non
26-eyg-01	Drôme	Eygluy-Escoulin	Non	En dehors	Dégradé	Non
26-eyg-02	Drôme	Eygluy-Escoulin	Non	En dehors	Dégradé	Non
26-gig-01	Drôme	Gigors-et-Lozeron	Non	En dehors	Dégradé	Non
38-alb-01	Isère	Albenc	Non	En dehors	Dégradé	Non
38-and-01	Isère	Saint-André-en-Royan	Non	En dehors	Bon	Non
38-cho-01	Isère	Choranche	Oui	Dedans	Bon	Oui
38-cho-02	Isère	Choranche	Oui	Dedans	Bon	Oui
38-cho-03	Isère	Choranche	Oui	Dedans	Bon	Oui
38-pie-01	Isère	Saint-Pierre-de-Chérennes	Non	En dehors	Dégradé	Non
38-cog-01	Isère	Cognin-les-gorges	Oui	Dedans	Menacé	Non
38-mar-01	Isère	Saint-Martin-de-Clelles	Oui	Dedans	Menacé	Non
38-mar-02	Isère	Saint-Martin-de-Clelles	Oui	Dedans	Dégradé	Oui
73-cog-01	Savoie	Cognin	Non	En dehors	Menacé	Non
73-jac-01	Savoie	Jacob-Bellecombette	Non	En dehors	Dégradé	Non
73-cha-01	Savoie	Chambéry	Non	En dehors	Dégradé	Non
73-chal-01	Savoie	Challes-les-eaux	Non	En dehors	Dégradé	Non
73-mot-01	Savoie	La Motte-Servolex	Non	En dehors	Dégradé	Non
73-mon-01	Savoie	Montcel	Non	En dehors	Dégradé	Non
73-tre-01	Savoie	Trévignin	Non	En dehors	Bon	Non
73-jar-01	Savoie	Jarsy	Non	Dedans	Dégradé	Oui
73-jar-02	Savoie	Jarsy	Non	Dedans	Dégradé	Oui
73-jar-03	Savoie	Jarsy	Non	Dedans	Bon	Non
73-pla-01	Savoie	Plancherine	Non	En dehors	Bon	Non
74-gru-01	Haute-Savoie	Gruffy	Oui	Dedans	Dégradé	Oui
74-gru-02	Haute-Savoie	Gruffy	Non	En dehors	Dégradé	Non
74-gru-03	Haute-Savoie	Gruffy	Non	Dedans	Dégradé	Oui

## 2.4. Classification des tufières prospectées et sélection des sites pilotes et référents

De ces analyses de terrain est ressorti un classement des tufières en 2 catégories : les sites pilotes potentiels comptant 9 tufières et les tufières références potentielles au nombre de 3.

Les tufières pilotes et référente ont fait l'objet d'une pré-sélection entre les partenaires du projet Rezoh-tuf durant un comité technique. Les critères de pré-sélections se sont référés, dans un premier temps, aux contextes des sites (géologique, géographique, topographique, climatique et biogéographique), et dans un deuxième temps, à la diversité des fonctionnalités et des dysfonctionnements à l'échelle d'un site et entre les sites pilotes potentiels. Le nombre de tufières s'est ainsi réduit à 5 pour les sites pilotes potentiels et à 1 pour la tufière référente potentielle (Fig. 6).

Enfin, l'acceptation du projet par les acteurs locaux a permis de finaliser la sélection des sites. Par conséquent les choix se sont portés sur la tufière de Darne (Saint-Martin-de-Clelles, Isère), la tufière de Révaou (Vallon-Pont-d'Arc, Ardèche), la tufière de la Touvière (Jarsy, Savoie) et la tufière des Vauthières (Gruffy, Haute-Savoie) comme sites pilotes. Enfin, la tufière référente sélectionnée est celle de Choranche (Choranche, Isère) pour ses morphologies diverses, son excellent état de conservation et l'intérêt scientifique qu'elle a déjà suscité (Delannoy, 1981 ; Delannoy 1997 ; Lecornu, 2020).

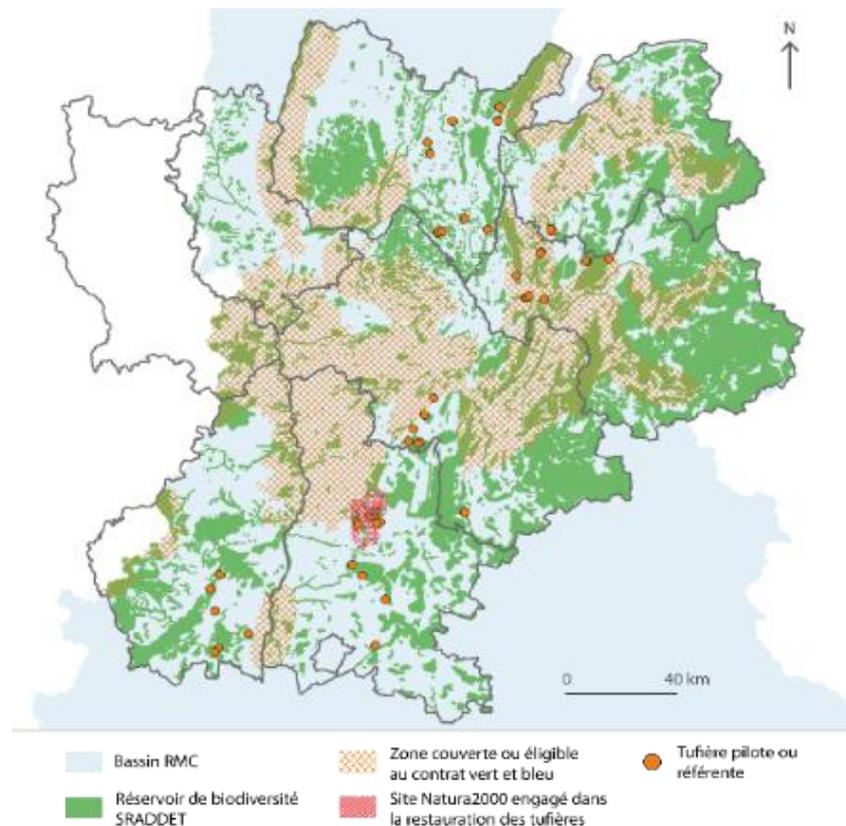


Figure 8 : Les 49 sites prospectés. La représentation de la zone Natura2000 « Gervanne et rebord occidental du Vercors » s'explique du fait que ce site soit le seul à avoir influencé le choix des tufières pilotes. En effet, ces fiches actions ciblent les tufières. IFREEMIS, 2022

## 3 DESCRIPTION DES SITES PILOTES ET DU SITE REFERENT RETENUS

Les sites sélectionnés sont représentatifs des contextes, des fonctionnalités et des pressions caractérisant les systèmes tufeux du bassin Rhône-RA. Par conséquent, une attention a été portée à ce que les tufières pilotes (i) couvrent les aires biogéographiques continentale, alpine et méditerranéenne, (ii) se forment en systèmes hydro-géomorphologiques distincts (géologie, topographie, étagement altitudinal, climat) et (iii) soit les objets de pressions et dégradations variées entraînant la modification de la physico-chimie de l'eau et des conditions d'écoulement (captage AEP ou agricole, dérivation, pollution, acidification par l'enrésinement, etc.) (Fig. 9).

En revanche, la tufière référente, en bon état de fonctionnement, est représentative des fonctionnalités hydrologique, biogéochimique et biologique des sites pilotes.

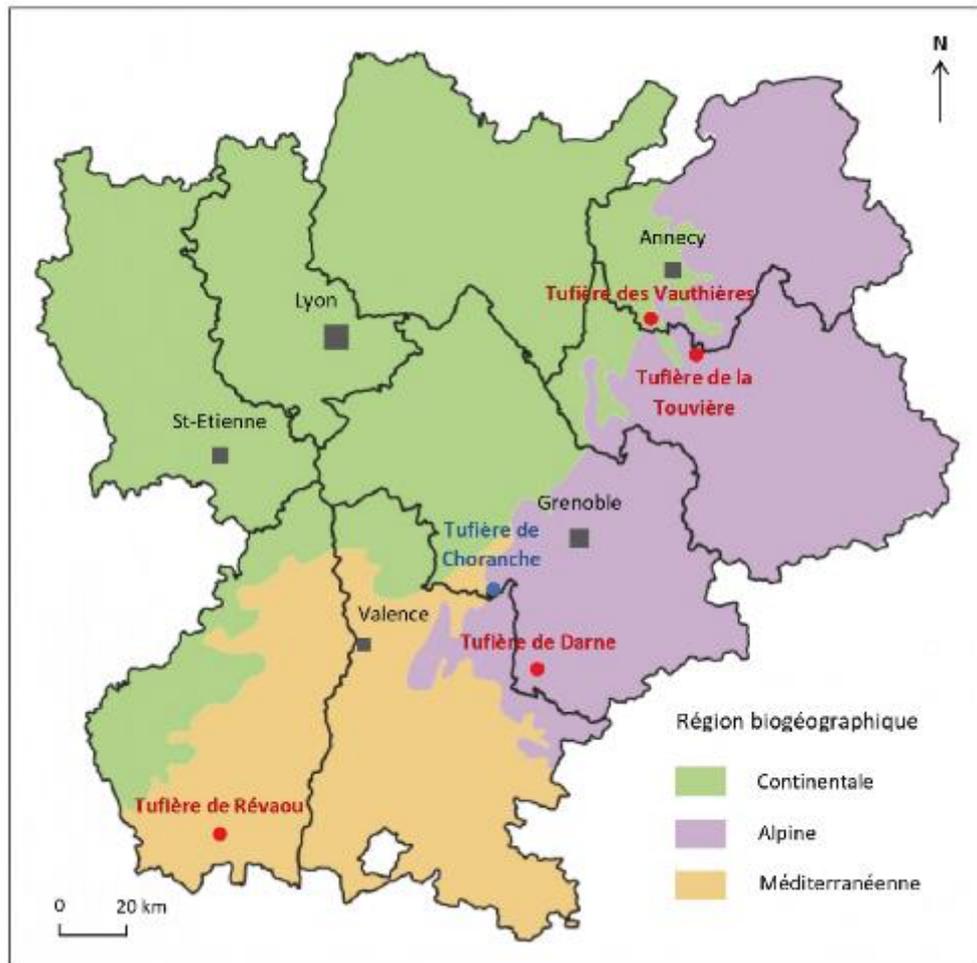
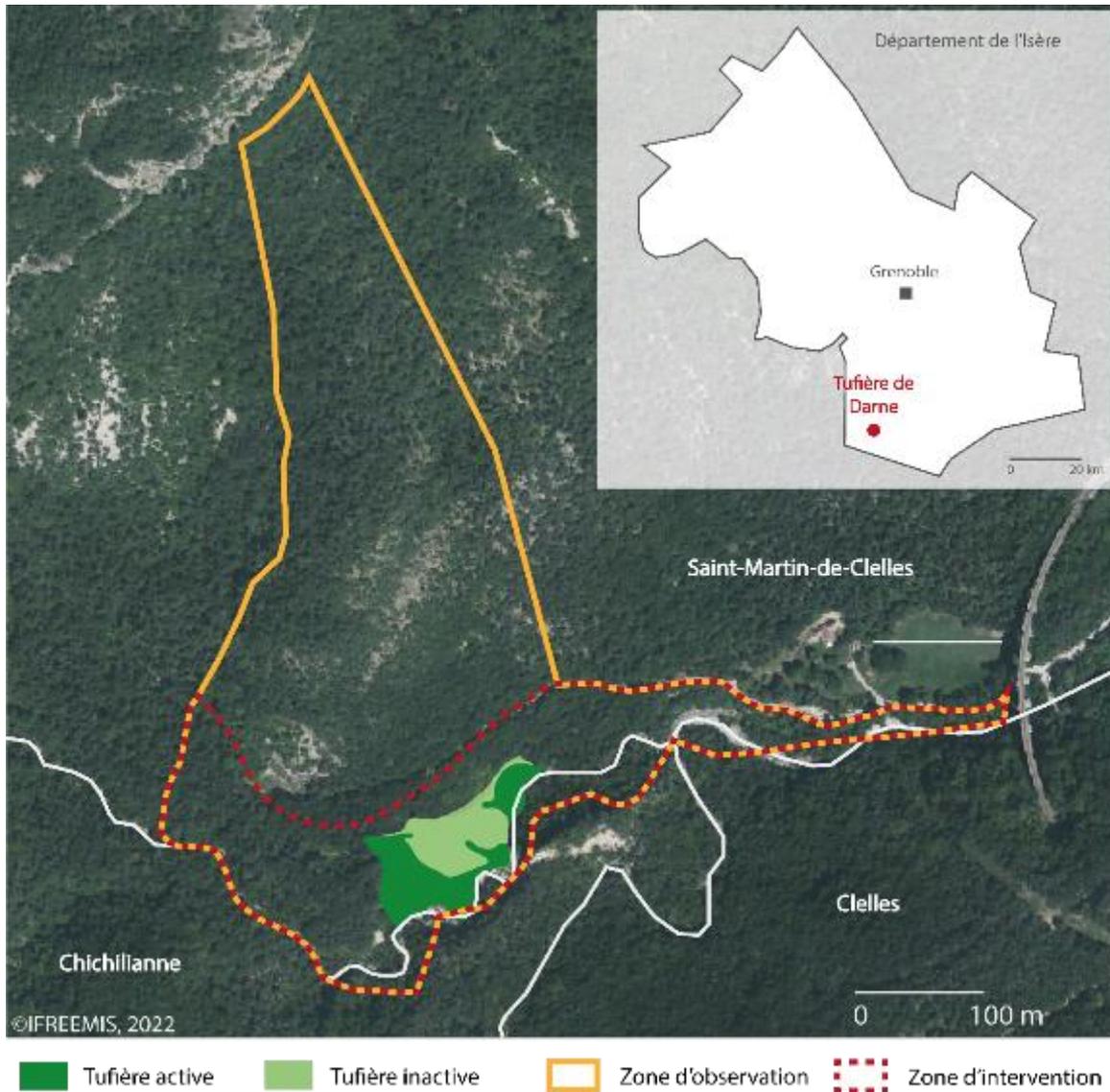


Figure 9 : Limite de l'ENS « Site de Darne ». IFREEMIS, 2022.

### 3.1 Tufière pilote 1 (TP1) : Le site de Darne

#### 3.1.1 Contexte du site

##### Statut et inventaire



Le tufière de Darne, située dans la région biogéographique alpine sur la commune de Saint-Martin-de-Clelles, se développe au sud du sous-bassin versant « Drac aval » (Code : ID\_09\_03) et plus exactement dans la masse d'eau superficielle « Ruisseau d'Orbannes » (Code : FRDR2018a). Cette dernière, compose la masse d'eau souterraine du « Domaine plissé bassin versant Romanche et Drac » (Code de la masse d'eau : FRDG407) définie, dans le SDAGE de 2015, en « bon état quantitatif » et en « bon état chimique ».

Le site est également répertorié dans l'inventaire des zones humides sous le nom de « Tufière de Darne » (Code : 38TE0012).

D'une superficie de 8 000 m<sup>2</sup>, comprise entre 820 à 790 m d'altitude, la tufière de Darne est labélisée par le Département de l'Isère en Espace Naturel Sensible « Tufière de Darne » depuis 2018 et s'insère dans la zone d'intervention (5,024 ha). Cet espace est défini comme étant le secteur sur lequel sont engagées la plupart des opérations de gestion. Son bassin d'alimentation en eau superficiel est relativement restreint, et semble être entièrement couvert par la zone d'observation de l'ENS (13,54 ha) (Fig. 10). Elle intègre également le site Natura 2000 « Hauts plateaux et contreforts du Vercors oriental » (FR8201744) géré par le Parc Naturel Régional du Vercors et la ZNIEFF de type 1 « Source captée de Fontan »

La commune de Saint-Martin-de-Clelles, propriétaire foncier de la tufière, suit une politique de préservation des ENS sur son territoire. Après le lancement d'un appel d'offre, porté par la commune, le Conservatoire des Espaces Naturels de l'Isère (CEN Isère) a été missionné pour la construction d'un plan de gestion 2022-2026. Ce document, dont les actions sont complémentaires au projet Rezoh-tuf, a pour objectif de favoriser la biodiversité et le bon fonctionnement des cycles naturels des espèces (CEN Isère, 2021).

### Contexte hydrogéologique

Situé dans la région biogéographique alpine, le Trièves est une dépression ouverte en direction du nord et cerné par les massifs du Vercors et le massif du Dévoluy (Fig. 11). Les eaux entaillent par des ravines le fond relativement plan de la dépression et rejoignent l'Ebron. Le sens de circulation S-N de la rivière sépare le Trièves en deux parties : le Trièves oriental et le Trièves occidental où se forme en bordure du Vercors méridional la tufière de Darne.

Ainsi, la tufière de Darne s'insère dans ce contexte en se développant sur un talus d'éboulis au nord d'une entaille coupant une barre tithonique (Fig. 12). Le système tufeux est dominé par un éperon de calcaire du Séquanien (calcaires durs lités en bancs minces stratifiés), dont la base ennoyée s'insère dans l'éboulis marno-calcaire. Les eaux s'infiltrant donc dans les formations calcaires fissurées, rejoignent les sédiments de l'éboulis et sourdent en parcourant la tufière. Selon un rapport hydrologique sur la protection des captages de la commune de Saint-Martin-de-Clelles, le débit d'étiage de la source de Fontanil est estimé à 14,3 l/s en 2009. Toutefois, cette estimation se réfère à 4 mesures en l'espace de 40 ans et ne permet pas de caractériser un débit d'étiage fiable.



Figure 11 : Dépression du Trièves au sein de laquelle s'insère le site de Darne (point rouge). geol-alp.com

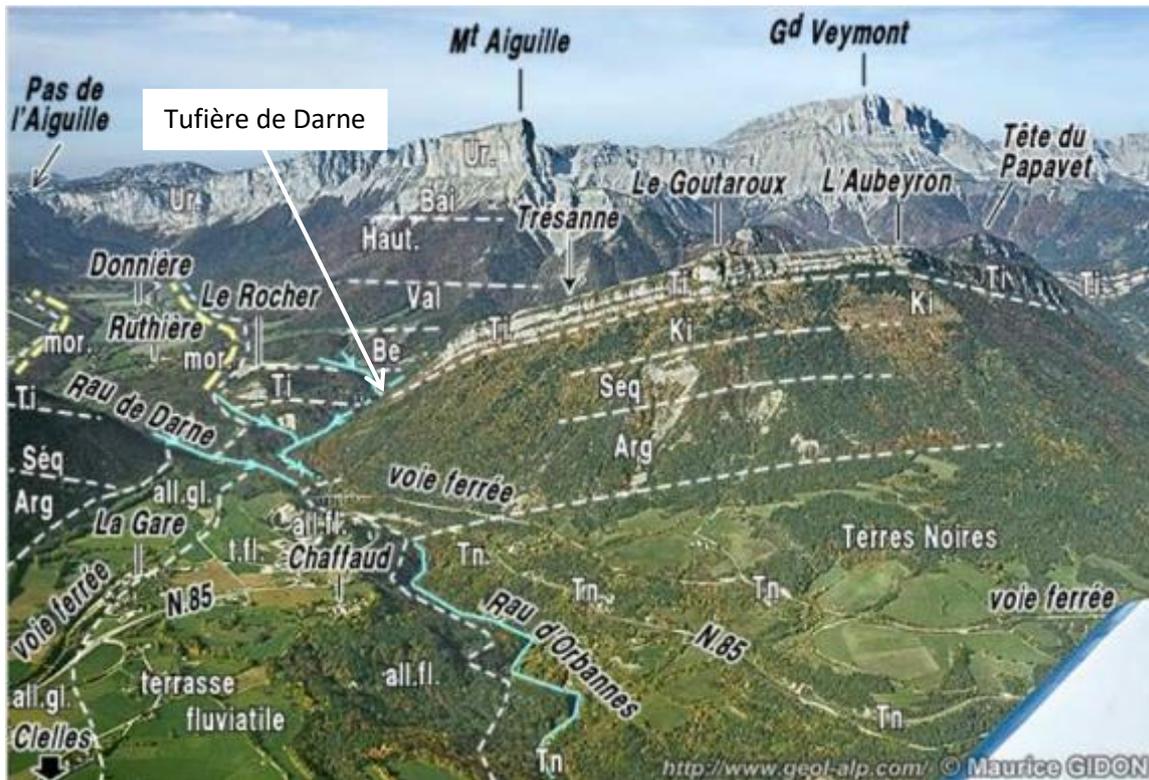


Figure 12 : Barre tithonique entaillée par le réseau hydrographique de l'Orbannes. 2020.

### Evolution paysagère et activités environnantes

D'après les études géographiques (Robequain C, 1972) et les archives (cartes et photographies aériennes anciennes), le site de Darne a été peu exploité compte tenu des contraintes topographiques et de l'instabilité des pans marneux.

A la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, la construction de la ligne ferroviaire a nécessité un approvisionnement en eau régulier. Le captage de Fontanil, créé à cet effet, a par la suite été cédé aux communes de Clelles et Saint-Martin-de-Celles afin de répondre à leurs besoins en eau.

L'amont du système tufeux, relativement plan sur certains secteurs, a tout de même accueilli une activité agricole par la pratique de la fauche et du pâturage. Un muret, soutenant l'ancienne terrasse en rive gauche, peut également être le témoin de cette activité passée. Ce type d'aménagement limite la divagation de l'écoulement et l'inondation des terres agricoles. Vers les années 1960, l'activité cesse au profit d'une recolonisation de la végétation ligneuse. Seule une clairière entretenue par des coupes occasionnelles persiste.

En 1970, le paysage de la tufière évolue brutalement. Un glissement de terrain assez conséquent, dû aux importantes chutes de neige de l'hiver précédent associées à un redoux précoce, a certainement modifié les dynamiques d'écoulements (Fig. 13). Progressivement, la végétation s'est réappropriée l'espace hormis sur les secteurs verticaux.



Figure 13 : Glissements de terrain (1970) modifiant les dynamiques d'écoulements de la tufière de Darne. Géoportail, 07/1970.

### 3.1.2. Présentation du site

Le site de Darne repose sur un vaste complexe tufeux d'environ 8 000m<sup>2</sup> (tuf actif et inactif) présentant un système actif scindé en deux par la potentielle action d'un forçage anthropique. Deux tufières, aux fonctionnalités distinctes, poursuivent ainsi leur développement parallèlement. Pour l'une d'elles, les dynamiques d'écoulement continuent d'être contraintes par le captage communal de Fontanil présent à la source. En revanche, la seconde tufière poursuit son évolution naturelle sans présence de dysfonctionnements avérés.

Compte tenu des objectifs du projet, les actions de restauration conduites par l'IFREEMIS se porteront sur la tufière amont aux fonctionnalités dégradées.

#### Patrimoine naturel (Annexe 1 : liste des espèces)

Les données relatives à la flore et à la faune sont non exhaustives et issues des connaissances actuelles et disponibles :

- Du CEN 38 pour l'ensemble des groupes : Plusieurs campagnes d'inventaires ont été menés en 2020 pour la construction d'un plan de gestion.
- De la base de données « Biodiv'AuRA » (extraction avril 2022)

Les tufières s'inscrivent dans des contextes d'écosystèmes en mosaïque, parmi lesquels sont retrouvés des habitats associés ou en contacts. Ces milieux connexes constituent des lieux de vie temporaires ou permanents pour des espèces faunistiques ou floristiques. Ainsi, certaines espèces présentées sont parfois indirectement associées aux tufières et mènent seulement une partie de leur cycle biologique en zone humide (reproduction, chasse, etc.).

#### *Caractéristiques floristiques :*

Au total, 126 espèces de plantes vasculaires sont recensées sur l'ENS et ses environs. Parmi elles, le site de Darne compte 4 espèces à enjeu : le Cirse de Montpellier (*Cirsium monspessulanum*),

l'Herbe dorée (*Senecio doria*), l'Inule de Suisse (*Inula helvetica*) et la Grassette à grande fleur (*Pinguicula grandiflora*). Leur développement, sous forme de station remarquable pour les deux premières, est lié à la présence d'écoulement tufeux. La flore représente ainsi un enjeu relativement fort sur la tufière de Darne et plus largement sur l'ENS.

#### Caractéristiques faunistiques :

Compte tenu des conditions physiques du site, tel que son enclavement forestier, la tufière ne peut abriter une grande diversité de groupes et d'espèces faunistiques habituellement inventoriés.

Au total, 74 espèces faunistiques sont recensées dans l'ENS. Cette liste comprend notamment 26 espèces ornithologiques et 28 espèces de papillons parmi lesquelles sont comptées la Bacchante (*Lopinga achine*) et l'Apollon (*Parnassius apollo*), toutes deux à fort enjeu.

#### Description géomorphologique de la tufière et de ses dynamiques d'écoulements

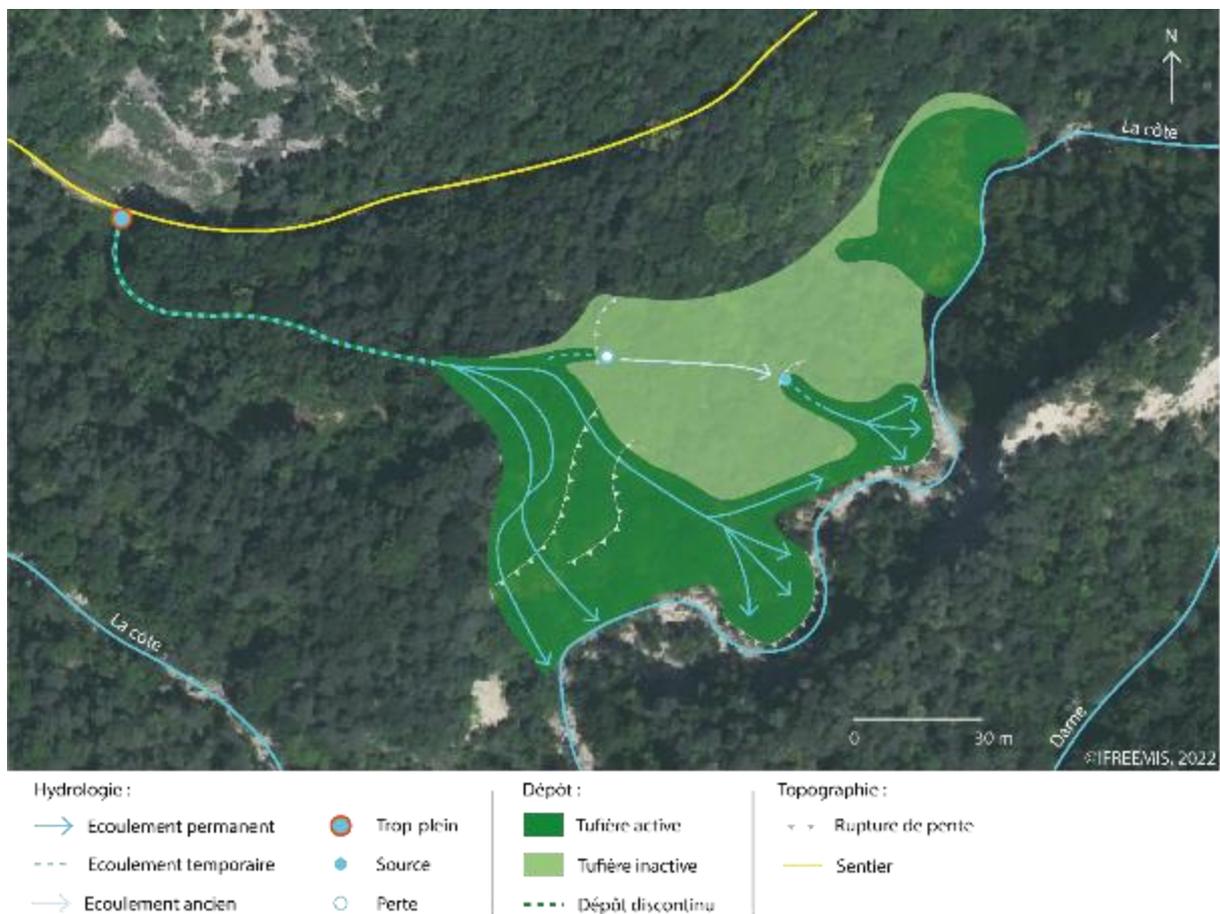


Figure 14 : Dynamiques des écoulements tufeux provenant du trop-plein de Fontanil. IFREEMIS, 2022

Les eaux, issues du trop-plein du captage de Fontanil, sourdent par deux buses à l'aval du sentier. Un ruisseau d'environ 1,5 m de large se forme sur 50 m de long en atteignant progressivement 3 m de large. La pente inférieure à 5% et la végétation arborée limite l'action des paramètres favorables au dépôt de tuf. Seuls quelques encroutements se forment au niveau de micro-seuils d'une dizaine de centimètres (Fig. 14 : 1).

L'écoulement poursuit son cheminement en se diffusant sur 15 m de long avant d'atteindre progressivement 70 m de large en période de hautes eaux. Associé à une pente plus importante (5 à 10%), le carbonate de calcium précipite et forme des successions de gours tufeux (barrage entre 10 à

30 cm de haut) (Fig. 14 : 2). La couverture arborée, dense sur ce secteur, contribue à la genèse de ces morphologies par la présence de branches au sol. Les gours sont totalement recouverts de mousses, hormis sur les secteurs colonisés par des bosquets denses de ronces.

Puis, une rupture de pente abrupte divise les eaux en trois écoulements cascadants et concentrés (Fig. 15). Les deux parcours les plus à l'ouest ont des hydrodynamiques assez similaires. Tous deux suivent, à l'aval des cascades, une pente uniforme d'environ 40 % sur 30 m de long sans aucune végétation (Fig. 14 : 3). Le parcours à l'est, d'environ 50 m de



Figure 15 : Rupture de pente à l'amont des parcours tufeux est. IFREEMIS, 2022.

long, débute par l'enchaînement de deux cascades (6 m de haut pour la première et 3 m pour la deuxième), puis s'écoule sur une succession de gours le long d'une pente concave (Fig. 14 : 4). Selon l'inclinaison de la pente, les gours suivent un gradient morphologique. En pente élevée, les barrages sont hauts et retiennent un bassin étroit, à l'inverse, sur les secteurs plans ces derniers ont une faible hauteur et retiennent un large bassin. Ce parcours tufeux est tapissé de bryophytes, notamment sur les secteurs pentus et couvert par une végétation arborée dense. Enfin, une dernière rupture de pente entraîne l'écoulement vers la rivière principale.

Temporairement, en période de hautes eaux, une faible partie de l'écoulement se dirige vers un paléo-parcours tufeux à l'est du système actif. D'une largeur de 4 m sur une longueur de 60 m, cet ancien lit suit une pente moyenne de 30%. D'amont en aval, le parcours se compose sur 10 m d'une succession de gours comblés par de la matière organique, puis d'une cascade d'environ 3 m de hauteur. L'écoulement temporaire se perd à l'aval de cette première cascade avant de resurgir en une multitude de suintements à l'aval d'une deuxième cascade (20 m en contrebas). Ces eaux diffuses alimentent un bas-marais à Choin et de petits gours couverts de bryophytes sur une trentaine de mètres avant de rejoindre la Côte (rivière principale) (Fig. 14 : 5).

A l'échelle du complexe tufeux, l'épaisseur de tuf actif et inactif varie selon les processus de dépôt prédominants. Compte tenu de la géomorphologie du site, l'épaisseur de la tufière semble varier de quelques centimètres à une dizaine de mètres. Couplée à l'analyse des paléo-dynamiques d'écoulement, l'accumulation de tuf évolue davantage par des migrations de l'écoulement latérales que par des avancées progredientes. Ainsi, par son amplitude et ses épaisseurs, la tufière de Darne est un système tufeux relativement ancien et pouvant être qualifié de sénile.

### Dysfonctionnements

La perte de débit, due au captage d'eau potable de Fontanil, est le seul dysfonctionnement perturbant la dynamique de la tufière. Ce forçage anthropique a généré plusieurs évolutions renforçant la dégradation du système tufeux. Une ancienne terrasse ainsi que le parcours inactif, tous deux à l'est de l'écoulement actuel, témoignent de plusieurs niveaux d'assèchement sur au moins 1/3 de la tufière (Fig. 16). Toutefois, le dernier paléo-niveau d'eau peut être davantage corrélé au glissement de terrain survenu en 1970.

La baisse du niveau d'eau, dû au forçage anthropique et dans une moindre mesure aux dynamiques naturelles, s'est avérée favorable à l'embroussaillage progressif du secteur amont (au-dessus des ruptures de pente) mais également au niveau du parcours est par des Aulnes blancs (Fig. 17). Les deux lits cascadants à l'ouest sont épargnés par cette dynamique ligneuse. La migration d'une part importante de l'écoulement vers l'ouest compte tenu de la topographie et les hydrodynamismes concentrés des deux parcours en sont les principales raisons.

De plus, quelques algues filamenteuses, présentes à l'aval du parcours est, se développent dans les bassins de gours à faible débit et induisent leur eutrophisation.



Figure 16 : Paléo-parcours tufeux asséché par le captage d'eau potable. IFREEMIS, 2022



Figure 17 : Secteur à l'amont des ruptures de pente (Fig. 14 : 2) embroussaillé par la végétation ligneuse. IFREEMIS, 2022.

Synthèse des enjeux, pressions et services rendus

Enjeux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Préserver la pérennité de la ressource en eaux potable des communes de Clelles et Saint-Martin-de-Clelles</li> <li>• Gérer la dynamique ligneuse afin de restaurer une partie des fonctionnalités hydrologiques et biologiques de la tufière</li> <li>• Rechercher un compromis entre enjeux sociaux et écologiques</li> </ul>
Fonctionnalités	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ralentissement de la vitesse d'écoulement par la diffusion de l'eau</li> <li>• Amélioration de la qualité de l'eau par la séquestration d'éléments dissous</li> <li>• Support pour l'accomplissement du cycle biologique des espèces inféodées ou présentes temporairement (Cirse de Montpellier)</li> </ul>
Pressions	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Captage à la source pour la ressource en eau potable ayant entraîné l'assèchement et l'embroussaillage d'une partie du système actif</li> <li>• Bassin d'alimentation non défini limitant les opérations de restauration de la qualité de l'eau à cette échelle</li> </ul>
Service rendu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ressource en eau potable pour la commune de Clelles et Saint-Martin-de-Clelles</li> <li>• Support de médiation</li> </ul>

### 3.2 Tufière pilote 2 (TP2) : Le site de Révaou

#### 3.2.1 Contexte du site

##### Statut et inventaire

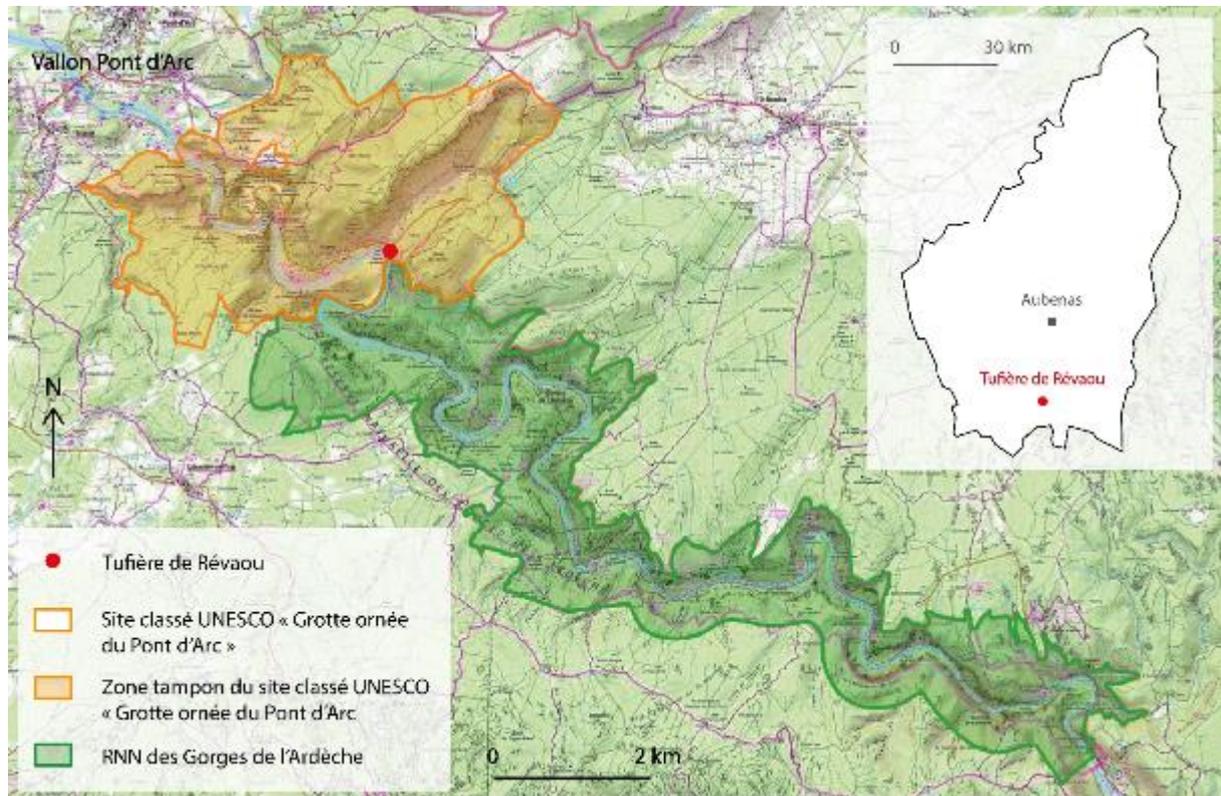


Figure 18 : Limite du site classé au titre de l'UNESCO « Grotte ornée du Pont d'Arc » et de la RNN « Gorge de l'Ardèche ». IFREEMIS d'après l'IGN, 2022.

Sur la commune de Vallon-Pont-d'Arc dans l'aire biogéographique méditerranéenne, la tufière de Révaou se forme à l'aval du sous bassin-versant de « l'Ardèche » (Code : AG\_14\_01) et est un affluent de la masse d'eau superficielle « L'Ardèche de la confluence de l'ibie au Rhône », définie, dans le SDAGE de 2015, en « bon état chimique » et en « état écologique moyen ». La source, située sur la rive gauche du méandre de Révaou à 110m d'altitude, compose également la masse d'eau souterraine « Calcaires urgoniens des garrigues du Gard et du Bas-Vivarais dans le BV de l'Ardèche » évaluée en « bon état chimique » dans le SDAGE de 2015. Plus localement, le bassin d'alimentation de la tufière est partiellement identifié et couvre le col de Serre de Tourre selon Belleville Luc (1985).

L'édifice tufeux, non référencé dans l'inventaire des zones humides, s'insère dans le site Natura 2000 « Basse Ardèche urgonienne » (Code : FR8201654), l'ENS « Gorges de l'Ardèche et du Pont d'Arc », la ZNIEFF de type 1 « Gorges de l'Ardèche », la zone tampon du site classé au titre de l'UNESCO « Grotte ornée du Pont d'Arc » et enfin dans une Opération Grand Site de la « Combe d'Arc » couvrant le même périmètre (Fig. 18). La commune de Vallon Pont d'Arc, propriétaire foncier de la tufière, délègue la gestion du site au Syndicat de Gestion des Gorges de l'Ardèche porteur de l'Opération Grand Site (OGS). Les objectifs de l'OGS, relatifs à la gestion et la réhabilitation de sites prestigieux et fréquentés, font sens sur la tufière de Révaou. L'intégration du site au projet Rezoh-tuf est ainsi accueillie de façon

positive par les acteurs locaux (commune, SGGA, EPTB : Ardèche Eau, Conseil départemental, DREAL) et la constitution d'un dossier de demande d'autorisation en site classé est en cours.

Contexte hydrogéologique

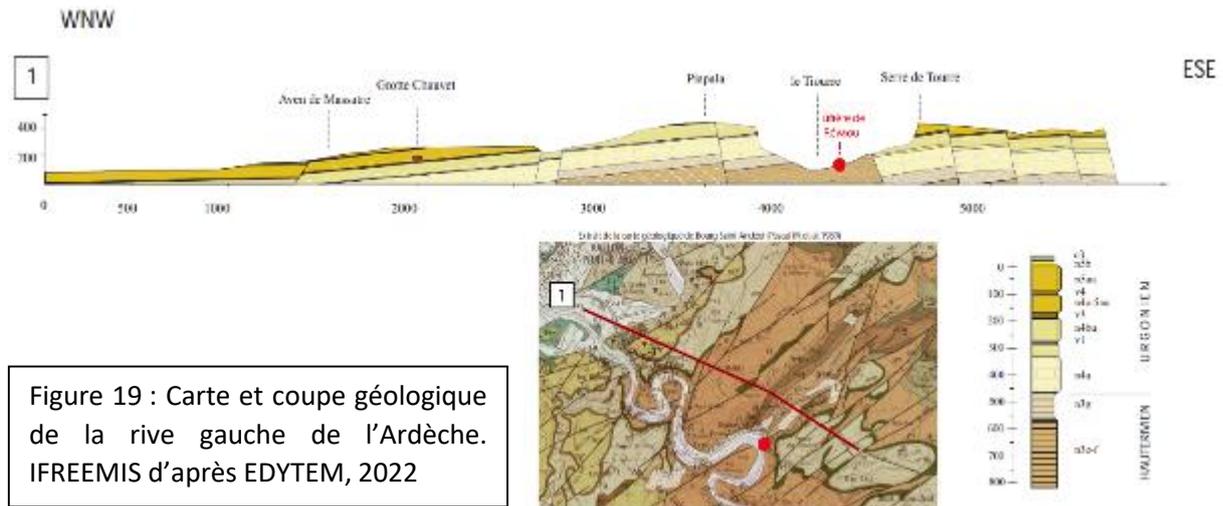


Figure 19 : Carte et coupe géologique de la rive gauche de l'Ardèche. IFREEMIS d'après EDYTEM, 2022

La tufière de Révaou, alimentée par la source de l'Aiguille, se situe dans le plateau calcaire du Bas-Vivarais composé d'assise calcaire à faciès urgonien, dont la puissance est de 300 mètres. Des niveaux de marnes s'intercalent et jouent un rôle dans la circulation des eaux d'infiltration par leur nature imperméable. Ces assises de calcaire urgonien reposent sur des marno-calcaires hauteriviens dans lesquels s'insère le réseau d'eau souterrain de la source de l'Aiguille (Fig. 19).

Lors de l'orogénèse pyrénéenne, cet ensemble s'est déformé en plusieurs plis relativement marqués en rive droite de l'Ardèche. Les accidents géologiques et les niveaux marneux influencent le pendage et la circulation des écoulements souterrains. Selon Luc Belleville (1985), les débits mesurés varient entre 10 à 1,4 l/s durant une année et sont les seules données existantes. Egalement, le bassin d'alimentation de la source de l'Aiguille provient des terrains hauteriviens de la dépression de Saint-Remèze, malgré des expériences de traçage sans résultat concluant.



Figure 20 : Promeneur sur le sentier des gorges regardant la tufière de Révaou récemment effondrée. Mathieu Morverand, années 2000.

Evolution paysagère et activités environnantes

A l'échelle de la tufière, le paysage et les activités environnantes ont quelque peu évolué au cours du dernier siècle. La croissance progradante du dépôt tufeux s'accompagne d'une dynamique naturelle d'effondrement, comme en témoignent certaines archives photographiques. Sa genèse au contact d'un vaste talus d'éboulis boisé limite le développement des

activités locales. Seule l'activité touristique trouve sa place depuis la seconde guerre mondiale pour les paysages qu'offrent les gorges de l'Ardèche. Ainsi, le sentier des gorges, parcourant l'aval de la tufière, accueille quotidiennement des promeneurs nombreux en période estivale (Fig. 20).

Plus largement, le plateau de Saint-Remèze, dont les eaux de surface rejoignent certainement la source de l'Aiguille, accueille une importante activité agricole (viticulture et lavandin). Toutefois, ce secteur se caractérise également par une situation de déprise. Au cours des 30 dernières années, la Surface Agricole Utile s'est réduite d'environ 40 % et se traduit par une fermeture des versants et des reliefs. Cette évolution influence la physico-chimie des eaux et peut modifier les fonctionnalités hydrologiques et biologiques de la tufière.

### 3.2.2. Présentation du site

La tufière de Révaou, d'une superficie de 420 m<sup>2</sup>, est un site remarquable tant pour sa biodiversité que pour son paysage contrastant avec les escarpements de calcaires hauteriviens. Son développement, au départ du sentier des Gorges de l'Ardèche et à proximité du Pont d'Arc, en fait un point attractif lors de la période estivale. Toutefois, ce contexte mène également à la dégradation de ses dynamiques d'écoulements et de dépôts.

#### Patrimoine naturel (Annexe 2 : liste des espèces)

Les données relatives à la flore et à la faune sont non exhaustives et issues des connaissances actuelles et disponibles :

- Du CBNA pour la flore (extraction avril 2022)
- De la base de données « Biodiv'AuRA » (extraction avril 2022)

Les tufières s'inscrivent dans des contextes d'écosystème en mosaïque, parmi lesquels sont retrouvés des habitats associés ou en contacts. Ces milieux connexes constituent des lieux de vie temporaires ou permanents pour des espèces faunistiques ou floristiques. Ainsi, certaines espèces présentées sont parfois indirectement associées aux tufières et mènent seulement une partie de leur cycle biologique en zone humide (reproduction, chasse, etc.).

Par son caractère remarquable et relativement rare dans les Gorges de l'Ardèche, la tufière de Révaou a fait l'objet de quelques inventaires faunistiques et floristiques. Toutefois, la connaissance des acteurs locaux (CBNMC, SGGa et Ardèche Eau) reste restreinte sur ce site et appuie davantage l'amélioration des connaissances sur cette tufière.

#### *Caractéristiques floristiques :*

Au total, 39 espèces de plantes vasculaires ont été observées à l'échelle de la tufière. Parmi elles, plusieurs espèces à enjeux à l'échelle de l'Ardèche ressortent comme les bryophytes *Mesoptychia turbinata* et *Pohlia melanodon*.

#### *Caractéristiques faunistiques :*

Peu d'espèces faunistiques ont été recensées à l'échelle de la tufière, hormis 9 espèces de mollusques, 1 d'orthoptères (*Conocephalus fuscus*) et enfin 1 de lépidoptère (*Iphiclides podalirius*).

En revanche, la tufière intègre une mosaïque d'habitat, parmi laquelle quelques espèces à enjeux sont recensées comme la Loutre d'Europe (*Lutra lutra*).

Description géomorphologique de la tufière et de ses dynamiques d'écoulements



Figure 21 : Dynamiques d'écoulement tufeux provenant de la source de l'Aiguille. IFREEMIS, 2022

La source de l'Aiguille sourde continuellement de l'escarpement calcaire par un exutoire non pénétrable. Les eaux parcourent, sans précipiter de carbonates, un lit de 13 m de long et de 50 cm de large sur une pente à 10 %. La zone est ombragée par la présence de buis et de figuier. En rive droite, s'observe un paléo-lit diffusant un ancien écoulement sur la totalité de la tufière inactive. Le parcours, légèrement surélevé par rapport au lit actuel, est le témoin d'une migration de l'écoulement à l'origine de l'assèchement d'au moins 9/10<sup>ème</sup> de la tufière (Fig. 21).

L'écoulement actuel poursuit son parcours avant d'atteindre une rupture de pente d'environ 8 m de hauteur. Les eaux se diffusent et forment un dôme tufeux de 3 m de large à l'amont et 8 m de large à l'aval (Fig. 22). L'édifice tufeux est entièrement recouvert de bryophytes et présente quelques algues filamenteuses, dont la présence limite l'action des processus de dépôt. En effet, la morphologie de ces algues en amas peu ramifié et leur faible mobilité en parcours cascasant entraîne une surface de contact entre l'eau et l'air moindre face à un substrat bryophytique

Avant de rejoindre l'Ardèche, les eaux chutent sur un bed rock calcaire encrouté par une faible épaisseur de tuf (Fig. 22). Le dépôt recouvre le sentier des gorges de l'Ardèche et est colonisé à 60% par des algues filamenteuses sans présence de bryophytes. En contrebas dans la rivière de l'Ardèche, plusieurs blocs de tufs centimétriques à plurimétriques émergent des eaux. Ces objets détritiques sont les témoins de phases d'écroulements du dôme tufeux et peuvent être rattachés aux modifications de la dynamique d'écoulement. Les témoignages des habitants locaux rapportent que ces dynamiques d'écroulement surviennent tous les 6 à 7 ans environ.

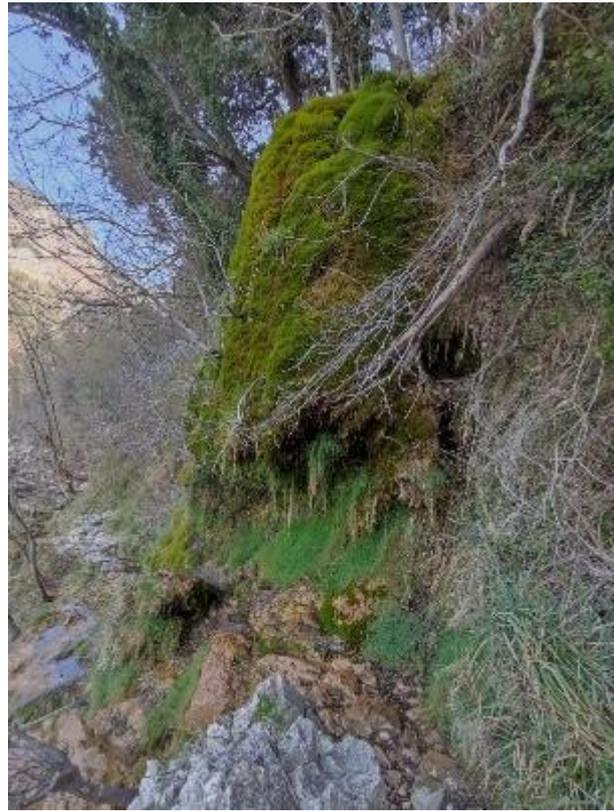


Figure 22 : Dôme tufeux de Révaou. IFREEMIS, 2022.

A l'échelle de la tufière, l'épaisseur des formations active et inactive varie selon les processus de dépôt prédominants. Compte tenu de la géomorphologie du site, l'épaisseur de la tufière semble varier de quelques centimètres sur le sentier à une dizaine de mètres maximum. Couplée à l'analyse des paléo-dynamiques d'écoulement, l'accumulation de tuf a tout autant évolué par des avancées latérales que frontales. Cependant, les phases régulières d'écroulements limitent la perception du volume total de tuf précipité. Par conséquent, l'estimation d'un âge pour la tufière de Révaou est complexe et demande l'application de protocoles analytiques.

### Dysfonctionnements

La surfréquentation du site, par des promeneurs non sensibilisés à la préservation des tufières, est le principal dysfonctionnement rencontré sur le site de Révaou. La proximité entre la tufière et le Pont d'Arc (3 km par la départementale) couplée à l'attractivité des gorges de l'Ardèche, amène une fréquentation quotidienne entre avril et septembre pouvant atteindre 500 personnes par jour en période estivale. Son accessibilité, relativement simple depuis la route (150 m), entraîne deux types de dégradations majeures compromettant les fonctionnalités hydrologiques et biologiques du système tufeux.

La première, en sortie de source, est la création de micro-barrages de dérivation en bloc calcaire par les promeneurs. Cette activité, certes ludique, modifie la dynamique d'écoulement à l'amont de la tufière. En effet, le maniement des blocs calcaires et des sédiments entraîne une augmentation de la turbidité et en parallèle l'assèchement partiel du dôme tufeux. Des variations soudaines du débit freinent également le développement des bryophytes et ainsi la croissance de l'édifice tufeux. Chaque année le Syndicat de Gestion des Gorges de l'Ardèche (SGGA) supprime à de nombreuses reprises ces barrages afin de préserver la pérennité de la tufière.

La deuxième dégradation, localisée à l'aval du système tufeux, résulte du passage répété des promeneurs utilisant pour certains des bâtons de randonnée. Les effets du piétinement et des bâtons

de marche sont multiples. D'une part, cette action contraint l'installation des mousses en faveur des algues filamenteuses moins sensibles à ce type de dégradation, et d'autre part, elle érode ou casse les encroûtements de tuf.

Les algues, présentes en nombre sur la zone aval, résulte certainement d'une concentration importante en engrais azotés dissous. Une mesure, prise en mars 2022, estime à 25 mg/L (bandelette) le taux de nitrate dissous et appuie l'hypothèse selon laquelle les eaux de la source sont issues des terres agricoles du plateau de Saint-Remèze.

Synthèse des enjeux, pressions et services rendus

Enjeux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gérer l'affluence estivale à l'entrée des gorges de l'Ardèche</li> <li>• Préserver les fonctionnalités hydrologiques et biologiques de la tufière</li> </ul>
Fonctionnalités	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amélioration de la qualité de l'eau par la séquestration d'éléments dissous (dérivés azotés certainement issue de l'activité agricole)</li> <li>• Support pour l'accomplissement du cycle biologique des espèces inféodées ou présentes temporairement</li> </ul>
Pressions	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dérivation de l'écoulement par un public non sensibilisé à la préservation et au rôle des tufières</li> <li>• Erosion à l'aval de la tufière par l'action du piétinement</li> <li>• Bassin d'alimentation non défini limitant les opérations de restauration de la qualité de l'eau à cette échelle</li> <li>• Taux de nitrates dissous favorisant le développement d'algues filamenteuses et ainsi l'eutrophisation de la tufière</li> </ul>
Service rendus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Support de médiation par sa proximité avec le sentier des gorges de l'Ardèche et les phases d'évolutions que la tufière de Révaou présente (zone active et inactive, blocs de tufs et de calcaires écroulés, etc.)</li> </ul>

### 3.3. Tufière pilote 3 (TP3) : Le site de la Touvière

#### 3.3.1 Contexte du site

##### Statut et inventaire

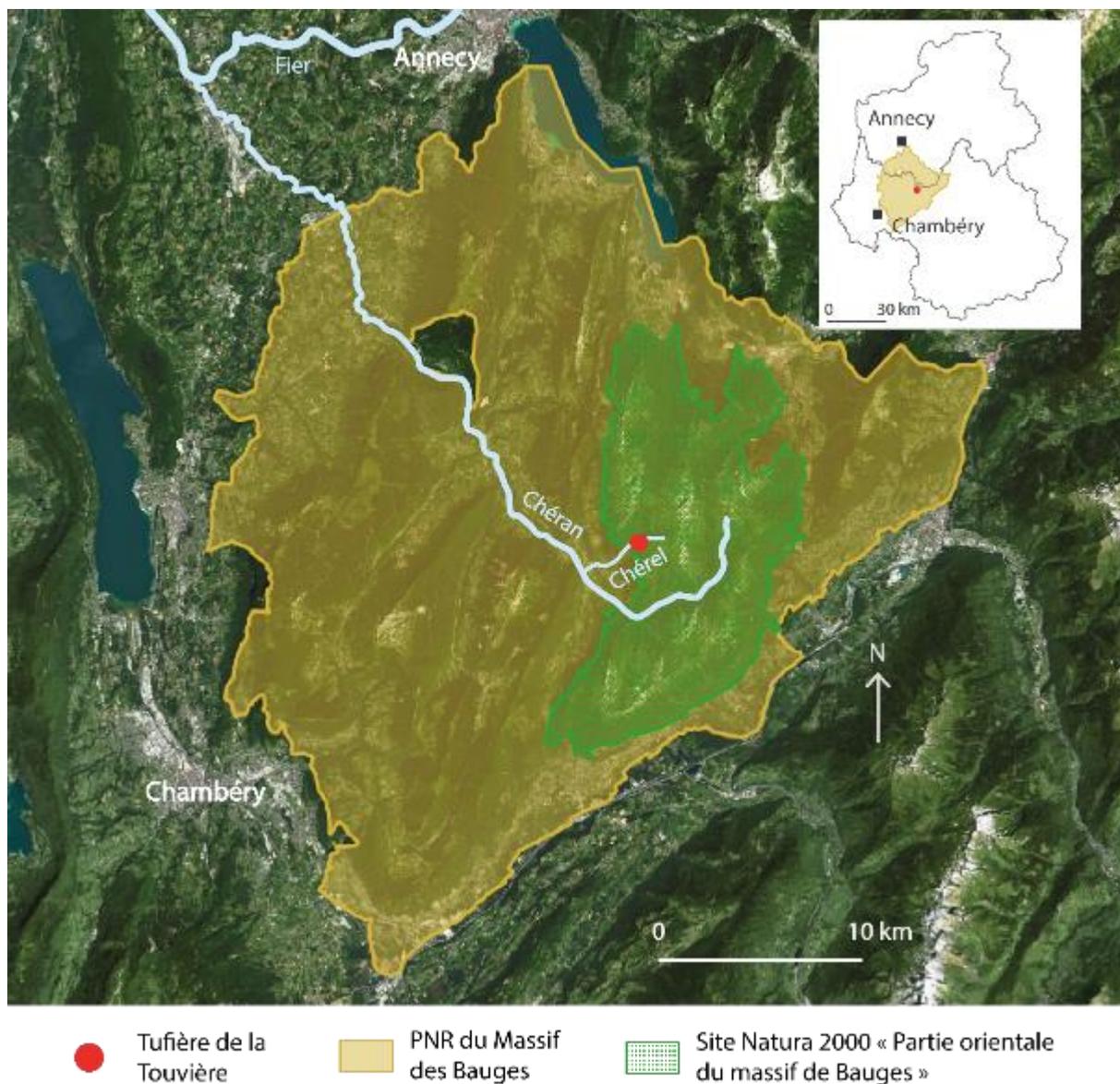


Figure 23 : Limite du PNR Massif des Bauges et du site Natura 2000 « Partie orientale du massif des Bauges ». IFREEMIS d'après l'IGN, 2022.

La tufière de la Touvière, située sur la commune de Jarsy en Savoie, se développe dans le bassin versant du « Chéran » (Code : HR\_06\_03) et est un affluent du sous bassin-versant du « Chéran de sa source au barrage de Banges » (Code : FRDR532b), défini en « bon état chimique » et en « bon état écologique » dans le SDAGE de 2015. La tufière compose également la masse d'eau souterraine « Calcaires et marnes du massif des Bauges » (Code : FRDG144) et l'inventaire des zones humides sous le nom « Molliat Nord » (Code : 73CPNS4149).

Comprise entre 1100 et 1000 m d'altitude dans l'aire biogéographique alpine, la tufière de la Touvière s'insère dans le PNR du Massif des Bauges (PNRMB), dans le site Natura 2000 « Partie orientale du massif de Bauges » géré par le PNRMB et dans la ZNIEFF de type 1 « Bois du Pré Poirier et Pré Lamy » (Fig. 23).

Pratiquement l'ensemble des parcelles cadastrales couvrant la tufière appartiennent à un particulier. En revanche, la partie amont et la source sont les propriétés de la commune de Jarsy par la présence du captage en eau potable de la Touvière. Cette station de captage est la principale de ce secteur du massif des Bauges et est confiée à la communauté d'agglomération Grand Chambéry.

L'ensemble des acteurs locaux, représentés par le propriétaire, la commune de Jarsy, Grand Chambéry, le PNRMB, le CEN Savoie et le SMIAC (EPTB), sont favorables au projet Rezoh-tuf et ont la volonté de pérenniser la restauration de la tufière par l'instauration d'une convention d'usage multipartenaire.

### Contexte hydrogéologique



Figure 24 : Partie centrale du massif des Bauges. geol-alp.com, 2017

La source de la Touvière sourd au sein de l'anticlinal de Jarsy entre le synclinal perché du Trélod à l'Ouest et l'accident décrochant de l'Arcalod à l'est (Fig. 24). Cet accident tectonique est associé à une série de failles subparallèles de direction ENE-WSW.

Située sur la rive gauche du ruisseau de Chérel, le substratum rocheux est formé par les calcaires du Jurassique supérieur comprenant des calcaires du Tithonique et des formations marno-calcaires imperméables. Ces calcaires finement lités présentent une fracturation dense et de nombreux plissements. Les eaux météoriques peuvent aisément circuler tout en se stockant dans l'aquifère. Ainsi, la source de la Touvière a un débit relativement stable et un niveau d'étiage plus soutenu que dans les calcaires urgoniens également présents dans le massif.

D'après des rapports de l'hydrogéologue Jean-Paul RAMPNOUX (1995) et du CEN Savoie (entre 2014 à 2016), le débit moyen journalier est estimé à 15 l/s, soit 1300 m<sup>3</sup>/j pour le premier et à 22 l/s, soit 1900 m<sup>3</sup>/j pour le deuxième. Toutefois selon J.P. RAMPNOUX, certains écoulements souterrains de la Touvière échappent au captage car « les venues sont très abondantes et se font jour au pied de la blocaille au contact d'une semelle argileuse qui localise et maintient ici ces émergences ». Ainsi, une part du débit, difficilement définissable, suinte directement dans la tufière.

### Evolution paysagère et activités environnantes

D'après les archives (cartes et photographies aériennes anciennes) et les témoignages des habitants de Jarsy, le site de la Touvière a été l'objet de plusieurs exploitations par sa proximité avec le village de Jarsy.

Par leurs propriétés, les dépôts de tuf ont été utilisés pour la construction des cheminées se trouvant dans les anciennes bâtisses de Jarsy. Toutefois la localisation des extractions de tufs reste inconnue et est difficilement perceptible dans le paysage par le caractère progradant des tufières. Le volume de tuf présent à la Touvière et l'accessibilité du site peuvent cependant laisser supposer que cette activité a bien été pratiquée sur la tufière pilote.

Malgré la pente relativement importante, les parcelles environnant la tufière ont accueilli une activité agricole par la fauche mécanique et manuelle. Ces pratiques, demandant un coût humain et temporel important compte tenu de la topographie, ont progressivement disparu. Ainsi, cette situation de déprise agricole s'est traduite par un enrésinement spontané entraînant la fermeture de la tufière (Fig. 25).



Figure 25 : Déprise agricole sur le site de la Touvière entraînant une dynamique de fermeture du paysage par les résineux. IFREEMIS d'après l'IGN, 2022.

Pour pérenniser la ressource en eaux du village, la source de la Touvière a fait l'objet d'un aménagement par la construction d'un captage, dont la date de mise en service reste pour l'instant inconnue. Avant les années 90, le trop-plein du captage se déversait au village de Jarsy et amputait à la tufière une importante part de sa ressource en eau. Durant cette période, la vitesse de la dynamique d'enrésinement a certainement accéléré. Vers 1995, des travaux de mise aux normes du captage ont redéfini le tracé du trop-plein afin de restituer les eaux dans la tufière.

Enfin, depuis quelques décennies le massif des Bauges a connu un essor de l'activité touristique de nature. La tufière est traversée par le GR de pays Massif des Bauges, dont la réfection dans les années 2000 a entraîné des travaux de terrassement dans la tufière. L'écoulement a ainsi été chenalisé vers le nord pour limiter l'inondation du nouveau sentier.

### 3.3.2 Présentation du site :

La tufière de la Touvière, d'une superficie de 5 000 m<sup>2</sup>, est un site remarquable à l'échelle du massif des Bauges pour sa valeur paysagère comprenant une diversité de morphologies tufeuses et d'important volumes de tufs. Toutefois, son développement, à proximité d'habitations dans un secteur des Bauges où les activités rurales restent dynamiques, a progressivement conduit le site vers une anthropisation marquée.

#### Patrimoine naturel (Annexe 2 : liste des espèces)

Les données relatives à la flore et à la faune sont non exhaustives et issues des connaissances actuelles et disponibles :

- Du CBNA pour la flore (extraction avril 2022)
- Du CEN Savoie pour la faune (extraction 2019)
- De la base de données « Biodiv'AuRA » (extraction avril 2022)

Les tufières s'inscrivent dans des contextes d'écosystème en mosaïque, parmi lesquels sont retrouvés des habitats associés ou en contacts. Ces milieux connexes constituent des lieux de vie temporaires ou permanents pour des espèces faunistiques ou floristiques. Ainsi, certaines espèces présentées sont parfois indirectement associées aux tufières et mènent seulement une partie de leur cycle biologique en zone humide (reproduction, chasse, etc.).

Compte tenu des conditions physiques du site, telles que son enclavement forestier et sa topographie, la tufière a fait l'objet de quelques inventaires notamment floristique. La connaissance des acteurs locaux (CBNA, CEN, PNRMB et SMIAC), relativement restreinte sur ce site, appuie davantage l'amélioration des connaissances sur cette tufière.

#### *Caractéristiques floristiques :*

Au total, 76 espèces de plantes vasculaires ont été observées à l'échelle de la tufière. Parmi elles, deux espèces à enjeux ressortent : le Sabot de vénus (*Cypripedium calceolus*) et l'Orchis pâle (*Orchis pallens*).

#### *Caractéristiques faunistiques :*

Peu d'espèces faunistiques ont été recensées à l'échelle de la tufière, hormis 18 espèces de mollusques (Alain Thomas, 2015), 4 espèces d'orthoptères et enfin 10 espèces d'araignées. Les listes d'espèces en question sont en cours d'acquisition.

En revanche, la tufière intègre une mosaïque d'habitats, tel que des pelouses sèches ou encore des prairies humides. Parmi ce complexe, quelques espèces à enjeux sont présentes comme l'Aigle royal (*Aquila chrysaetos*) et le Trétas lyre (*Lyrurus tetricus*).

Description géomorphologique de la tufière et de ses dynamiques d'écoulements



Figure 26 : Dynamiques des écoulements tufeux issus du trop-plein de la Touvière. IFREEMIS, 2022

Les eaux de la tufière sourdent par deux trop-plein du captage de la Touvière, dont le débit est enregistré en continu depuis 2017. L'écoulement se concentre sur un parcours principal de 40 m de long et 1 m de large sous un couvert forestier composé de résineux. La topographie du lit dîtes cascadinge forme, sur une pente à 40 %, plusieurs ruptures de 50 cm de haut (Fig 26 : 1). La précipitation des carbonates débute 20m après l'exutoire au niveau de seuils. Quelques macrophytes se développent aux abords de l'écoulement concentré.

Puis la morphodynamique de l'écoulement évolue radicalement sur une pente toujours égale à 40 %. Les eaux se diffusent en cône sur un substrat entièrement couvert de bryophytes. A l'apex, le cône a une largeur de 3 m pour atteindre progressivement 10 m de large sur une distance totale de 25 m de long.

Contrairement au reste du parcours, la zone est ouverte et présente quelques jeunes ligneux en agrégat (Fig 26 : 2).

La partie aval du cône est anthropisée par la création d'un chenal de collecte des eaux dirigeant l'écoulement en direction du nord sur un profil rectiligne (Fig. 27). Ainsi, le creusement du chenal dans le tuf et la création d'un talus évitant tout débordement en direction du sud artificialisent le lit de la tufière. Cet aménagement conduit l'écoulement sur une pente inférieure à 20 % et un profil de 35 m de long et 1,5 m de large. Par la morphologie du chenal aucune bryophyte et aucun tuf ne semblent se développer (Fig 26 : 3).

A la fin de ce parcours, l'écoulement cascade sur une succession de ruptures de pente (4 m de hauteur au total) et retrouve sa dynamique en se diffusant sur 20 m de long et 5 m de large. Dans cette zone, la pente est de 35 % et le peuplement de résineux dense. En revanche, peu de bryophytes se développent malgré un taux d'ombrage important et souvent favorable à leur croissance.

Jusqu'au chemin, le lit est sur 20 m de long une succession de cascades à l'écoulement concentré sur une pente à 50 %. Comme pour l'ensemble des morphodynamiques concentrées, les macrophytes sont exclusivement présents en bordure de lit (Fig 26 : 4).

Une buse canalise l'écoulement sous le GR et dirige les eaux vers un parcours tufeux se composant d'une succession de gours. La zone est végétalisée de bryophytes sous un couvert forestier mixte associant essences résineuses et feuillues. L'écoulement parcourt ainsi une pente supérieure à 50 % sur 60 m de long et 2 m de large avant de rejoindre la rivière de Chérel (Fig 26 : 5).



Figure 27 : Partie aval du cône tufeux artificialisée par un chenal de dérivation. IFREEMIS, 2022



Figure 28 : Parcours cascasant inactif au nord de la tufière de la Touvière actuelle. IFREEMIS, 2022

Associés à ce système actif, plusieurs parcours inactifs sont relevés au sud et au nord de la tufière. Leurs présences sont les témoins des dynamiques d'écoulement antérieures aux différents forçages anthropiques.

Au sud, s'observent trois paléo-parcours dont les formes sont difficilement discernables compte tenu de la fermeture du paysage et l'accumulation de matières organiques. En revanche au nord, le parcours est une succession de gours (d'environ 1m de hauteur) comblés de matière organique sur un profil en long d'environ 80 m pour 8 m de large (Fig. 26 : 6 et 28). Les morphologies présentes sont les témoins d'un paléo-parcours cascasant alimenté par un volume d'eau important et certainement agité en période de hautes eaux. Des mousses sont encore présentes et de jeunes résineux colonisent le milieu.

L'épaisseur des formations actives et inactives de la tufière de la Touvière varie selon les processus de dépôt prédominants. Compte tenu de la géomorphologie du site, l'épaisseur de la tufière semble varier de quelques mètres dans le parcours actif à plusieurs dizaines de mètres dans les parcours inactifs. Couplée à l'analyse des paléo-dynamiques d'écoulement, l'accumulation de tuf évolue davantage par des migrations de l'écoulement latérales que par des avancées progradantes. Ainsi, par son amplitude surfacique et ses épaisseurs distinctes la tufière de la Touvière est un système sénile dans son ensemble. A l'échelle du système actif, la tufière est plus jeune et peut être qualifiée de mature.

### Dysfonctionnements

La ressource en eau abondante et continue du site de la Touvière et son accessibilité ont favorisé son exploitation afin de répondre aux besoins anthropiques. Plusieurs modifications de ses fonctionnalités hydrologiques et biologiques l'ont conduit vers la dégradation de ses dynamiques et une importante artificialisation.

Le premier forçage est l'aménagement du captage de la Touvière, dont le trop-plein alimente dorénavant la tufière. Ce forçage anthropique a généré plusieurs dégradations et évolutions de l'édifice tufeux. Les morphologies du système actif et inactif sont les témoins d'une paléo-alimentation par une multitude de suintements et de sources. Or, la conception du captage conduit au relargage des eaux par un seul exutoire, sans prise en considération des dynamiques d'écoulement naturelles. L'alimentation de la tufière par une seule arrivée d'eau a, d'une part, entraîné l'assèchement de plusieurs parcours tufeux, dont les morphologies sont révélatrices de paléo-écoulements volumineux, véloces et agités. Et d'autre part, conduit à l'instabilité du terrain non adapté à ce type de dynamiques. La présence d'une crevasse de tête d'arrachement au niveau du chenal d'évacuation sud du trop-plein est un indice de mise en mouvement du terrain pouvant avoir à terme des conséquences néfastes pour le bon état de la tufière et pour les activités environnantes (Fig. 29).



Figure 29 : Crevasse de tête d'arrachement à l'aval du captage de la Touvière. F. Hobléa, 2022

De plus, la diminution du volume d'eau circulant dans le système tufeux associé à l'arrêt progressif de l'activité agricole sur ce secteur a occasionné une fermeture du milieu par des essences résineuses. Ces ligneux, par leurs houppiers limitant l'infiltration de la lumière, leurs systèmes racinaires denses et traçant et leur caractère acide, contraignent le développement des macrophytes et modifient la physico-chimie de l'eau.

Le deuxième forçage anthropique sur le milieu est généré par le chenal de dérivation. L'écoulement se retrouve dérivé en direction du nord par un chenal limitant les processus de précipitation des carbonates et asséchant deux paléo-parcours tufeux.

Synthèse des enjeux, pressions et services rendus

Enjeux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Préserver la pérennité de la ressource en eau potable pour les communes dépendantes du captage de la Touvière</li> <li>• Gérer la dynamique ligneuse afin de restaurer les fonctionnalités biologiques de la tufière</li> <li>• Reconstituer les fonctionnalités hydrologiques par la division et diffusion de l'écoulement</li> <li>• Rechercher un compromis entre enjeux sociaux et écologiques</li> </ul>
Fonctionnalités	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ralentissement de la vitesse d'écoulement par la diffusion de l'eau</li> <li>• Maintien des terrains présentant des couches marneuses ou argileuses et dont la dynamique mène à des glissements de terrain</li> <li>• Amélioration de la qualité de l'eau en contexte pastoral (estive à l'amont de la source)</li> <li>• Support pour l'accomplissement du cycle biologique des espèces inféodées ou présentes temporairement</li> </ul>
Pressions	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Captage à la source pour la ressource en eau potable ayant entraîné l'instabilité, l'assèchement et l'embroussaillage (résineux) du système tufeux</li> <li>• Chenalisation de l'écoulement conduisant à l'assèchement des paléo-parcours</li> </ul>
Service rendu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ressource en eau potable pour les communes du secteur « Bauges Devant »</li> <li>• Support de médiation par sa proximité avec le GR de pays Massif des Bauges et de nombreux départs de randonnées</li> <li>• Ancienne ressource locale en matériau de construction</li> </ul>

### 3.4 Tufière pilote 4 (TP4) : Le site des Vauthières

#### 3.4.1 Contexte du site

##### Statut et inventaire :

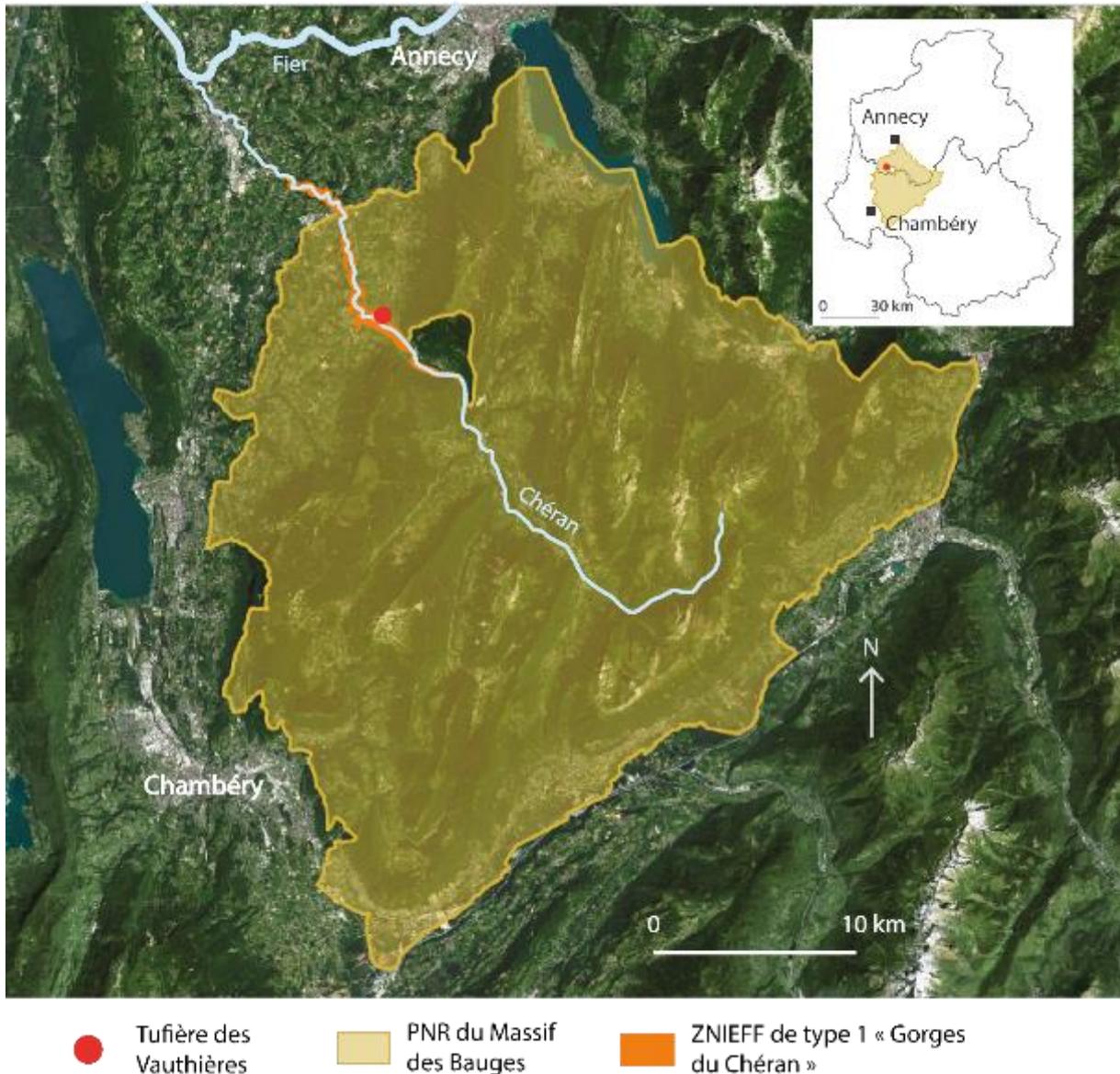


Figure 30 : Limite du PNR Massif des Bauges et de la ZNIEFF de type 1 « Gorges du Chéran ». IFREEMIS d'après l'IGN, 2022.

Le site des Vauthières, localisé sur la commune de Gruffy en Haute-Savoie, s'insère dans le bassin versant du « Chéran » (Code : HR\_06\_03) et plus précisément le sous bassin-versant « Le Chéran du Barrage de Banges à la confluence avec le Fier » (Code : FRDR532a), défini en « mauvais état chimique » et en « état écologique moyen » dans le SDAGE de 2015. La tufière des Vauthières s'insère dans la masse d'eau souterraine « Formation variées dans l'Avant-Pays Savoyard dans le BV du Rhône »

(Code : FRDG511) et est associée à la zone humide « Entre le Leutet et les Vauthières » (Code : 74ASTERS2564) sans la composer.

Située entre 500 et 430 m d'altitude dans la région biogéographique continentale, la tufière des Vauthières intègre le zonage ZNIEFF de type 1 « Gorges du Chéran » (Code : 74000074) et le PNR du Massif des Bauges (Fig. 30). De la source à l'aval de la tufière, le système se divise en 14 parcelles appartenant à 10 propriétaires privés. Seul une parcelle et le chemin permettant l'accès au Chéran appartiennent à la commune de Gruffy. Soucieux de la préservation de leurs écosystèmes, les opérateurs locaux représentés par la commune de Gruffy, le PNRMB, le CEN Haute-Savoie et le SMIAC (EPTB) s'investissent dans la restauration de la tufière des Vauthières. D'une part, en coordonnant l'animation foncière (commune et PNRMB) et en intégrant les tufières à l'atlas de la biodiversité communale en cours de conception.

### Contexte hydrogéologique

La tufière des Vauthières est issue de deux sources situées à 1 km du massif du Semnoz sur la partie aval de la Cluse de Bange. Les écoulements émergent du plateau mollassique de Gruffy (« molasse rouge » d'eau douce chattienne g3b), surmonté par des matériaux morainiques, avant de rejoindre le Chéran en cascade le long du talus de rive droite incisé dans la molasse (Fig. 31).

Egalement, les débits et les bassins d'alimentation des deux sources restent inconnus par manque d'étude hydrogéologique à cette échelle.

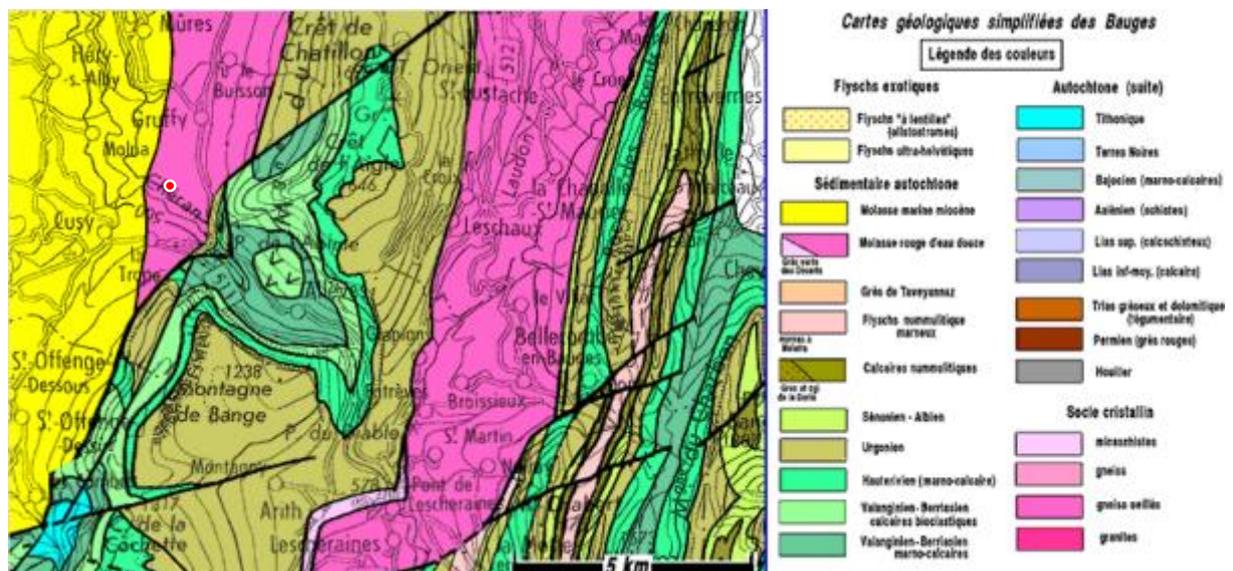


Figure 31 : Carte géologique simplifiée d'une partie des Bauges occidentale et localisation de la tufière (point rouge et blanc). M. Gidon d'après la carte géologique des Alpes occidentales, 1977.

### Evolution paysagère et activités environnantes

D'après les archives (cartes et photographies aériennes anciennes) et les témoignages des élus de Gruffy, la tufière des Vauthières n'a pas fait l'objet d'exploitation par son accessibilité restreinte et sa topographie non mécanisable. En revanche, cela est tout autre pour les sources et le ruisseau l'alimentant.

Selon le pourcentage de la pente, les rives du Chéran peuvent être des terrains non exploitables. Une dynamique ligneuse spontanée s'installe alors et ferme le milieu. Les photographies aériennes montrent que depuis les années 30 la tufière des Vauthières se développe sous un couvert forestier en densification depuis les années 2000.

A l'amont du site, le paysage de Gruffy est marqué par l'activité agricole dont les principales pratiques sont la fauche et le pâturage. A partir des années 1970, le remembrement des parcelles et la déprise agricole se sont progressivement traduits par la fermeture des terrains difficilement cultivables. Le regroupement des parcelles, autrefois séparées par des zones humides non exploitées, a entraîné la mise en pâture des bas-marais alcalins présents à l'amont de la tufière. Ces évolutions peuvent amener des modifications de la physico-chimie des écoulements, un risque de pollution et une diminution de la ressource en eau.

Depuis une dizaine d'années, la source principale de la tufière est captée dans un bas-marais alcalin par une exploitation maraîchère. Cet aménagement, autorisé par la commune de Gruffy, ne fait l'objet d'aucun contrôle des débits prélevés et accentue certainement la dynamique de fermeture.

#### 3.4.2. Présentation du site :

La tufière des Vauthières, d'une superficie de 4 000 m<sup>2</sup>, est un site remarquable à l'échelle du massif des Bauges pour ses volumes de tufs notamment inactifs et la mosaïque d'habitat qu'elle compose. Sa localisation, en contexte agricole et plus récemment touristique due à la proximité du sentier du Chéran, en fait une ressource pour les besoins anthropiques environnants. Paradoxalement, ce contexte amène de nombreuses pressions dégradant les fonctionnalités du système tufeux.

#### Patrimoine naturel (Annexe 2 : liste des espèces)

Les données relatives à la flore et à la faune sont non exhaustives et issues des connaissances actuelles et disponibles :

- Du CBNA pour la flore (extraction avril 2022)
- De la base de données « Biodiv'AuRA » (extraction avril 2022)

Les tufières s'inscrivent dans des contextes d'écosystème en mosaïque, parmi lesquels sont retrouvés des habitats associés ou en contacts. Ces milieux connexes constituent des lieux de vie temporaires ou permanents pour des espèces faunistiques ou floristiques. Ainsi, certaines espèces présentées sont parfois indirectement associées aux tufières et mènent seulement une partie de leur cycle biologique en zone humide (reproduction, chasse, etc.).

Compte tenu des conditions physiques du site, telles que son enclavement forestier et sa topographie, la tufière a seulement fait l'objet d'un inventaire floristique exhaustif. La connaissance des acteurs locaux (CBNA, CEN, PNRMB et SMIAC), s'avérant relativement restreinte sur ce site, justifie d'autant le souci d'améliorer les connaissances sur cette tufière.

#### *Caractéristiques floristiques :*

Au total, 38 espèces de plantes vasculaires ont été observées à l'échelle de la tufière lors d'un relevé de terrain. Aucune espèce à enjeux n'en est ressortie.

**Caractéristiques faunistiques :**

Aucune espèce faunistique n'a été recensée à l'échelle de la tufière. En revanche, elle intègre une mosaïque d'habitats, tel que des bas-marais alcalins, des prairies permanentes ou encore la rivière du Chéran labélisée rivière sauvage. Parmi ce complexe, quelques espèces à enjeux sont présentes comme le Milan royal (*Milvus milvus*), la Loutre d'Europe (*Lutra lutra*) ou le Petit Rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*).

Description géomorphologique de la tufière et de ses dynamiques d'écoulements

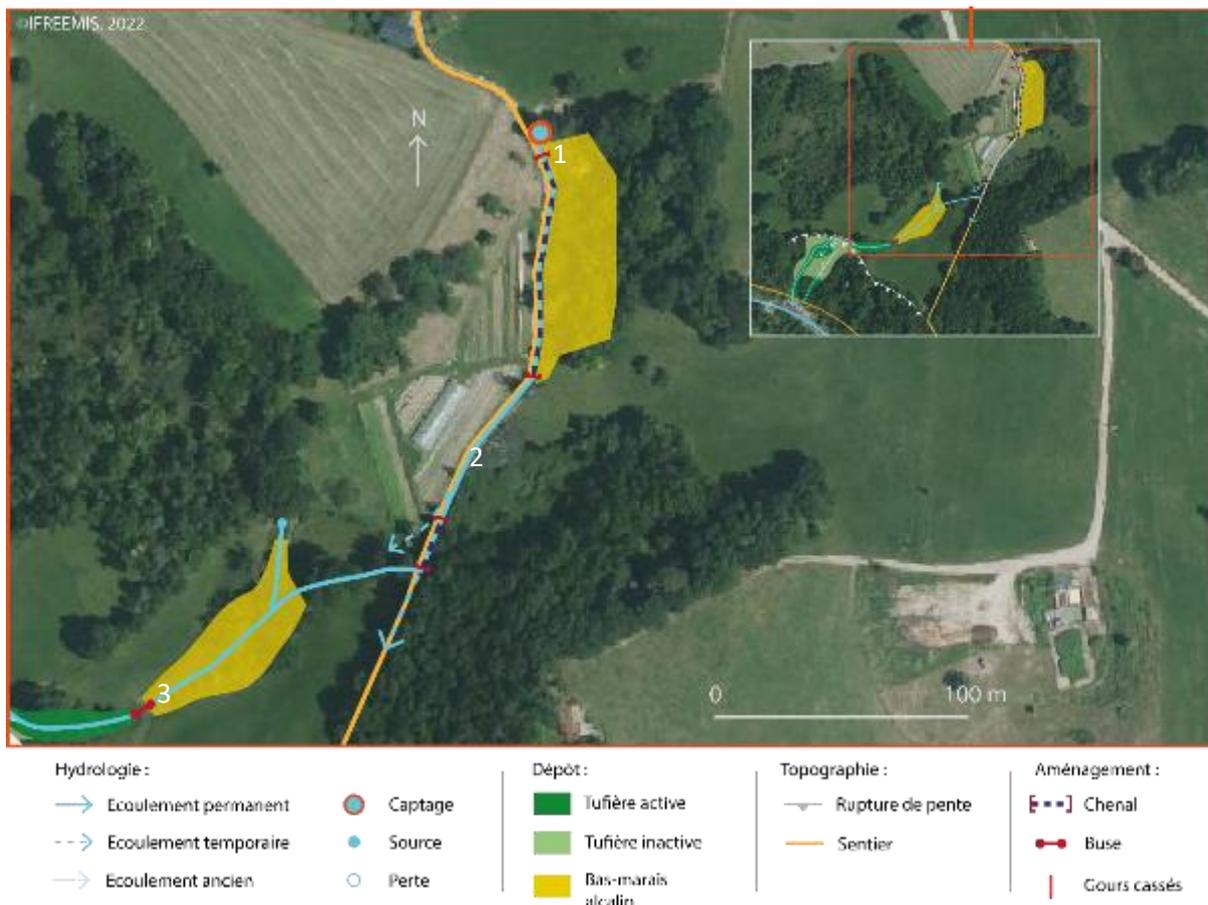


Figure 32 : Dynamiques des écoulements tufeux du secteur amont des Vauthières. IFREEMIS, 2022

Les écoulements de la tufière des Vauthières proviennent de deux sources et de quelques suintements issus d'un bas-marais alcalin. A l'amont de ce secteur, les eaux sont captées tout au long de l'année pour l'irrigation de cultures maraichères et l'abreuvement de bétail (Fig. 32 : 1).

Le long du bas-marais alcalin, le chemin communal collecte les suintements non captés sur 200 m de long. Les 3/4 du parcours sont canalisés par le surcreusement du sentier et la construction d'un talus. Sur les 1/4 restant l'écoulement circule directement sur le chemin en ravinant et inondant la voie d'accès en période de hautes eaux (Fig. 32 : 2). Cette artificialisation du parcours, nécessaire pour les activités environnantes, restreint le développement des macrophytes et les processus favorables aux dépôts de carbonates. Enfin, l'écoulement traverse perpendiculairement le chemin communal pour rejoindre un deuxième bas-marais alcalin dans un pâturage.

Le secteur envahi de bosquets de saules et de ronces est alimenté par une seconde source à l'amont. A l'aval, les eaux sont à 70 % collectées par une buse pour faciliter la traversée de la zone humide par le bétail et les engins agricoles. Les 30 % restants circulent directement sur le passage agricole, régulièrement piétiné par les bovins, avant de rejoindre l'écoulement principal à l'aval de la buse (Fig. 32 : 3).

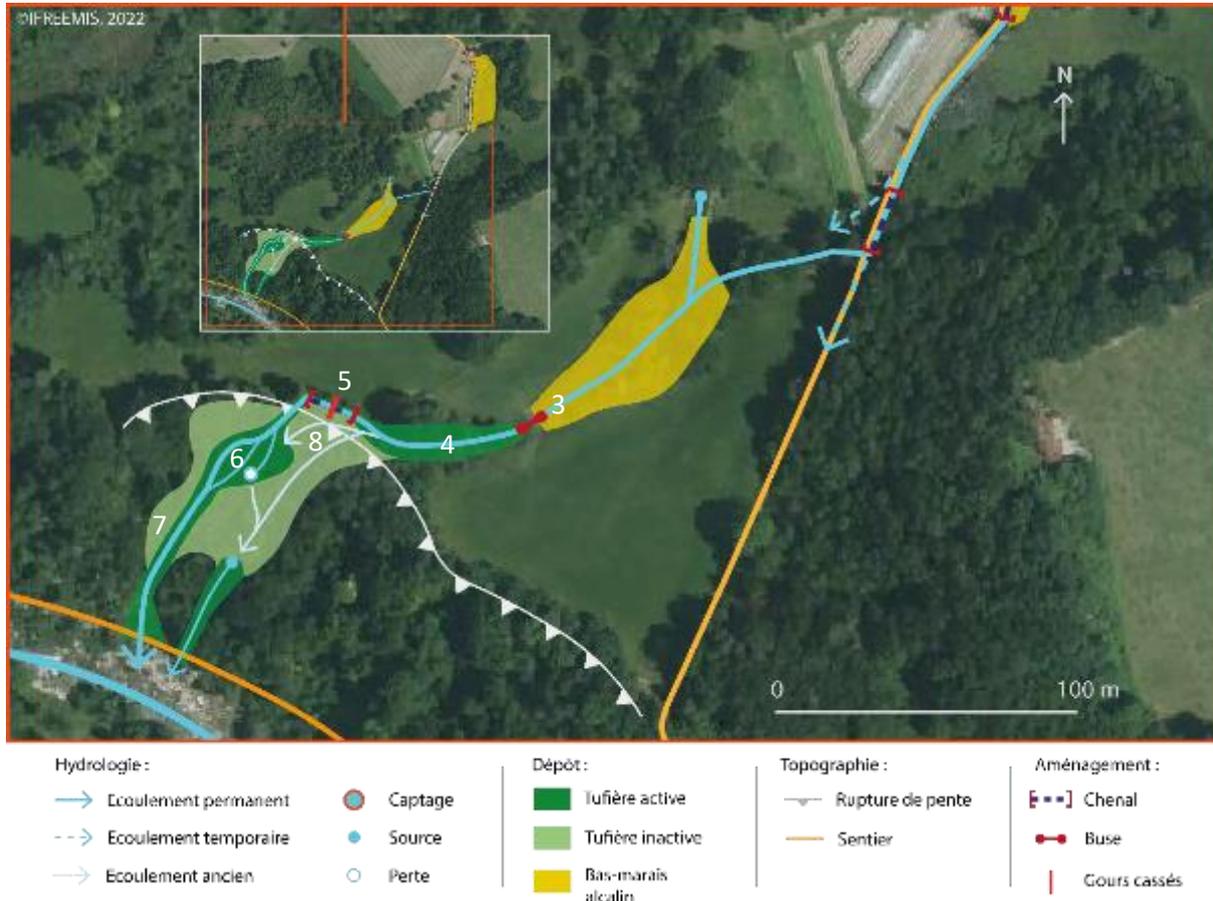


Figure 33 : Dynamiques des écoulements tufeux du secteur aval des Vauthières. IFREEMIS, 2022

Les eaux concentrées se diffusent en cône (30 m de long et 15 m de large) sur une pente relativement plane et colonisée à 90 % par des bosquets de ronces et de ligneux. Sur ce secteur, les premières morphologies de la tufière se développent par la formation de gours à bryophytes relativement larges et hauts d'une dizaine de centimètres (Fig. 33 : 4).

A l'aval du cône, l'écoulement est canalisé au nord par un chenal (50 cm de large sur 5 m de long) creusé dans la tufière et par la casse de deux gours mesurant 80 cm de long, 20 cm de large et 60 cm de haut. Ainsi, les eaux se concentrent et parcourent sur 10 m de long la parcelle agricole pâturée au nord (Fig. 33 : 5).

Par la suite une rupture de pente, formée par l'incision du Chéran, entraîne l'écoulement en parcours cascasant sur une pente à 35 %. Dans un premier temps, l'écoulement est concentré et turbulent avant de se diffuser sur 15 m de large et 30 m de long en une succession de gours (Fig. 33 : 6). L'ensemble de la zone est envahi à 80 % par une végétation ligneuse composée exclusivement de troènes. Cette espèce à une forte reprise végétative par l'apparition de drageons, de rejets et de boutures au niveau des branches lorsqu'elles sont en contact de l'eau. Les gours sont également en cours de comblement

par l'apport d'un taux en matière organique important (chute du feuillage). Ainsi, les processus biologiques favorables à la précipitation des carbonates, telle que la photosynthèse, sont restreints et le développement des macrophytes s'avère limité. Egalement, une partie de l'écoulement se perd et rejoint certainement une deuxième tufière ne présentant pas de dysfonctionnement.

Le parcours cascading se poursuit sur une pente à 45 % et évolue en deux écoulements concentrés de 40 cm de large et 50 m de long (Fig. 33 : 7). Comme pour l'ensemble des morphodynamiques concentrées, les bryophytes sont exclusivement présentes en bordure de lit. Toutefois, quelques algues filamenteuses se développent au centre des écoulements. A l'aval, le parcours est traversé par un sentier touristique inscrit au Plan Départemental des Itinéraires de Promenade et de Randonnée (PDIPR) avant de rejoindre le Chéran (Fig. 34).



Figure 34 : La tufière des Vauthières (vert) traversée par le sentier du Chéran (orange). IFREEMIS, 2022

Au sud du lit artificialisé, se développe un vaste secteur inactif composé de nombreux gours et de quelques cascades (Fig. 33 : 8). Ces morphologies sont les témoins d'un paléo-système tufeux fonctionnant de façon diffuse et connectant le lit actuel à une seconde tufière au sud-est du parcours actif.

A l'échelle du complexe tufeux, l'épaisseur de tuf actif et inactif varie selon les processus de dépôt prédominants. Compte tenu de la géomorphologie du site, l'épaisseur de la tufière semble varier d'une dizaine de centimètres au niveau du sentier à plusieurs mètres sur les secteurs de rupture de pente,

notamment inactifs. Couplée à l'analyse des paléo-dynamiques d'écoulement, l'accumulation de tuf évolue davantage par des migrations de l'écoulement latérales que par des avancées progradantes. Ainsi, par son amplitude surfacique et l'épaisseur de ses cascades la tufière des Vauthières est un système dit mature.

### Dysfonctionnements

L'apport continu en eau par la présence de bas-marais alcalins et la proximité de parcelles agricoles, ont entraîné l'artificialisation de la tufière des Vauthières pour répondre aux besoins anthropiques. Plusieurs modifications de ses fonctionnalités hydrologiques et biologiques l'ont menée vers la dégradation de ses dynamiques, dont les conséquences peuvent entraîner la disparition complète de la tufière.

Le premier forçage est l'aménagement d'un captage agricole dans le bas-marais alcalin, dont les eaux alimentent la tufière. Ce forçage anthropique a généré plusieurs dégradations et évolutions du système tufeux. La réduction du débit dans une tufière se traduit de manière générale par un assèchement du milieu et s'associe à l'embroussaillage du système actif (Fig. 35). Indirectement, le développement des troènes et des bosquets de ronces a plusieurs conséquences sur les fonctionnalités de la tufière des Vauthières. Dans un premier temps, l'augmentation du taux de matière organique couplée à la baisse du volume d'eau contraint l'évacuation de la matière et comble la tufière. Les macrophytes présents dans le système sont alors asphyxiés occasionnant une perte de la biodiversité et une réduction des paramètres bio-physico-chimiques nécessaire au dépôt de carbonates dissous. Dans un second temps, la diminution du débit est renforcée par l'absorption hydrique de la végétation envahissante. Enfin, la densification du couvert végétal limite le réchauffement de l'écoulement et ainsi la sursaturation en carbonate dissous.



Figure 35 : Parcours tufeux actif colonisé par la végétation ligneuse (troène). IFREEMIS, 2022

Le deuxième forçage anthropique sur le milieu est généré par le creusement d'un chenal dans la tufière et la casse de gours. Les eaux se retrouvent dérivées afin de concentrer l'écoulement vers la parcelle agricole au nord. Ainsi, l'abreuvement du bétail peut directement s'opérer dans le lit de la tufière. De plus, la chenalisation de l'écoulement limite le dépôt de tuf et a entraîné l'assèchement du paléo-parcours tufeux sur une surface environnant les 500 m<sup>2</sup>.

La troisième dégradation, présente à différents points sur le système tufeux, résulte du passage répété d'engins agricoles, de troupeaux et des promeneurs directement dans l'écoulement. Les effets de ces pratiques sont multiples notamment lorsqu'elles ont lieu à l'amont ou au sein de la tufière. D'une part, ces actions érodent le lit tufeux et remobilisent la matière organique en suspension. Une eau turbide asphyxie les organismes photosynthétiques et contraint la formation de tuf. D'autre part, l'abreuvement des troupeaux à même l'écoulement, comme cela s'observe dans les parcelles à l'amont de la tufière, est une importante source de pollution et de dégradation des fonctionnalités hydrologiques et biologiques. La présence d'algues sur certains secteurs peut d'ailleurs dépendre de cette pratique.

Egalement, il est à noter la proximité d'une station d'épuration à 450 m et une fruitière connue pour des rejets d'eau usée à 1 km. La topographie entourant la tufière et le caractère molassique du site peuvent laisser supposer que ces infrastructures s'insèrent dans le bassin d'alimentation de la formation tufeuse.

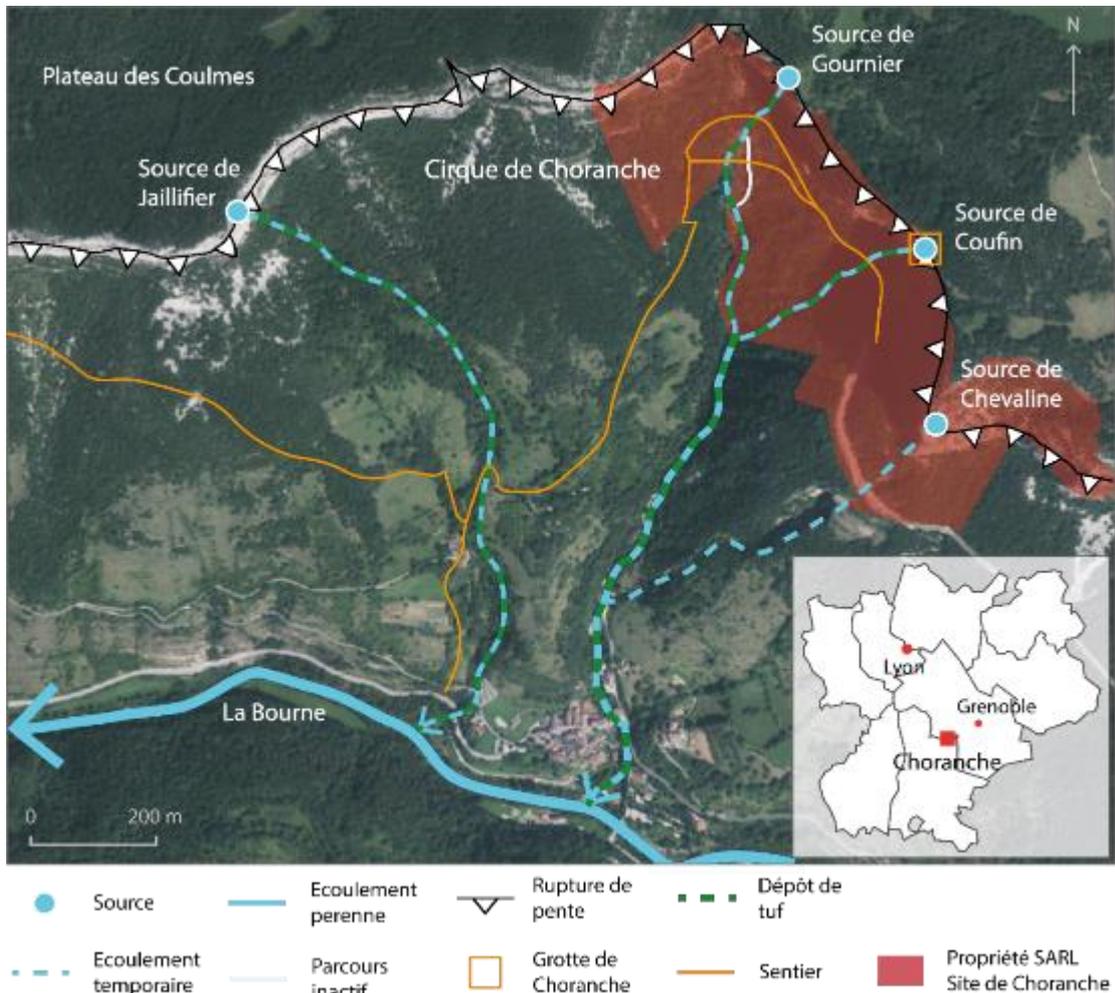
Synthèse des enjeux, pressions et services rendus

Enjeux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Préserver la pérennité de la ressource en eaux pour l'activité agricole</li> <li>• Gérer la dynamique ligneuse afin de restaurer les fonctionnalités biologiques et hydrologiques de la tufière</li> <li>• Reconstituer les fonctionnalités hydrologiques par la rediffusion de l'écoulement</li> <li>• Rechercher un compromis entre enjeux sociaux et écologiques</li> </ul>
Fonctionnalités	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ralentissement de la vitesse d'écoulement par la diffusion de l'eau</li> <li>• Amélioration de la qualité de l'eau en contexte agricole</li> <li>• Support pour l'accomplissement du cycle biologique des espèces inféodées ou présentes temporairement</li> </ul>
Pressions	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Captage à la source pour l'activité agricole entraînant l'assèchement et l'embroussaillage (troène et ronce) du système tufeux</li> <li>• Chenalisation de l'écoulement et casse de gours conduisant à l'assèchement d'un paléo-parcours tufeux</li> <li>• Passages d'engins motorisés, de troupeaux et de randonneurs sur différents secteurs de la tufière entraînant une augmentation de la turbidité et la pollution de l'écoulement</li> <li>• Bassin d'alimentation non défini limitant les opérations de restauration de la qualité de l'eau à cette échelle</li> </ul>
Service rendus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ressource en eau potable pour l'activité agricole</li> <li>• Support de médiation par sa proximité avec le sentier du Chéran</li> </ul>

### 3.5 Tufière référente (TR) : Le site de Choranche

#### 3.5.1 Contexte du site

##### Statut et inventaire



Sur la commune de Choranche, la tufière du même nom se développe dans le sous bassin-versant du « Vercors » (Code : ID\_10\_07) et est un affluent de la masse d'eau superficielle de « La Bourne de la confluence avec le Méaudret jusqu'à l'Isère », définie, dans le SDAGE de 2015, en « bon état chimique et écologique ». Ces sources perchées s'insèrent dans la masse d'eau souterraine « Calcaires et marnes crétacés du massif du Vercors » (Code : FRDG111) désignée en « bon état chimique » dans le SDAGE de 2015. Le bassin d'alimentation des principales sources (Gournier et Coufin-Chevaline) s'avère relativement bien connu.

Les tufières de Choranche, situées dans l'aire biogéographique méditerranéenne, sont également recensées à l'inventaire des zones humides sous le nom des « Résurgence du cirque de Choranche » (Code : 38VE0165).

Le secteur amont des tuffières de Choranche appartient à la SARL Site de Choranche, également propriétaire et gestionnaire des Grottes de Choranche (Fig. 36). L'ensemble du parcours tuffeux intègre la ZNIEFF de type 1 « Rochers de Presles et de Choranche » et le site Natura 2000 de « La Bourne » (Code : FR8201743), dont la gestion est confiée au PNR du Vercors.

La définition de la tuffière comme site référent est accueillie positivement par les acteurs locaux prêts à s'investir dans le projet.

### Contexte hydrogéologique

Au sud du plateau des Coulmes, les sources de Gournier et de Coufin-Chevaline forment des parcours tuffeux dans le cirque de Choranche. Correspondant à une ondulation associant synclinal à l'ouest et anticlinal à l'est, le plateau des Coulmes se compose d'une assise de calcaire urgonien reposant sur des marno-calcaires hauteriviens. Le contact de ces deux strates constitue le niveau de base lithologique des écoulements karstiques. Les eaux ont alors tendance à suivre le substratum marno-calcaire imperméable, dont le pendage est généralisé en direction de la Bourne. Au lieu de se réajuster à mesure de l'encaissement de la Bourne, les exutoires karstiques de Choranche sont restés perchés du fait de la position actuelle du contact aquiclude au-dessus du fond de la vallée (Fig. 37). Ainsi, les eaux parcourent sur 1,2 km un talus d'éboulis (blocs calcaires et claste de gélifraction) se développant dans les assises marno-calcaires hauteriviennes avant de rejoindre le talweg de la Bourne. Selon Lecornu E. (2020), le débit des sources de Gournier et de Coufin-Chevaline varie du 15 juin au 20 juillet de 260 à 71 l/s pour Gournier et de 97,5 à 14,6 l/s pour Coufin-Chevaline.

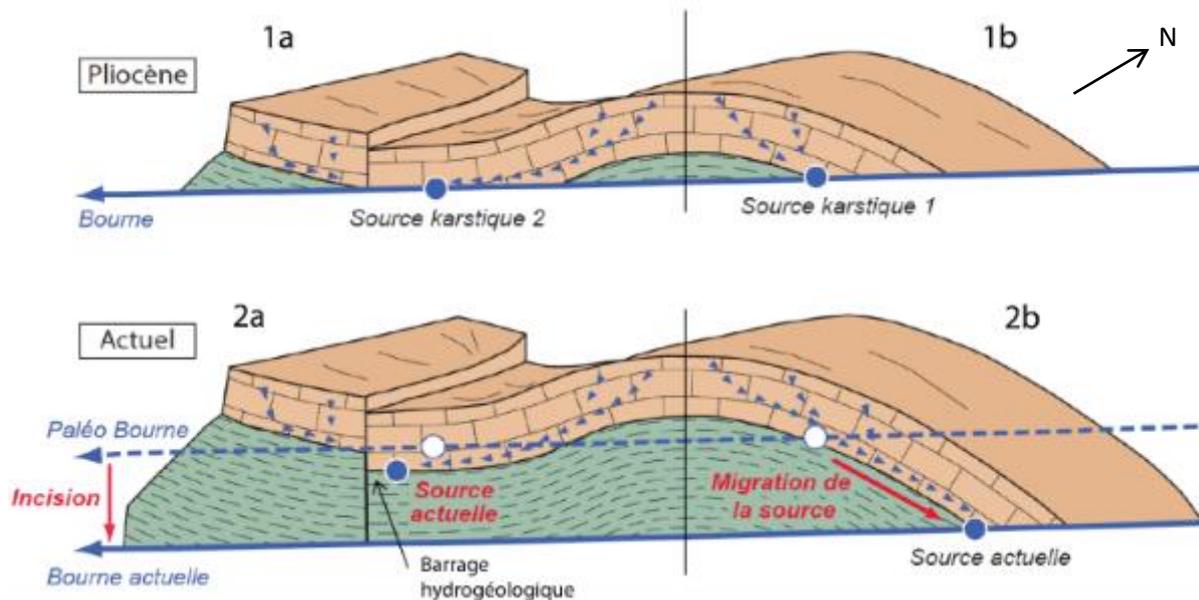


Figure 37 : Incision du talweg par la Bourne, induisant le caractère perché des sources au contact calcaire-marne. EDYTEM, 2007.

### Evolution paysagère et activités environnantes

Les paysages du plateau des Coulmes et du cirque de Choranche sont les reflets de processus naturels et d'interventions anthropiques. Le plateau des Coulmes, dans lequel s'insère une partie du bassin d'alimentation des réseaux de Gournier et de Coufin-Chevaline, a connu une importante activité de

charbonnage du Néolithique jusqu'au XIX<sup>ème</sup> siècle. L'arrêt de cette activité, vers les années 1920, a progressivement entraîné la fermeture des paysages.

En parallèle, au début du XIX<sup>ème</sup> siècle, les premières traces d'un tourisme souterrain commencent. L'établissement thermal de Choranche-les-Bains lance finalement en 1887 cette activité en proposant à sa clientèle la visite des grottes de Choranche non aménagées et des gorges de la Bourne.

L'aménagement à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle de la grotte de Coufin, aussi appelé grotte de Choranche, démocratise cette activité touristique. Enfin, c'est dans les années 1970 que l'activité prend la forme connue aujourd'hui, suite à la création d'une société privée propriétaire et gestionnaire des grottes de Choranche. Le site est dès lors valorisé à l'échelle du cirque par la construction d'un sentier permettant de découvrir les tufières de Gournier.

Egalement, le cirque se caractérise par des escarpements de calcaire urgonien, un couvert forestier spontané de chenaie-buxaie et des pelouses sèches exploitées. Sur ce secteur, les photographies aériennes sont les témoins d'évolutions spatio-temporelles tout autant naturelles qu'anthropiques. Comme le révèle la photographie de 1946, une situation de déprise agricole a marqué le site de Choranche. Les pelouses sèches et les berges des tufières se sont ainsi progressivement refermées (Fig. 38).



Figure 38 : Déprise agricole dans le cirque de Choranche entraînant une dynamique de fermeture du paysage. IFREEMIS d'après l'IGN, 2022.

Egalement, à l'apex du cirque au début des années 2000, l'écoulement de Gournier a subitement migré vers un paléo-parcours cascasant. Ce type d'évolution est représentatif des dynamiques d'un système tufeux et se retrouve aussi sur les tufières pilotes.

Les tufières et le cirque de Choranche sont sans conteste l'un des paysages karstiques marquant du Vercors tant d'un point de vue géomorphologique qu'écologique. D'une amplitude kilométrique, le cirque se caractérise par de nombreuses émergences karstiques tufeuses. Cette morphologie en amphithéâtre favorise la confluence des écoulements (Gournier et Coufin) et la précipitation des carbonates. Par leur état de conservation remarquable, la diversité des morphologies présentes (cascades, gours, bassins) et les études précédemment menées (Delannoy J.J., 1981 et 1997 ; Lecornu E., 2020), les tufières de Choranche représentent le site référent idéal au projet Rezoh-tuf.

### Patrimoine naturel (Annexe 2 : liste des espèces)

Les données relatives à la flore et à la faune sont non exhaustives et issues des connaissances actuelles et disponibles :

- Du CBNA pour la flore (extraction avril 2022)
- De la base de données « Biodiv'AuRA » (extraction avril 2022)

Les tufières s'inscrivent dans des contextes d'écosystèmes en mosaïque, parmi lesquels sont retrouvés des habitats associés ou en contact. Ces milieux connexes constituent des lieux de vie temporaires ou permanents pour des espèces faunistiques ou floristiques. Ainsi, certaines espèces présentées sont parfois indirectement associées aux tufières et mènent seulement une partie de leur cycle biologique en zone humide (reproduction, chasse, etc.).

Compte tenu de la topographie du site, la tufière a fait l'objet de quelques inventaires floristiques et faunistiques. La connaissance des acteurs locaux (PNR du Vercors, CBNA, SARL Grotte de Choranche) est toutefois relativement restreinte sur ce site et appuie davantage l'amélioration des connaissances sur cette tufière.

#### *Caractéristiques floristiques :*

Au total, 27 espèces de plantes vasculaires ont été observées à l'échelle de la tufière. Parmi elles, se distingue le Cirse de Montpellier (*Cirsium monspessulanum*), dont le développement dépend des écoulements tufeux.

#### *Caractéristiques faunistiques :*

Quelques espèces faunistiques ont été recensées à l'échelle de la tufière. Cette liste comprend une diversité en chiroptère relativement riche par le relevé de 13 espèces, dont plusieurs à forts enjeux comme le Grand murin (*Myotis myotis*), l'Oreillard montagnard (*Plecotus macrotus*) et la Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*). En effet, les couloirs sans végétation qu'offrent les parcours cascadants et les vides pénétrables présents dans le système tufeux sont des lieux de chasses et de repos idéaux pour les chiroptères.

### Description géomorphologique de la tufière et de ses dynamiques d'écoulements

Le parcours cascasant de Gournier présente plusieurs morphodynamiques, dues aux variations de la pente et aux divers reliefs du lit. Tout du long se distinguent six tronçons aux caractéristiques différentes (Fig 39 et 40). En sortie d'exutoire, le tronçon 1 forme une succession de cascades (1 à 2m) et de bassins sur une pente inférieure à 5 %. Le tronçon 2 se présente en une succession de ruptures de pentes relativement importantes (en moyenne 10 à 15 m) accompagné d'une forte déclivité (41 %). Sur ces deux premiers tronçons, l'ombrage qu'offre la ripisylve dense et l'effet éclatant de l'écoulement cascasant préserve une certaine hygrométrie et permet ainsi le développement de bryophytes en bordure de lit.

Une rupture de pente au niveau des marno-calcaires caractérise le tronçon 3. L'écoulement forme alors une cascade de 70 m en « toboggan » sans présence de macrophytes. Les eaux du tronçon 4 sont contraintes par les parois marno-calcaires et suivent un parcours accidenté de blocs calcaires métriques et de branchages issus de glissements de terrain. Du fait de la moindre pente (24 %) la vitesse des écoulements s'atténue et ne favorise pas l'évacuation des blocs volumineux même lors

des périodes de hautes eaux. C'est au niveau de ce tronçon que les eaux de Coufin rejoignent, par de multiples écoulements, la rivière issue de Gournier. Le tronçon 5, dont la pente et le relief accidenté sont plus modérés que le tronçon précédent, présente ponctuellement quelques cascades de 5 à 10 m de haut. Enfin, le tronçon 6, non loin du talweg des gorges de la Bourne, est un parcours aux morphologies peu accidentées sur une pente d'environ 15 %.

Seule exception, la rivière exokarstique de Coufin n'a été prospectée qu'à l'amont et à l'aval. La végétation dense et l'instabilité du terrain limitent son accessibilité. Le parcours est caractérisé par deux morphodynamiques majeures. En sortie d'exutoire, l'eau s'écoule dans un premier temps sur une pente inférieure à 5 % durant courte distance et dans un second temps sur une pente à 60 % environ. Le parcours cascading de Coufin est marqué par une importante végétalisation de mousses et d'herbacées mais aussi par la dispersion des eaux en de multiples écoulements (au niveau de la pente à 58 %).

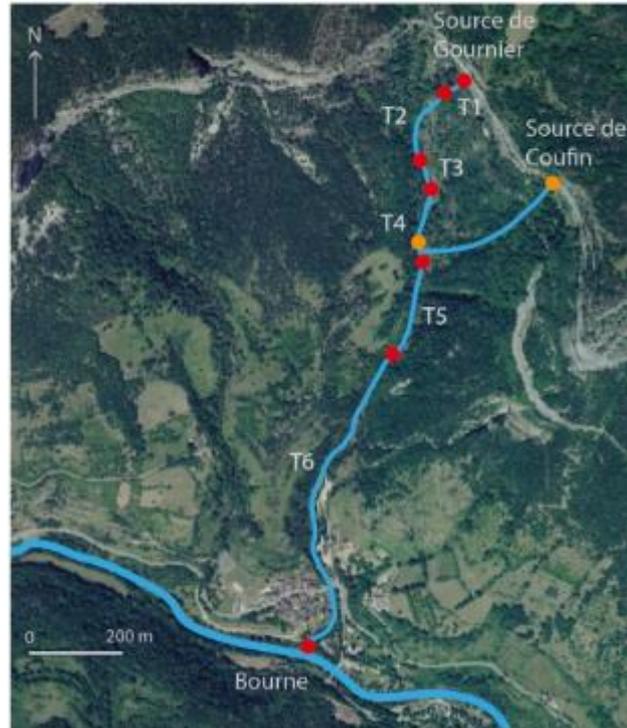


Figure 39 : Découpage longitudinal des morphodynamiques tufeuses. Lecornu E., 2020.

A l'échelle du complexe tufeux, l'épaisseur de tuf actif et inactif varie selon les processus de dépôt prédominants. Compte tenu de la géomorphologie du site, l'épaisseur de la tufière varie de plusieurs dizaines de centimètres à l'aval (tronçon 6) à plusieurs dizaines de mètres sur les secteurs amont. Certains indices, comme la cascade de 70 m et les réseaux souterrains tufeux présents à l'amont, laissent envisager que le dépôt atteint parfois une centaine de mètres. Couplée à l'analyse des paléodynamiques d'écoulement, l'accumulation de tuf a tout autant évolué par des avancées latérales que frontales. Pour illustrer la surface de la formation tufeuse, l'espace présent entre le parcours de Gournier et de Coufin est à 80% couvert de dépôt tufeux. Par son amplitude surfacique et les épaisseurs relevées, la tufière des Choranche est un système dit sénile.

Ainsi, l'ensemble des morphodynamiques et des environnements rencontrés sur cette même tufière justifie le choix du site de Choranche comme tufière de référence. En effet, à une moindre échelle, ces types de systèmes aux écoulements parfois cascading ou diffus, couverts ou non par la végétation sont ceux relevés sur les sites pilotes aux fonctionnalités dégradées



Figure 40 : Les différentes morphodynamiques du parcours de Gournier sur 1,2 km de long. Lecornu E., 2020.

Synthèse des enjeux et services rendus

Enjeux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maintenir une activité touristique diversifiée (grotte, tufière, porche)</li> <li>• Préserver les fonctionnalités hydrologiques et biologiques de la tufière</li> </ul>
Fonctionnalités	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amélioration de la qualité de l'eau par la séquestration d'éléments dissous</li> <li>• Support pour l'accomplissement du cycle biologique des espèces inféodées ou présentes temporairement</li> </ul>
Service rendus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Attrait pour l'activité touristique</li> <li>• Support de médiation par sa proximité avec le sentier des gorges de l'Ardèche et les phases d'évolutions que la tufière de Révaou présente (zone active et inactive, blocs de tuf et de calcaire effondrés, etc.)</li> </ul>

## 4 AMELIORATION DES CONNAISSANCES ET EVALUATION DES OPERATIONS DE RESTAURATION

### Fiches suivis

#### 4.1. Paramètres biologiques

4.1.1 Suivis naturalistes : Flore et Odonate	TP1 / TP2 / TP3 / TP4 / TR
<b>Objectif</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Définir l'état de conservation de la tufière</li> <li>• Suivre l'évolution de la flore et des odonates durant la phase de restauration</li> </ul>	
<b>Contexte et localisation</b>	
<p>La flore et les odonates renseignent sur l'état de conservation du milieu. Via les indicateurs Rhoméo, la flore peut fournir des indices d'engorgements des nappes (I02), de fertilisation des sols (I06), d'eutrophisation (I07) et de qualité floristique (I08). Cependant, ces indicateurs n'incluent pas dans leurs critères d'évaluation les formations bryophytiques, majoritairement présentes dans les systèmes tufeux. Pourtant, les bryophytes font partie des espèces les plus sensibles aux variations d'écoulements et peuvent avoir de courtes réponses face à ces évolutions.</p> <p>De même, l'indicateur « Intégrité du peuplement d'odonates » (I10) est peu adapté aux tufières. Le cortège odonatologique des écoulements tufeux est relativement restreint et son analyse au travers de l'indicateur I10 ne peut permettre la définition de l'état de conservation d'une tufière. Ainsi, le protocole choisi vise à rechercher l'ensemble des odonates présents sur un site pilote et plus particulièrement <i>Cordulegaster bidentata</i> (Corbid) inféodée aux tufières et dite polluosensible. Ce suivi va également être couplé à des analyses d'eau pour définir sa qualité et juger la sensibilité des <i>Cordulegaster bidentata</i> aux polluants rencontrés.</p>	
<b>Description de l'action</b>	
<p>Les relevés des bryophytes peuvent se faire tout au long de l'année. Deux passages sont ainsi prévus pour suivre l'évolution des cortèges bryophytiques. Le premier avant les opérations de restauration et le deuxième à la fin de la phase 2. Afin d'éliminer l'influence de la météo dans l'interprétation des résultats, des capteurs d'humidité et de température de l'air vont être placés sur chaque site.</p> <p>L'inventaire des odonates consiste à mener trois passages entre mars à mai sur des placettes prédéfinies. Le premier cherche à inventorier les larves de Corbid avant leur émergence afin de les différencier de <i>Cordulegaster Boltoni</i>, dont la distinction est impossible lors de leurs premiers stades larvaires. Les deux derniers passages tendent à inventorier les exuvies selon la phénologie locale des émergences. Cet indice est pour l'instant le seul attestant de l'autochtonie d'une libellule.</p>	

Résultat attendu																				
<ul style="list-style-type: none"> <li>Augmentation de la diversité et de la richesse spécifique</li> </ul>																				
Opérationnalité																				
Détail de l'opération	2023												2024							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Relevé floristique																				
Relevé odonotologique																				
Perspective selon les résultats obtenus																				
<ul style="list-style-type: none"> <li>Adapter les indicateurs Rhoméo I02, I06, I07, I08 aux systèmes tufeux en ajoutant les bryophytes à la liste des espèces indicatrices</li> </ul>																				

## 4.2 Fonctionnements physico-chimiques

4.2.1 Etude quantitative : Mesure des débits	TP1 / TP2 / TP3 / TP4 / TR
<b>Objectif</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesurer le débit minimum pour le bon fonctionnement des systèmes tufeux et le développement de leur biodiversité</li> </ul>	
<b>Contexte et localisation</b>	
<p>La variation des débits contrôle le taux de carbones dissous présent sur une tufière et ainsi le volume de tuf précipité. Suivre ces fluctuations, en les corrélant à l'analyse des dynamiques incrustantes, permet d'estimer un débit minimum pour le bon fonctionnement d'une tufière.</p> <p>Ce suivi est d'autant plus pertinent sur les sources captées pour la ressource en eau potable (Tufière de Darne et tufière de la Touvière) ou l'activité agricole (Tufière des Vauthières). En effet, certaines tufières, comme celle de Darne, définissent le taux de prélèvement en s'appuyant sur des jeux de données relativement faibles et/ou anciens. Ainsi, le débit d'étiage est seulement estimé et reflète peu les dynamiques d'écoulements réelles, d'autant plus dans un contexte de changement climatique. Ajouté à cela, le volume prélevé se réfère généralement à la capacité de l'ouvrage et les futurs besoins en eau sans inclure la préservation des dynamiques actuelles des tufières.</p> <p>Par conséquent, déterminer ce débit de bon fonctionnement par des suivis continus ou réguliers sur une période de 20 mois (phase 2) peut permettre, d'une part, de réévaluer le taux de prélèvement afin d'envisager une augmentation de la masse d'eau restituée, ou d'autre part, définir des périodes de pompages en les associant à des systèmes de stockage d'eau adaptés.</p> <p>Ces perspectives peuvent limiter l'assèchement temporaire ou permanent d'une tufière ainsi que les évolutions qu'entraîne ce dysfonctionnement (embroussaillage, perte de la diversité biologique, etc.)</p> <p>Enfin, la mesure des débits est également nécessaire aux calculs qu'implique le suivi des dynamiques incrustantes.</p>	
<b>Description de l'action</b>	
<p>En fonction des dysfonctionnements rencontrés sur les tufières, différentes méthodes peuvent être appliquées.</p>	

La première est la méthode par exploration des champs de vitesses. Elle consiste à relever les vitesses de l'écoulement à l'aide d'un courantomètre sur une section dont le volume d'eau à préalable été défini.

La seconde, destinée à la tufière de Darne, est la méthode hydraulique. Celle-ci mesure les hauteurs d'eau en continu à l'aide de sondes. Sur la tufière de Darne deux sondes peuvent être installées. La première à l'intérieur du captage d'eau potable de Fontanil et la deuxième à l'aval des trop-pleins.

#### Résultat attendu

- Définition du débit d'étiage de chaque tufière
- Mesure du débit de bon fonctionnement pour les sources captées

#### Opérationnalité

Détail de l'opération	2023												2024							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Installation des sondes																				
Relevé de terrain																				

#### Perspective selon les résultats obtenus

- Restituer le débit de bon fonctionnement pour activer des secteurs asséchés temporairement ou continuellement.

### 4.2.2 Analyse des dynamiques incrustantes in-situ et ex-situ

#### Objectif

- Comprendre les dynamiques de dépôt d'une tufière afin d'appréhender ses évolutions

#### Contexte et localisation

L'état physico-chimique de l'eau dicte en partie l'évolution d'un système tufeux. En effet, la teneur en carbonate dissous, les températures (eau et atmosphère), le pH et la conductivité conditionnent la saturation en carbonate d'un écoulement et ainsi le dépôt de tuf.

Par une approche spatio-temporelle à l'échelle du système actif, l'analyse des dynamiques incrustantes permet, d'une part, de caractériser les processus de précipitation, et d'autre part, de suivre les variations de dépôts avant, durant et après les travaux de restauration afin de juger la réussite des actions entreprises.

#### Description de l'action in-situ

TP2 / TP3 / TP4 / TR

Sur le terrain, deux méthodes permettent de suivre l'évolution des dynamiques incrustantes. Leurs mises en œuvre, conditionnées par la topographie et les dynamiques d'écoulements, ne peuvent s'appliquer à l'ensemble des tufières.

La première consiste à immerger sur le profil en long de l'écoulement plusieurs plaques témoins (25cm x 25cm). L'objectif étant de suivre les vitesses d'aggradation ou d'érosion par des pesés régulières au cours des saisons. Compte tenu des processus de dépôt et de la morphologie plane de l'objet témoin, l'emplacement des plaques est à privilégier dans les écoulements diffus et non stagnants. Toutefois, selon la vitesse de l'eau, elles peuvent également être placées dans des

écoulements concentrés. Aussi, l'objet doit être érodable avec une certaine rugosité, tel qu'une dalle calcaire couverte de mousses préalablement fixées.

Suivant ce même principe, la seconde méthode consiste à implanter des échelles témoins (barres métalliques graduées) afin de mesurer la dynamique incrustante sur les surfaces verticales (dôme tufeux, cascade et tablier). L'écoulement se doit d'être diffus pour permettre la lecture des graduations. Contrairement aux plaques témoins, ces objets peuvent être utilisés afin de comparer sur un même transect les vitesses de croissance entre des tufs bryophytiques et des tufs algaires.

Description de l'action ex-situ		TP1 / TP3 / TP4 / TR																	
<p>La méthodologie choisie pour répondre à ces objectifs s'appuie sur des relevés de terrain et un travail d'analyse en laboratoire. Dans un premier temps, plusieurs prélèvements d'eau vont être réalisés à l'amont et à l'aval de tronçons prédéfinis. Sur ces points, la température (eau et air), le pH, la conductivité et l'O<sub>2</sub> seront relevés. L'échantillonnage doit être régulier dans le temps (au minimum 1 relevé par mois) et tient également compte des conditions météorologiques afin de limiter les biais.</p> <p>La deuxième phase se déroule en laboratoire par la mesure des carbonates de calcium dissous établie à l'aide d'un titrage à l'EDTA ou par spectrophotométrie. Enfin, les différences entre les points de prélèvements amont et aval de chaque tronçon sont mesurées par soustraction afin d'obtenir les taux de carbonates déposés ou remobilisés.</p>																			
Résultat attendu																			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesure des taux de carbonate de calcium précipité</li> </ul>																			
Opérationnalité																			
Détail de l'opération	2023												2024						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
Relevé de terrain																			
Analyse en laboratoire																			

4.2.3 Analyse des dynamiques d'écoulement par vidéo timelapse		TP1 / TP3 / TP4															
Objectif																	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Suivre l'évolution des dynamiques d'écoulements</li> </ul>																	
Contexte et localisation																	
<p>Certaines opérations de gestion tendent à recréer les dynamiques d'écoulement d'une tufière. D'une part, pour restaurer les cortèges faunistiques et floristiques associés aux tufières, et d'autre part, pour réactiver les secteurs asséchés par des forçages anthropiques sans pour autant nuire aux activités environnantes. Afin de juger la réussite et la pertinence de ces actions, des caméras timelapse vont être installées pour suivre continuellement les dynamiques d'écoulement restaurées.</p>																	

Description de l'action																				
Par site, une à deux caméras grand angle vont être installées sur les arbres environnants. Leur autonomie de 42 jours et la prise de photographies à intervalles réguliers (toutes les 5 min) permettent un suivi des dynamiques d'écoulement tout au long de la phase de restauration.																				
Résultat attendu																				
<ul style="list-style-type: none"> <li>Vidéo timelapse des dynamiques d'écoulement durant la phase de restauration (20 mois)</li> </ul>																				
Opérationnalité																				
Détail de l'opération	2023												2024							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Installation des caméras																				
Suivi timelapse																				
Relevé et analyse des données																				

4.2.4 Evaluation des pressions anthropiques à l'échelle du bassin d'alimentation	TP1 / TP2 / TP3 / TP4 / TR
Objectif	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Définir le périmètre du bassin topographique des sources tufeuses.</li> <li>Caractériser les niveaux de pressions anthropiques sur un système tufeux à l'aide des indicateurs Rhoméo « Pression de l'artificialisation » (I12) et « Pression des pratiques agricoles » (I13).</li> </ul>	
Contexte et localisation	
<p>En présence d'indicateur de mauvais état chimique de l'eau, la définition de l'espace de bon fonctionnement (EBF) d'une tufière (système exo et endo-karstique) est nécessaire pour envisager sa restauration. Cet espace se caractérise comme une étendue périphérique à la tufière, au sein de laquelle se déroulent des processus physiques, chimiques et écologiques qui garantissent la pérennisation du milieu.</p> <p>Cependant, la définition de l'espace de bon fonctionnement, qui s'apparente au bassin d'alimentation d'un parcours tufeux, s'avère complexe selon le niveau de karstification et la connaissance des pendages souterrains. Ainsi pour pallier à ces limites, le bassin topographique d'une source tufeuse peut tout d'abord être défini. Moins représentatif que le bassin d'alimentation, sa caractérisation fournie, à l'aide des indicateurs Rhoméo I12 et I13, un premier niveau d'analyse des pressions anthropiques (artificialisation et pratiques agricoles) présentes sur le système d'une tufière.</p>	
Description de l'action	
<p>La définition du bassin topographique s'effectue sur un système d'information (SI) et utilise un outil délimitant automatiquement le bassin versant d'une source.</p> <p>L'indicateur Rhoméo « Pression de l'artificialisation » est construit sur l'évolution de la surface artificialisée par les routes et le bâti à l'échelle du bassin topographique et du territoire (bassin</p>	

versant de masse d'eau). Ces valeurs sont modélisées et calculées sur un SI à partir des données vectorielles BD topo de l'IGN.

Tout comme l'indicateur I12, la pression des pratiques agricoles corrèle l'évolution de la superficie des cultures impactantes (28 groupes de cultures) à l'échelle du bassin topographie à celle du territoire. Ces surfaces sont également modélisées sur un SI et s'appuient sur le Registre Parcellaire Graphique (RPG).

#### Résultat attendu

- Localisation du bassin topographique des sources tufeuses.
- Estimation des pressions de l'artificialisation et des pratiques agricoles sur le bassin topographique.

#### Opérationnalité

Détail de l'opération	2023												2024							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Relevé et analyse des données																				

#### Perspective selon les résultats obtenus

- Affiner l'évaluation des pressions anthropiques par la recherche du bassin d'alimentation d'une tufière.
- Préserver les tufières à l'échelle de l'EBF par l'évolution des pratiques.

#### 4.2.5 Cartographie haute résolution

TP1 / TP3

#### Objectif

- Créer un support cartographique haute résolution pour centraliser les données géographiques acquises à l'échelle d'un complexe tufeux
- Définir l'état morphologique de la tufière

#### Contexte et localisation

Par leur dimension, les tufières ne sont que très rarement analysées à l'échelle de leur système exokarstique post-exutoire. Les outils de documentation 3D à haute résolution développés au cours de la dernière décennie permettent d'apporter des solutions déployables et à coût raisonnable sur les sites où des actions spécifiques doivent être menées.

La connaissance, la conservation et la restauration de systèmes naturels demandent une documentation fine du milieu afin de dimensionner et designer les opérations. Pour cela, l'utilisation d'outils cartographiques à haute résolution permet de synthétiser l'ensemble des données en plus d'apporter des informations propres (couleurs, géométrie, volumes, etc).

#### Description de l'action

Le relevé 3D de deux tufières sera réalisé par photogrammétrie. Cette base topographique et orthophotographique de résolution centimétrique et géoréférencées sera un support cartographique pour l'ensemble des autres actions dont les données pourront être rapportées dans un SIG.

L'acquisition photogrammétrique sera réalisée par drone, si le vol est possible, ou par un système de captation terrestre. Il sera géoréférencé par un GPS centimétrique ou par l'alignement du modèle 3D sur celui du LiDAR HD produit par l'IGN. Les données topographiques (MNT) et dérivés (carte des pentes, ombrages, courbes de niveau etc.) seront produits, ainsi que l'orthophotographie.

En plus des données géographiques qui serviront de base au SIG, la cartographie haute résolution permettra la réalisation d'une cartographie géomorphologique à l'échelle du site pour localiser les zones actives de celles qui ne le sont plus, les éléments exogènes, etc.

**Résultat attendu**

- Optimiser les opérations de connaissance, de conservation et de restauration des tufières.

**Opérationnalité**

Détail de l'opération	2023												2024							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Relevés 3D																				
Cartographies HR																				

**Perspective selon les résultats obtenus**

- Permettre la répliquabilité de la méthodologie sur les tufières représentants des enjeux forts

## 5 OPERATIONS DE RESTAURATION DES FONCTIONNALITES

### Fiches actions

#### 5.1 Tufière pilote 1 : Site de Darne

##### 5.1.1 Travaux de bucheronnage sélectif

###### Objectif

- Réactiver le parcours tufeux inactif
- Gérer la dynamique ligneuse afin de restaurer une partie des fonctionnalités hydrologique et biologique
- Préserver la diversité faunistique et floristique (macrophyte)

###### Contexte et localisation

La diminution du volume d'eau a entraîné l'assèchement et l'installation d'une dynamique ligneuse à l'est du système actif. L'embroussaillage de ce secteur renforce la diminution du débit compte tenu des besoins hydriques de la végétation et limite également le réchauffement des eaux par la faible infiltration de la lumière. Toutefois, la part d'ombrage apportée par le couvert forestier peut favoriser l'installation et le développement de bryophytes en préservant une certaine fraîcheur et humidité atmosphérique. A noter également, qu'une trop faible luminosité, due à une végétation dense ou un apport trop important de matière organique (chute des feuilles), a des conséquences inverses et freine sinon bloque les processus photosynthétiques des bryophytes, des algues ou de certaines bactéries.

###### Description de l'action

Afin de répondre aux objectifs, deux types de gestion complémentaires peuvent être envisagés. Tout d'abord, la coupe raisonnée du couvert forestier en abattant les arbres consommateurs d'eau. Leur sélection prendra en compte deux critères, le diamètre du tronc et l'essence de l'arbre. Un équilibre entre la luminosité et l'ombrage, tous deux propices à la biodiversité et la formation de tuf, doit être préservé. Lors de l'abattage, les sujets pouvant détruire la tufière au moment de leur chute devront être débités sur pied (méthode du démontage).

En revanche, cette coupe est à éviter sur les secteurs d'algues filamenteuses. L'exposition à une luminosité plus importante pourrait augmenter leur vitesse de croissance.

Enfin, pour éviter l'apparition de rejet, les souches devront être dévitalisées.

La deuxième mesure de gestion consiste à couper les bosquets de ronces juste avant la période de haute eau afin de limiter leur reprise par leur ennoisement. Lorsque la taille des ronciers le permet, l'arrachage est recommandé.

Plusieurs interventions sont à prévoir afin d'affaiblir les systèmes racinaires et ainsi réduire le nombre de rejet. La première consiste à couper les bosquets de ronces puis sera suivi de sessions d'arrachages tous les mois ou selon la vitesse de croissance des rejets.

Résultat attendu																				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmentation de la sursaturation en carbonate dissous par l'apport de luminosité</li> <li>• Recolonisation par les bryophytes des secteurs anciennement trop ombragés</li> <li>• Elévation du volume d'eau par la diminution de l'absorption racinaire</li> <li>• Remise en eau temporaire ou continue du parcours inactif</li> </ul>																				
Opérationnalité																				
Détail de l'opération	2023												2024							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Coupe de ligneux																				

## 5.2 Tufière pilote 2 : Site de Révaou

5.2.1 Gestion de l'affluence touristique
Objectif
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Préserver la dynamique d'écoulement des dérivations anthropiques</li> <li>• Sauvegarder les cortèges faunistiques et floristiques d'éventuels assèchements</li> </ul>
Contexte et localisation
<p>La fréquentation du site, par des randonneurs non sensibilisés à la préservation des tufières, mène à la dégradation des fonctionnalités hydrogéologiques et biologiques du système tufeux. Les raisons en sont une méconnaissance des tufières par les promeneurs, la présence de sentiers en direction de la source située au nord et sud de la tufière et enfin l'absence de balisage.</p> <p>Des micro-barrages dérivant les écoulements sont ainsi créés par les promeneurs au niveau de la source. Cette perturbation entraîne l'assèchement partiel de la zone active et limite également le développement des espèces dépendantes de ses écoulements.</p>
Description de l'action
<p>Pour limiter les dégradations, trois mesures de gestion peuvent être réalisées. Dans un premier temps, les départs des sentiers accédant à la source doivent être fermés sans pour autant dénaturer le paysage environnant. Chaque année, ce secteur subit les effets de la montée des eaux. De nombreuses laisses de crue, formant des amas de branches, se retrouvent au nord de la tufière. Ces dernières peuvent être utilisées afin de bloquer le passage des promeneurs vers l'amont de la tufière.</p> <p>Au nord, des pieux seront implantés à l'entrée du sentier afin de retenir les laisses de crue sur ce secteur. La voie d'accès sud, moins touché par la montée des eaux, peut être fermée par l'apport manuel de branchages. Les buis et les figuiers déjà présents retiendront les amas construits.</p> <p>Dans un second temps, des balisages peuvent être dessinés à la jonction des chemins pour canaliser le flux touristique sur le sentier des gorges de l'Ardèche.</p> <p>Enfin, un panneau de médiation sur la préservation des systèmes tufeux peut être installé au nord de la tufière. Pour limiter sa dégradation par la montée des eaux, l'objet doit être amovible.</p>

Résultat attendu																			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrêt de la fréquentation touristique à l'amont de la tufière (source)</li> <li>• Canalisation du flux touristique sur le sentier des gorges de l'Ardèche</li> </ul>																			
Opérationnalité																			
Détail de l'opération	2023												2024						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
Implantation des pieux	■																		
Installation du panneau						■												■	
Retrait du panneau										■									
Perspective																			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aménagement d'une passerelle amovible le long du sentier des gorges sur la partie aval de la tufière : la topographie, le chemin d'accès et son caractère amovible rend la conception et l'acheminement de l'ouvrage complexe. Un temps de réflexion doit être pris par les prestataires spécialisés et le SGGA afin de concevoir cet aménagement expérimental. Ceci conduit donc la réalisation de cette passerelle sur de prochaine temporalité.</li> </ul>																			

### 5.3 Tufière pilote 3 : Site de la Touvière

5.3.1. Reconstituer les dynamiques d'écoulement
Objectif
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restaurer les paléo-dynamiques d'écoulement</li> <li>• Eviter l'augmentation du risque d'inondation sur les parcelles agricoles et sur le GR au sud de la tufière</li> <li>• Restaurer les cortèges faunistique et floristique</li> </ul>
Contexte et localisation
<p>Les morphologies du système actif et inactif sont les témoins d'une paléo-alimentation par une multitude de suintements et de sources. Toutefois, la conception du captage de la Touvière conduit au relargage des eaux par un deux exutoires séparés de quelques mètres. Cette alimentation entraîne l'assèchement de plusieurs parcours tufeux et l'instabilité du parcours actif non adapté à ce volume d'eau. Afin de concilier la restauration des fonctionnalités hydrologiques et la préservation des activités environnantes (agriculture, tourisme), l'activation du parcours nord et du parcours présent à l'aval du chenal peut être envisagée. La division de l'écoulement à la source (trop-plein) et la diffusion de l'eau à l'aval du chenal permettent de restituer les débits de bon fonctionnement sans pour autant accentuer les risques d'inondations présents au sud de la tufière.</p> <p>L'agglomération Grand Chambéry, conscient de la dégradation des fonctionnalités hydrologiques de la tufière par le captage de la Touvière, porte l'action de diviser l'écoulement à la source selon les conseils de l'IFREEMIS. En revanche, la diffusion de l'écoulement est l'une des actions de restauration expérimentale envisagée dans le cadre du projet Rezoh-tuf.</p>
Description de l'action
<p>La reconstitution des dynamiques d'écoulement s'opère par deux actions de restauration expérimentales.</p>

La première, portée par Grand Chambéry, consiste à brancher au trop-plein un système de tuyaux en « Y » associé à une vanne ajustable afin de restituer le débit de bon fonctionnement du parcours actif et le reste de l'écoulement vers le parcours nord.

La deuxième action s'opère par la réfection du talus maintenant le chenal afin de diffuser l'écoulement concentré sur le parcours actif et inactif. L'aval du talus va être aplani manuellement et le surplus de terre sera déplacé en dehors du système tufeux.

#### Résultat attendu

- Activation des parcours inactifs par leurs remises en eau
- Augmentation des volumes de tufs précipités

#### Opérationnalité

Détail de l'opération	2023												2024							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Réfection du talus																				
Aménagement du trop-plein (Grand Chambéry)																				

### 5.3.2 Travaux de bucheronnage sélectif (résineux)

#### Objectif

- Gérer la dynamique de fermeture spontanée par les résineux pour restaurer les fonctionnalités biologiques et améliorer l'état physico-chimique de l'eau

#### Contexte et localisation

La diminution du volume d'eau par le captage de la Touvière et la situation de déprise agricole ont occasionné une dynamique de fermeture du milieu par les résineux (épicéas). Les caractéristiques de ces essences végétales réduisent la diversité macrophytique et l'état physico-chimique de la tufière. D'une part, leurs aiguilles persistantes restreignent tout au long de l'année l'infiltration de rayon lumineux et ainsi le réchauffement de l'eau, et d'autre part, leurs systèmes racinaires denses et traçants associés à leurs propriétés acidifiantes limitent le développement des macrophytes et modifient l'état physico-chimique de l'eau. Dans ce contexte, la richesse biologique s'avère pauvre et les processus favorables au dépôt de carbonates relativement faibles.

De plus, le secteur ouvert à l'amont de la tufière appuie ces remarques. Le substratum est intégralement couvert de bryophytes avec ponctuellement quelques jeunes arbres feuillus. A l'inverse, le reste de la tufière envahie par les conifères tout en étant dépourvu de macrophytes.

Toutefois, la préservation d'une part d'ombre peut favoriser l'installation et le développement de bryophytes en maintenant une certaine fraîcheur et humidité atmosphérique, notamment en adret. La tufière de la Touvière, orientée vers l'ouest, est moins sujette aux sécheresses estivales et peut faire l'objet d'un faible taux d'ombrage comme sur son secteur amont.

#### Description de l'action

Afin de répondre aux objectifs, la méthode envisagée consiste à abattre les résineux (matures et jeunes) présents dans l'écoulement de la tufière et le lit inactif au nord afin d'envisager sa remise en eau. Un équilibre entre la luminosité et l'ombrage, tous deux propices à la biodiversité et la

formation de tuf, doit être gardé en préservant les ripisylves. Lors de l'abattage, les sujets pouvant détruire les tufs au moment de leur chute devront être débités sur pied (méthode du démontage). L'ensemble des rémanents de coupe seront regroupés à proximité de la zone rouverte toute en étant en dehors du système tufeux. Ces amas de branches sont des micro-habitats favorables au cycle biologique de certaines espèces et diversifient la mosaïque d'habitat présente.

#### Résultat attendu

- Développement de bryophytes sur les secteurs anciennement couvert de conifères
- Augmentation des processus favorable au dépôt de tufs par l'apport de luminosité et l'amélioration de l'état physico-chimique de l'eau
- Elévation du volume d'eau par la diminution de l'absorption racinaire

#### Opérationnalité

Détail de l'opération	2023												2024							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Coupe de ligneux																				

## 5.4 Tufière pilote 4 : Site des Vauthières

### 5.4.1. Réfection du lit à l'amont de la tufière

#### Objectif

- Redessiner le lit de l'écoulement à l'amont de la tufière pour restaurer ses fonctionnalités
- Maintenir les pratiques environnantes (agriculture et tourisme)

#### Contexte et localisation

Le passage répété d'engins agricoles, de troupeaux et de promeneurs dans l'écoulement de la tufière, mène à la dégradation des fonctionnalités du système tufeux.

A l'amont, les effets de ces pratiques sont la remobilisation des sédiments entraînant l'asphyxie des organismes vivants et la pollution de l'eau. A l'aval, les promeneurs érodent et cassent les dépôts de tuf par l'effet du piétinement.

Ces dégradations soulignent :

- Une méconnaissance des enjeux autour des tufières par les usagers
- Des aménagements du lit, non adaptés à la préservation du site des Vauthières, tels que la circulation des eaux sur le chemin communal et la buse sous un passage agricole collectant seulement 70 % de l'écoulement.

#### Description de l'action

La réfection du lit, où circulent les eaux alimentant la tufière, s'opère par trois actions de restauration.

La première tend à chenaliser l'écoulement divaguant librement sur le chemin communal (60 m de long). Les travaux envisagent de raccorder les deux canaux, présents à l'amont et à l'aval de ce secteur, afin de limiter l'augmentation de la turbidité de l'eau et l'inondation des parcelles agricoles.

Ce sentier est l'unique voie d'accès pour les parcelles agricoles en rive droite du Chéran. Pour répondre aux objectifs ci-dessus, la deuxième action vise à buser l'écoulement traversant le chemin communal (5 m de long sur un diamètre de 60 cm).

Enfin, la dernière opération, localisée à l'aval du second bas-marais alcalin, consiste à concentrer les eaux dans la buse déjà existante par le creusement d'un chenal. Ainsi, la pollution de l'eau et l'augmentation de la turbidité par les pratiques agricoles sont atténuées.

#### Résultat attendu

- Amélioration de la qualité de l'eau
- Augmentation de la richesse bryophytique

#### Opérationnalité

Détail de l'opération	2023												2024							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Travaux de réfection																				

### 5.4.2. Reconstituer les dynamiques d'écoulement

#### Objectif

- Restaurer les paléo-dynamiques d'écoulement
- Pérenniser l'activité agricole

#### Contexte et localisation

Les morphologies du système actif et inactif sont les témoins d'une dynamique d'écoulement diffuse à l'amont de la tufière. Toutefois, la chenalisation et la casse de deux gours ont conduit l'écoulement à se concentrer en direction du nord. Cette dérivation de l'écoulement permet d'abreuver le troupeau de génisses présent dans la parcelle adjacente et a entraîné l'assèchement d'une partie du parcours inactif actuel.

Afin de concilier la restauration des fonctionnalités hydrologiques et la préservation des activités environnantes, plusieurs actions peuvent être envisagées. Celles-ci vont dans un premier temps se concentrer sur la remise en eaux du secteur asséché par la diffusion de l'écoulement et la pérennisation d'une zone d'abreuvement pour l'exploitant agricole.

#### Description de l'action

La reconstitution des dynamiques d'écoulement s'opère par trois actions de restauration expérimentales.

La première consiste à installer une rugosité au niveau des gours cassés afin de reformer ces paléo-morphologies tufeuses. Le support envisagé est un seuil tressé en châtaignier afin d'éviter toute reprise ligneuse. L'étude des morphologies démontre que la reconstitution des gours peut permettre la restauration des dynamiques d'écoulement. En attendant que les gours soient étanches, un réseau de tuyaux (20 cm de diamètre) ou de gouttières va provisoirement rediffuser l'écoulement.

En parallèle, pour pérenniser la ressource en eaux de la parcelle agricole, une zone d'abreuvement va être aménagée à plusieurs mètres de l'écoulement. Celle-ci se compose d'un abreuvoir avec un flotteur utilisant la force gravitationnelle pour l'acheminement de l'eau.

### Résultat attendu

- Reconstitution des édifices tufeux disparus (gours)
- Activation des parcours inactifs par leurs remises en eau
- Augmentation des volumes de tufs précipités
- Augmentation de la richesse bryophytique dans la tufière
- Pérennisation du système d'abreuvement
- Réduction des pollutions agricoles

### Opérationnalité

Détail de l'opération	2023												2024							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Pose des aménagements	■																			
Pose de l'abreuvoir			■																	

### Perspectives

- Adaptation du système d'irrigation aux enjeux du site : l'usage en continu de la ressource en eau sans système de stockage renforce la dégradation de la tufière, notamment en période estivale. L'installation d'un réservoir à remplir en saison de hautes eaux, tel qu'une citerne souple, peut être envisagée. En effet, ce système permet, d'une part, de stopper les prélèvements au moins durant l'étiage, et d'autre part, de sécuriser la ressource en eaux pour les activités agricoles. Cette adaptation du système d'irrigation permettrait à la fois de retrouver les fonctionnalités hydrologiques et biologiques de la tufière (augmentation des volumes d'eau, remobilisation de la matière organique et réactivation des paléo-parcours) tout en pérennisant dans un contexte de changement climatique l'activité maraîchère et pastorale. Le PNRMB et la commune de Gruffy s'investissent actuellement sur cette question pour mener à bien cette mesure de gestion.

### 5.4.3 Travaux de bucheronnage sélectif (troène et ronce)

#### Objectif

- Gérer la dynamique ligneuse afin de restaurer les fonctionnalités hydrologiques et biologiques

#### Contexte et localisation

La diminution du volume d'eau par le captage à la source a entraîné l'assèchement et l'installation d'une dynamique ligneuse sur la partie amont du système actif. L'embroussaillage de ce secteur renforce la diminution du débit compte tenu des besoins hydriques de la végétation et limite également le réchauffement des eaux par la faible infiltration de la lumière. Toutefois, la part d'ombrage apportée par le couvert forestier peut favoriser l'installation et le développement de bryophytes en préservant une certaine fraîcheur et humidité atmosphérique. A noter également, qu'une trop faible luminosité, due à une végétation dense ou un apport trop important de matière

organique (chute des feuilles), a des conséquences inverses et freine sinon bloque les processus photosynthétiques des bryophytes, des algues ou de certaines bactéries.

### Description de l'action

Afin de répondre aux objectifs, trois types de gestion complémentaires peuvent être envisagées.

Tout d'abord, la coupe sélective des ligneux en abattant les essences consommatrices d'eau, telles que les troènes. Les autres essences, non envahissantes, doivent être préservées afin de maintenir un taux d'ombrage propice à la biodiversité et à la formation de tuf. Lors de l'abattage, les sujets pouvant détruire la tufière au moment de leur chute devront être débités sur pied (méthode du démontage).

Egalement, pour éviter l'apparition de rejet, les souches devront être dévitalisées.

La deuxième mesure de gestion consiste à arracher les rejets de troène encore peu enracinés. Lorsque leurs systèmes racinaires sont trop développés, cette action est à éviter pour réduire toute détérioration de la tufière.

Enfin, la dernière action vise à couper les bosquets de ronces juste avant la période de hautes eaux afin de limiter leur reprise par leurs ennoissements. Lorsque la taille des ronciers le permet, l'arrachage est recommandé.

Pour les deux dernières opérations, plusieurs interventions sont à prévoir afin d'affaiblir les systèmes racinaires et ainsi réduire le nombre de rejets. Celles-ci se présentent sous la forme de sessions d'arrachages à intervalles réguliers (mensuel) ou selon la vitesse de croissance des rejets.

### Résultat attendu

- Développement de la richesse bryophytes
- Augmentation de la sursaturation en carbonate dissous par l'apport de luminosité
- Elévation du volume d'eau par la diminution de l'absorption racinaire
- Diminution de l'apport de matière organique (feuillage) dans le parcours tufeux

### Opérationnalité

Détail de l'opération	2023												2024							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Coupe de ligneux																				

## 6 ESTIMATION DES DEPENSES PREVISIONNELLES

---

L'estimation des dépenses prévisionnelles de la phase 2 détaille par action les montant alloués à chaque opération de suivi et de restauration, soit la partie « Maitrise d'œuvre et sous-traitance : Opérations expérimentales de suivi et de restauration » comptant un budget total de 90 000€.

Ce chiffrage s'appuie sur des devis et également sur des plans de gestion des zones humides transmis par les différents partenaires du projet. Les sommes affichées peuvent être amenées à évoluer en fonction de l'inflation des matières premières et du prestataire choisi pour certaines opérations (mesure des débits, travaux de bucheronnage sélectif, reconstituer les dynamiques d'écoulement).

La forme du tableau reprend le plan de l'étude de faisabilité pour faciliter sa lecture et sa compréhension.

Intitulé de l'action	Intervenant	Modalité	Coût
<b>Pilotage et suivi du projet</b>			
Coordination technique, administrative et financière	Ifreemis - Chargé du projet (Coûts réels)	Régie	11 260 €
	Ifreemis - Chargé de mission (Coûts réels)		16 008 €
	Frais de déplacement		6 963 €
Accompagnement technique et scientifique	Cen RA - Benoît Pascault	Convention de coopération Cen RA	4 140 €
	Frais de déplacement		1 000 €
	Edytem - Jean-Jacques Delannoy	Contrat de prestation EDYTEM et Styx 4D	2 250 €
	Edytem - Fabien Hobléa		1 479 €
	Frais de déplacement		1 500 €
	Styx 4D	15 400 €	
Maitrise d'œuvre et sous-traitance : Opérations expérimentales de suivi et de restauration	Opérateur locaux et entreprise spécialisée	Contrat de prestation	90 000 €
<b>Coût total de la phase 2</b>			<b>150 000 €</b>

<b>Maitrise d'œuvre et sous-traitance : Opérations expérimentales de suivi et de restauration</b>					
<b>4. Amélioration des connaissances et évaluation des opérations de restauration</b>					
<b>4.1. Paramètres biologiques :</b>	4.1.1 Suivis naturalistes test et adaptation des protocoles Rhoméo	Inventaire des bryophytes et des plantes vasculaires	CBNA et CBNMC	Prestation	21 600 €
		Inventaire des odonates	Groupe Sympetrum	Prestation	6 750 €
<b>4.2. Fonctionnements physico-chimiques :</b>	4.2.1 Analyse quantitative : Mesure des débits	Acquisition matériel d'enregistrement en continu (sondes)	Fournisseurs	Prestation	15 480 €
		Mise à disposition d'un courantomètre	CEN RA	Convention de coopération	Compris dans le pilotage
		Mesures de débit	Ifreemis - Chargé de mission (Coûts réels)	Régie	Compris dans le pilotage
		Analyse (courbe de tarage)	Fournisseurs	Prestation	3 480 €
	4.2.2 Analyse des dynamiques incrustantes in-situ et ex-situ	Acquisition matériel (sondes multi-paramètres)	Fournisseurs	Prestation	8 567 €
		Acquisition repères témoins	Fournisseurs	Prestation	89 €
		Prélèvement et analyse en laboratoire	Ifreemis - Chargé de mission (Coûts réels)	Régie	Compris dans le pilotage
	4.2.3 Analyse des dynamiques d'écoulement par vidéo timelapse	Analyse qualitative de l'eau en laboratoire	Laboratoire spécialisé (Carso)	Prestation	450 €
		Acquisition caméra time laps	Fournisseurs	Prestation	1 400 €
	4.2.4 Bassin topographique	Pose caméra et traitement/analyse des images timelaps	Ifreemis - Chargé de mission (Coûts réels)	Régie	Compris dans le pilotage
Collecte des données		Ifreemis - Chargé du projet (Coûts réels)	Régie	Compris dans le pilotage	
Traitement des données					
4.2.5. Cartographie haute résolution	Relevé 3D	Styx 4D	Contrat de prestation	Compris dans le pilotage	
	Construction des supports cartographiques				
<b>Coût total : 4. Amélioration des connaissances et évaluation des opérations de restauration</b>					<b>57 815 €</b>
<b>5. Opérations d'amélioration des fonctionnalités</b>					
<b>5.1 Tufière pilote 1 : Site de Darne</b>	5.1.1 Travaux de bucheronnage sélectif	Travaux de bucheronnage sélectif	Entreprise spécialisée	Prestation maitrise d'oeuvre	3 788 €
		Travaux de bucheronnage sélectif (arbustes et jeune ligneux)	CEN Isère	Prestation maitrise d'oeuvre	2 600 €
<b>5.2 Tufière pilote 2 : Site de Révaou</b>	5.2.1 Gestion de l'affluence touristique	Conception du panneau	Ifreemis - Chargé de mission (Coûts réels)	Régie	Compris dans le pilotage
		Fabrication du panneau	Fournisseurs	Prestation	920 €
		Acquisition des pieux	Fournisseurs	Prestation	62 €
		Intallation des aménagements	SGGA	Prestation maitrise d'oeuvre	900 €
<b>5.3 Tufière pilote 3 : Site de la Touvière</b>	5.3.1. Reconstituer les dynamiques d'écoulement	Refection du talus chenalissant l'écoulement	Entreprise spécialisée	Prestation maitrise d'oeuvre	1 639 €
	5.3.2 Travaux de bucheronnage sélectif (résineux)	Travaux de bucheronnage sélectif	Entreprise spécialisée	Prestation maitrise d'oeuvre	8 194 €
<b>5.4 Tufière pilote 4 : Site des Vauthières</b>	5.4.1. Réfection du lit à l'amont de la tufière	Chenalisation de l'écoulement sur le chemin communal	Entreprise spécialisée	Prestation maitrise d'oeuvre	3 643 €
		Installation d'une buse	Entreprise spécialisée	Prestation maitrise d'oeuvre	471 €
		Chenalisation de l'écoulement à l'aval du bas-marais alcalin	Entreprise spécialisée	Prestation maitrise d'oeuvre	250 €
	5.4.2. Reconstituer les dynamiques d'écoulement	Construction de seuil	Entreprise spécialisée	Prestation maitrise d'oeuvre	291 €
		Système de diffusion de l'écoulement	Entreprise spécialisée	Prestation maitrise d'oeuvre	518 €
		Système d'abreuvement	Exploitant agricole	Prestation maitrise d'oeuvre	354 €
5.4.3 Travaux de bucheronnage sélectif (troène et ronce)	Travaux de bucheronnage sélectif	Entreprise spécialisée	Prestation maitrise d'oeuvre	6 555 €	
<b>Accompagnement des opérateurs locaux</b>			CEN (38, 73, 74), PNRMB, SGGA, ...	Contrat de prestation	2 000 €
<b>Coût total : 5. Opération d'amélioration des fonctionnalités</b>					<b>32 185 €</b>
<b>Coût total des opérations de suivi et de restauration</b>					<b>90 000 €</b>

## Bibliographie

---

**Adolphe J.P., 1986.** *Biocristalogenèse et écomorphologie des tufs, travertins*. Enseignements tirés d'exemples naturels et expérimentaux. Méditerranée. T. 57, n°1-2, pp. 11-20.

**Adolphe J.P., Hourimeche A., Loubiere J.F., Paradas J., Soleilhavoup F., 1991.** *Microorganisms and carbonated sediments (Continental formations in north Africa)*. Journal of african earth sciences (and the middle east). Vol 12, Issues 1-2, pp. 397-407.

**Aguilar J.P., Michaux J., Delannoy J.J., Guendon J.L. 1993.** A late Pliocene rodent fauna from Alozaina (Malaga, Spain). *Publication de l'Institut des Sciences de l'Evolution*, n° 93009, pp. 1-22.

**Bakalowicz M., 1992.** *Géochimie des eaux et flux de matières dissoutes. L'approche objective du rôle du climat dans la karstogénèse*. Karst et évolutions climatiques, Presses Universitaire de Bordeaux. pp. 61-74

**Belleville L. 1985.** *Hydrogéologie karstique : Géométrie, fonctionnement et karstogénèse des systèmes karstiques des Gorges de l'Ardèche (Ardèche, Gard)*. Thèse de doctorat de l'Université scientifique et médicale de Grenoble. 236 p.

**Bensettiti F., Gaudillat V. & Hauray 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.

**Chambaud F., Simonnot J.L. (coord.), 2018.** *Guide technique du SDAGE. Délimiter l'espace de bon fonctionnement des zones humides*. Coll. Sauvons l'eau, Comité de Bassin RMC, 51 p.

**Limouzin M., Chassard J. & Charles R., 2018.** *Mise en place des périmètres de protection au niveau des captages de Coudray, de la Touvière et des Garins*. Dossier d'enquête publique, Chambéry Métropole – Cœur des Bauges, 105 p.

**Chanson H., 1995.** *Air-water gas transfer at hydraulic jump with partially develop inflow*. Department of Civil Engineering, The University of Queensland, Brisbane, Australia

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

**Clément H., Reich M., Mistarz M. & Garcin J., 2020.** *Évaluation de l'état de conservation des bas-marais calcaires d'intérêt communautaire. Cahiers d'évaluation à l'échelle des sites Natura 2000. Version 1*. UMS Patrinat - OFB/CNRS/MNHN. 183 p.

**Clément H., Reich M., Botcazou F., Mistarz M. & Garcin J., 2021.** *Évaluation de l'état de conservation des bas-marais calcaires d'intérêt communautaire. Cahiers d'évaluation à l'échelle des sites Natura 2000. Version 2*. UMS Patrinat - OFB/CNRS/MNHN. 185 p.

**Corbel J., 1959.** *Érosion en terrain calcaire (vitesse d'érosion et morphologie)*. Annales de géographie. n° 366, pp. 97-120.

**Couchoud I., 2008.** *Les spéléothèmes, archives des variations paléoenvironnementales*. Quaternaire. vol. 19, n°4, pp 255-274

**Delannoy J.J., 1981.** *Le Vercors septentrional, le karst de surface et le karst souterrain. Recherches géomorphologiques sur un karst de la montagne alpine*. Thèse de 3ème cycle. Institut de Géographie Alpine, Université de Grenoble, 517 p.

**Delannoy J.J., Guendon J.L., Quinif Y., Roiron P., 1999.** *Les formations travertineuses : des témoins paléoenvironnementaux et morphogéniques. Exemple du piémont méditerranéen de la Serranía de Ronda (Province de Malaga, Espagne).* Bulletin de la société belge de Géologie, T. 106, pp. 79-96.

**Delannoy 1997.** *Recherches géomorphologiques sur les massifs karstiques du Vercors et de la transversale de Ronda (Andalousie) : les apports morphogéniques du karst.* Thèse d'Etat, Université Joseph-Fourier-Grenoble I. Presses Universitaires du Septentrion, 678 p.

**Delannoy J.J., Guendon J.L., 1995.** *Les formations travertineuses des régions karstiques : séquences sédimentaires et paléoenvironnements quaternaires.* Journées Bruno Bastin : Environnements et datations dans le Quaternaire : méthodes et résultats, Annales de la Société Géologique de Belgique. Han sur Lesse –Belgique.

**Delannoy J.J., Guendon J.L., Quinif Y., Roiron P., 1993.** *Formaciones travertínicas del piedemonte mediterráneo de la Serranía de Ronda (Málaga).* Valencia, Cuad. De Geogr., n°54, pp. 189-222.

**Gaudillat V., Argagnon O., Bensettiti, F., Bioret F., Boulet V., Causse G., Choynet G., Coignon B., de Foucault B., Delassus L., Duhamel F., Fernez Th., Herard K., Lafon P., Le Foullet A., Panaiotis C., Poncet R., Prud'homme F., Rouveyrol P. & Villaret J.C., 2018.** *Habitats d'intérêt communautaire : actualisation des interprétations des Cahiers d'habitats.* Version 1, mars 2018. Rapport UMS PatriNat 2017-104. UMS PatriNat, FCBN, MTES, Paris, 62 p.

**Lecornu E., 2020.** *Les dynamiques des écoulements incrustants endo- et exokarstiques. Le cas du site de Choranche (Vercors).* Mémoire de Master 2 Géosphères, Université Savoie Mont Blanc. 103 p.

**Muxart T., 1981.** *Thème II. Processus de précipitation et mesures (Process of precipitation and measures).* Bulletin de l'Association de Géographes Français. n° 479-480, pp. 189-196

**Pentecost A. 1981.** *The tufa (travertine) deposits of the Malham district, North Yorkshire.* *Fld. Stud.* 5, pp. 365-87.

**Robequain C., 1922.** *Le Trièves. Etude géographique.* Revue de géographie alpine, n° 10-1, pp. 5-126.

**Vaudour J. 1986.** *Introduction à l'étude des édifices travertineux holocènes. Table Ronde « Travertins I. s. et évolution des paysages holocènes dans le domaine méditerranéen », Aix-en- Provence, 5-6 novembre 1985. Méditerranée, 1-2, pp. 3-10.*

**Villaret J.C., Van Es J., Sanz T., Pache G., Legland T., Mikolajcak A., Abdulhak S., Garraud L., Lambey B., 2019.** *Guide des habitats naturels et semi-naturels des Alpes. Du Jura méridional à la Haute Provence et des bords du Rhône au Mont-Blanc. Description, écologie, espèces diagnostiques, conservation.* Ed. Naturalia, 640 p.

**Weisrock A., 1981.** *Morphogénèse des édifices tuffeux d'Imouzzer Ida ou Tanane (Maroc).* Actes du Colloques de l'A.G.F., Formations carbonatées externes, tufs et travertins, Paris, Mémoire de l'A.F.K. n°3, pp. 157-170.

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

## ANNEXE

### Annexe 1 : Fiche de relevés de terrain

Fiche terrain : Inventaire des tufières																		
<b>Nom du site :</b> <small>(Ex : n° département - 3er lettres commune - n°)</small>	<b>Observateur et accompagnateur :</b> <b>Période d'observation :</b> Matin / Midi / Après-midi																	
<b>Commune :</b>	<b>Date :</b> ... / ... / .....																	
<b>Statut de protection :</b>	<b>Foncier :</b>																	
<b>1. Paramètre d'état</b>																		
<b>1. Condition météorologique</b> <input type="checkbox"/> Ensoleillé <input type="checkbox"/> Eclaircie <input type="checkbox"/> Couvert <input type="checkbox"/> Fine pluie <input type="checkbox"/> Averse Météo des 2 derniers jours : <input type="checkbox"/> Ensoleillé <input type="checkbox"/> Fine pluie <input type="checkbox"/> Averse	<b>2. Température externe</b> Heure : Au soleil : A l'ombre :	<b>3. Critère de délimitation de la tufière</b> <input type="checkbox"/> Hydrologie <input type="checkbox"/> Géomorphologie <input type="checkbox"/> Végétation Détails : Limite : A représenter sur une carte																
<b>2. Indicateur de fonctionnement et d'évolution</b>																		
<b>1. Origine de la minéralisation</b> <input type="checkbox"/> Systèmes karstiques <input type="checkbox"/> Assises carbonatés <input type="checkbox"/> Systèmes hydrothermaux	<b>2. Ecoulement à l'amont de la tufière (point gps)</b> <input type="checkbox"/> Un seul <input type="checkbox"/> Multiple (définir l'ordre) <input type="checkbox"/> En surface <input type="checkbox"/> Souterrain → <input type="checkbox"/> Pénétrable <input type="checkbox"/> Non identifié : <input type="checkbox"/> Non pénétrable	<b>3. Pente générale</b> <input type="checkbox"/> > 15 % <input type="checkbox"/> 15 à 30 % <input type="checkbox"/> 30 à 50 % <input type="checkbox"/> 50 % <																
<b>4. Topographie générale (fig. 1) :</b> (plusieurs cases peuvent être cochées)		<b>5. Taux de recouvrement végétal (fig. 2) :</b>																
Lit actif : <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr></table> Lit inactif : <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr></table> Largeur moy : <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table> Largeur moy : <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table> Orientation versant : <input type="checkbox"/> Plane (absence rupture de pente ou morphologie marquée) <input type="checkbox"/> Accidentée : (présence d'objets encroûtés ou non) centimétrique / métrique / décimétrique / plus : <input type="checkbox"/> Succession de gours → L x l x h moy = <input type="checkbox"/> Cascade / Dômes → h = <input type="checkbox"/> Cascades / Dômes ponctuelles → h moy = <input type="checkbox"/> Cascadante (succession cascades/vasques) → h moy =	1	2	3	4	1	2	3	4									<input type="checkbox"/> Recouvrement total (%) : <input type="checkbox"/> Ligneux adulte (%) : <input type="checkbox"/> Ligneux jeune (%) : <input type="checkbox"/> Arbustes (%) : <input type="checkbox"/> Herbacées (%) : <input type="checkbox"/> Bryophytes (%) :	
1	2	3	4															
1	2	3	4															
Dans la mesure du possible, <b>joindre un tracé gps</b> positionnant les topographies générales ci-dessus.		<b>6. Association végétale environnante :</b> (Espèces arborées dominantes) <input type="checkbox"/> Contact écologique : <input type="checkbox"/> Non identifiée																
<b>Détails :</b> <div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div>		<b>7. Evolutions potentielles :</b> <table border="1" style="float: right; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Présent</th> <th>Possible</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/> Effondrement</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Glissement de terrain</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Embâcle</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Autre :</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Présent	Possible	<input type="checkbox"/> Effondrement			<input type="checkbox"/> Glissement de terrain			<input type="checkbox"/> Embâcle			<input type="checkbox"/> Autre :			
	Présent	Possible																
<input type="checkbox"/> Effondrement																		
<input type="checkbox"/> Glissement de terrain																		
<input type="checkbox"/> Embâcle																		
<input type="checkbox"/> Autre :																		

3. Valeurs géopatrimoniales (point gps)	
<b>1. Centrales</b> <input type="checkbox"/> Forte (4 ou plus) <input type="checkbox"/> Modérée (2 à 3) <input type="checkbox"/> Faible (1)	<input type="checkbox"/> Mémoire de l'histoire terrestre <input type="checkbox"/> Richesse importante en géotype (quantité) <input type="checkbox"/> Diversité de géotypes <input type="checkbox"/> Présence de géotypes rares <input type="checkbox"/> Compréhension des processus géodynamiques <input type="checkbox"/> Géotypes dégradés/menacés
Détails :	
<b>2. Additionnelles</b> <input type="checkbox"/> Forte (6 ou plus) <input type="checkbox"/> Modérée (3 à 5) <input type="checkbox"/> Faible (<2)	Sciences naturelles : <input type="checkbox"/> biologie <input type="checkbox"/> climatologie Histoire des hommes : <input type="checkbox"/> archéologie <input type="checkbox"/> histoire Domaine culturelle : <input type="checkbox"/> artistique <input type="checkbox"/> paysager <input type="checkbox"/> identitaire <input type="checkbox"/> religieux <input type="checkbox"/> pédagogique Usage socio-économique : <input type="checkbox"/> agricole <input type="checkbox"/> récréatif <input type="checkbox"/> touristique
Détails :	

4. Activités environnantes
<input type="checkbox"/> Agricole : <input type="checkbox"/> Sylvicole : <input type="checkbox"/> Industrielle : <input type="checkbox"/> Touristique : <input type="checkbox"/> Autre :

5. Aménagement (point ou tracé gps)
<input type="checkbox"/> Mise en défens <input type="checkbox"/> Sentier de contournement <input type="checkbox"/> Passerelle <input type="checkbox"/> Tunnel <input type="checkbox"/> Coupe de ligneux <input type="checkbox"/> Redéfinition du lit actif (détournement des eaux) <input type="checkbox"/> Autre :

6. Dysfonctionnements (avérés ou potentiels) à localiser par un point ou un tracé gps																																																																																																													
<b>1. Anthropique</b> <input type="checkbox"/> Extraction de tuf <input type="checkbox"/> Artificialisation des berges et du lit <input type="checkbox"/> Barrage (type embâcle) <input type="checkbox"/> Barrage hydraulique <input type="checkbox"/> Présence centrale hydroélectrique <input type="checkbox"/> Curage <input type="checkbox"/> Dérivation <input type="checkbox"/> Pompage des eaux <input type="checkbox"/> Dépôt de matériaux (décharge) <input type="checkbox"/> Rejets ponctuels (pollutions) <input type="checkbox"/> Rejets réguliers (eau industrielle) <input type="checkbox"/> Passage d'engins lourds <input type="checkbox"/> Passage d'engins motorisés <input type="checkbox"/> Aménagement chemin carrossable <input type="checkbox"/> Plantations / enrésinement <input type="checkbox"/> Broyage <input type="checkbox"/> Piétinement bétail : <input type="checkbox"/> Surfréquentation / Piétinement <input type="checkbox"/> Autre :	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Récent</th> <th>Ancien (~ 50 ans)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Récent	Ancien (~ 50 ans)																																																							<b>2. Naturelle</b> <input type="checkbox"/> Piétinement gibier <input type="checkbox"/> Fermeture par ligneux <input type="checkbox"/> Plantes invasives <input type="checkbox"/> Ligneux mort lit actif <input type="checkbox"/> Incendie <input type="checkbox"/> Autre :	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Récent</th> <th>Ancien (~ .. ans)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Récent	Ancien (~ .. ans)																																																
Récent	Ancien (~ 50 ans)																																																																																																												
Récent	Ancien (~ .. ans)																																																																																																												
Détails :																																																																																																													

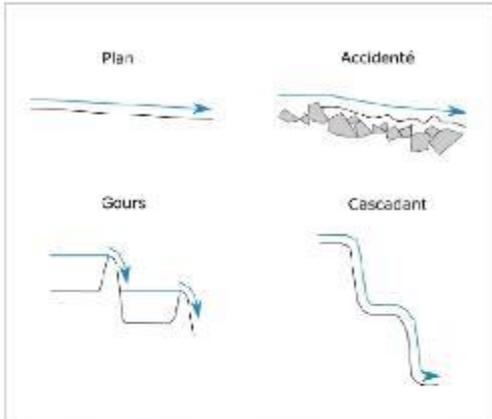


Figure 1 : Topographie générale des édifices tufeaux (source : E. Lecornu)

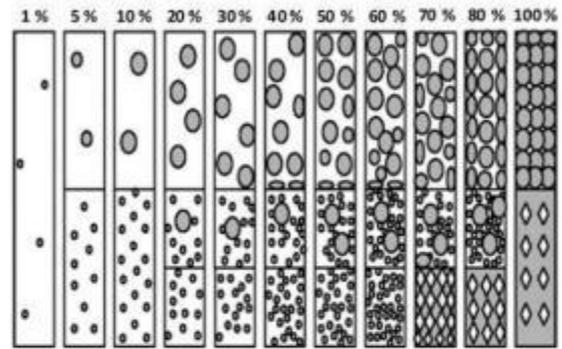


Figure 2 : Aide à l'estimation du recouvrement (source : N. Fromont)

## Annexe 2 : Liste des espèces floristiques et faunistiques

## Tufière pilote 1 (TP1) : Le site de Darne

## Données floristiques :

				Nom vernaculaire	Nom latin
Sapin pectiné, Sapin à feuilles d'If	<i>Abies alba</i>	Laiche glauque, Langue-de-pic	<i>Carex flacca</i>	Euphorbe douce, Euphorbe pourprée	<i>Euphorbia dulcis</i>
Érable champêtre, Acéraisle	<i>Acer campestre</i>	Laiche de Haller	<i>Carex halleriana subsp. halleriana</i>	Hêtre, Fouteau	<i>Fagus sylvatica</i>
Érable à feuilles d'obier	<i>Acer opalus Miller</i>	Laiche écailleuse	<i>Carex lepidocarpa</i>	Arabette à feuilles de chou	<i>Fourraea alpina</i>
Érable sycamore, Grand Érable	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Laiche des montagnes	<i>Carex montana</i>	Fraisier sauvage, Fraisier des bois	<i>Fragaria vesca</i>
Calamagrostide argentée	<i>Achnatherum calamagrostis</i>	Laiche faux Panic	<i>Carex panicea</i>	Frêne élevé, Frêne commun	<i>Fraxinus excelsior</i>
Ail des collines	<i>Allium lusitanicum</i>	Céphalanthère à feuilles étroites, Céphalanthère à feuilles longues, Céphalanthère à feuilles en épée	<i>Cephalanthera longifolia</i>	Herbe à Robert	<i>Geranium</i>
Amélanchier	<i>Amelanchier ovalis</i>	Chicoré amère, Barbe de capucin	<i>Cichorium intybus</i>	Lierre grim pant, Herbe de saint Jean	<i>Hedera helix</i>
Anémone des bois, Anémone sylvie	<i>Anemone nemorosa</i>	Cirse de Montpellier	<i>Cirsium monspessulanum</i>	Hellébore fétide, Pied-de-griffon	<i>Helleborus foetidus</i>
Angélique sauvage	<i>Angelica sylvestris</i>	Muguet, Clochette des bois	<i>Convallaria majalis</i>	Épervière fausse andryale	<i>Hieracium andryaloides</i>
Phalangère à fleurs de lys, Phalangère petit-lys, Bâton de Saint Joseph, Anthéricum à fleurs de Lis	<i>Anthericum liliago</i>	Cornouiller mâle, Cornouiller sauvage	<i>Cornus mas</i>	Hysope, Herbe sacrée	<i>Hyssopus officinalis</i>
Muflier	<i>Antirrhinum majus subsp. latifolium</i>	Sanguine	<i>Cornus sanguinea subsp. sanguinea</i>	Houx	<i>Ilex aquifolium</i>
Ancolie vulgaire, Clochette	<i>Aquilegia vulgaris</i>	Coronille faux-séné, Coronille arbrisseau	<i>Coronilla emerus</i>	Herbe aux mouches	<i>Inula conyza</i>
Arabette tourette	<i>Arabis turrata</i>	Noisetier, Avelinier	<i>Corylus avellana</i>	Inule de Vaillant, Inule de Suisse	<i>Inula helvetica</i>
Armoise blanche, Armoise camphrée	<i>Artemisia alba</i>	Aubépine à un style, Épine noire, Bois de mai	<i>Crataegus monogyna</i>	Jonc glauque	<i>Juncus inflexus</i>
Barbe-de-bouc	<i>Arunco dioicus</i>	Crépide fétide	<i>Crepis foetida</i>	Genévrier commun, Peteron	<i>Juniperus communis subsp. communis</i>
Asperge officinale	<i>Asparagus officinalis subsp. officinalis</i>	Crocus de printemps, Crocus printanier, Crocus de Naples, Crocus blanc	<i>Crocus vernus</i>	Faux-ébénier, Cytise, Aubour	<i>Laburnum anagyroides</i>
Doradille de Haller, Doradille des sources, Asplénium de Haller	<i>Asplenium fontanum</i>	Juniesse	<i>Cytisus scoparius subsp. scoparius</i>	Troëne, Raisin de chien	<i>Ligustrum vulgare</i>
Doradille rue des murailles, Rue des murailles	<i>Asplenium ruta-muraria</i>	Orchis de Fuchs, Orchis tacheté des bois, Orchis de Meyer, Orchis des bois	<i>Dactylorhiza fuchsii</i>	Lis martagon	<i>Lilium martagon</i>
Capillaire des murailles, Fausse capillaire, Capillaire rouge, Asplénie	<i>Asplenium trichomanes</i>	Daphné des Alpes	<i>Daphne alpina</i>	Grande Listère	<i>Neottia ovata</i>
Épine-vinette, Berbérís commun	<i>Berberis vulgaris</i>	Daphné lauréole, Laurier des bois	<i>Daphne laureola</i>	Chèvrefeuille d'Estrurie	<i>Lonicera etrusca</i>
Bouleau verruqueux	<i>Betula pendula</i>	Digitale jaune	<i>Digitalis lutea</i>	Chèvrefeuille des haies, Camérisier des haies	<i>Lonicera xylostemum</i>
Brachypode des rochers	<i>Brachypodium rupestre</i>	Épilobe à feuilles de romarin	<i>Epilobium dodonaei Vill. subsp. dodonaei</i>	Lysimaque commune	<i>Lysimachia vulgaris</i>
Brome en grappe	<i>Bromus racemosus</i>	Prêle des champs	<i>Equisetum arvense</i>	Mélique penchée	<i>Melica nutans</i>
Buphtalme oeil-de-boeuf, Oeil-de-boeuf	<i>Bupthalmum salicifolium</i>	Prêle des marais	<i>Equisetum palustre</i>	Mélique uniflore	<i>Melica uniflora</i>
Buis commun, Buis sempervirent	<i>Buxus sempervirens</i>	Cicutaire	<i>Erodium cicutarium subsp. cicutarium</i>	Méillot blanc	<i>Melilotus albus Medik.</i>
Calamagrostide épigéios, Roseau des bois	<i>Calamagrostis epigejos</i>	Fusain à larges feuilles	<i>Euonymus latifolius</i>	Mélitte à feuilles de Mélisse	<i>Melittis melissophyllum</i>
Carillon	<i>Campanula medium</i>	Chanvre d'eau	<i>Eupatorium cannabinum</i>	Menthe à longues feuilles	<i>Mentha longifolia</i>
Laiche blanche	<i>Carex alba</i>			Mercuriale vivace, Mercuriale des montagnes	<i>Mercurialis perennis</i>

Orchis homme pendu, Acéras homme pendu, Porte-Homme, Pantine, Homme-pendu	<i>Orchis anthropophora</i>	Séneçon Doria, Herbe dorée	<i>Senecio doria</i>
Orchis pourpre, Grivollée	<i>Orchis purpurea</i>		
Pariétaire des murs, Pariétaire de Judée, Pariétaire diffuse	<i>Parietaria judaica</i>	Seslérie blanchâtre, Seslérie bleue	<i>Sesleria caerulea</i>
Grassette à grandes fleurs	<i>Pinguicula grandiflora</i>	Alouchier, Alisier blanc	<i>Sorbus aria</i>
Grassette commune, Grassette vulgaire	<i>Pinguicula vulgaris</i>	Sceau de Notre Dame	<i>Tamus communis</i>
Pin sylvestre	<i>Pinus sylvestris</i>	Germandrée petit-chêne, Chênette	<i>Teucrium chamaedrys</i>
Platanthère à deux feuilles, Platanthère à fleurs blanches	<i>Platanthera bifolia</i>	Thymus serpyllum	<i>Thymus serpyllum</i>
Sceau de salomon odorant, Polygonate officinal	<i>Polygonatum odoratum</i>	Tofieldie à calicule	<i>Tofieldia calyculata</i>
Peuplier Tremble	<i>Populus tremula</i>	Massette à larges feuilles	<i>Typha latifolia</i>
Potentille tormentille	<i>Potentilla erecta</i>	Viorne mancienne	<i>Viburnum lantana</i>
Potentille de Tabernaemontanus	<i>Potentilla verna</i>	Dompte-venin	<i>Vincetoxicum hirundinaria</i>
Pimprenelle à fruits réticulés	<i>Poterium sanguisorba</i>	Gui des feuillus	<i>Viscum album</i>
Préanthe pourpre, Préanthes	<i>Prenanthes purpurea</i>		
Chêne pubescent	<i>Quercus pubescens</i>		
Chêne pédonculé, Gravelin	<i>Quercus robur</i>		
Renoncule bulbeuse	<i>Ranunculus bulbosus</i>		
Réséda jaune	<i>Reseda lutea</i>		
Nerprun Alaterne, Alaterne	<i>Rhamnus alaternus</i>		
Nerprun purgatif	<i>Rhamnus cathartica</i>		
Robinier faux-acacia, Carouge	<i>Robinia pseudoacacia</i>		
Saule drapé	<i>Salix eleagnos</i>		
Sauge glutineuse, Ormin gluant	<i>Salvia glutinosa</i>		
Sanicle d'Europe, Herbe aux chênes	<i>Sanicula europaea</i>		
Choin noirâtre	<i>Schoenus nigricans</i>		
Coronille bigarrée	<i>Securigera varia</i>		
Orpin acre	<i>Sedum acre</i>		
Orpin blanc	<i>Sedum album</i>		
Orpin réfléchi, Orpin des rochers	<i>Sedum rupestre</i>		
Orpin de Bologne, Orpin doux, Orpin à six angles	<i>Sedum sexangulare</i>		

Données faunistiques :

Ornithologie

Nom vernaculaire	Nom latin
Bergeronnette des ruisseaux	<i>Motacilla cinerea</i>
Cingle plongeur	<i>Cinclus cinclus</i>
Faucon pèlerin	<i>Falco peregrinus</i>
Fauvette à tête noire	<i>Sylvia atricapilla</i>
Geai des chênes	<i>Garrulus glandarius</i>
Grimpereau des bois	<i>Certhia familiaris</i>
Grive draine	<i>Turdus viscivorus</i>
Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>
Hirondelle de fenêtre	<i>Delichon urbicum</i>
Hirondelle de rochers	<i>Ptyonoprogne rupestris</i>
Merle noir	<i>Turdus merula</i>
Mésange à longue queue	<i>Aegithalos caudatus</i>
Mésange bleue	<i>Cyanistes caeruleus</i>
Mésange charbonnière	<i>Parus major</i>
Mésange huppée	<i>Lophophanes cristatus</i>
Mésange noire	<i>Periparus ater</i>
Mésange nonnette	<i>Paecille palustris</i>
Pinson des arbres	<i>Fringilla caelebs</i>
Pouillot de Bonelli	<i>Phylloscopus bonelli</i>
Puillot véloce	<i>Phylloscopus collybita</i>
Roitelet huppé	<i>Regulus Regulus</i>
Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>
Sittelle torchepot	<i>Sitta europaea</i>
Tarin des aulnes	<i>Carduelis spinus</i>
Tichodrome échelette	<i>Tichodroma muraria</i>
Troglodyte mignon	<i>Troglodytes troglodytes</i>

Lépidoptérologie

Nom vernaculaire	Nom latin
Petite tortue	<i>Aglais urticae</i>
Aurore	<i>Anthocharis cardamines</i>
Grand mars changeant	<i>Apatura iris</i>
Tristan	<i>Aphantopus hyperantus</i>
Gazé	<i>Aporia crataegi</i>
Tabac d'Espagne	<i>Argynnis paphia</i>
Petite violette	<i>Bolaria dia</i>
Silène	<i>Brintesia circe</i>
Thécla de la ronce	<i>Callophrys rubi</i>
Hespérie du brome	<i>Carterocephalus palaemon</i>
Céphale	<i>Coenonympha arcania</i>
Souci	<i>Colias crocea</i>
Azuré de la faucille	<i>Cupido alcetas</i>
Moiré sylvicole	<i>Erebia aethiops</i>
Moyen nacré	<i>Vanessa cardui</i>
Citron	<i>Gonepteryx rhamni</i>
Lucine	<i>Hamearis lucina</i>
Flambé	<i>Iphiclides podalirius</i>
Bacchanté	<i>Lopinga achine</i>
Demi-deuil	<i>Melanargia galathea</i>
Sylvaine	<i>Ochlodes sylvanus</i>
Tircis	<i>Pararge aegeria</i>
Apollon	<i>Parnassius apollo</i>
Azuré d'Escher	<i>Polyommatus escheri</i>
Thécla du chêne	<i>Quecusia quercus</i>
Vulcain	<i>Vanessa atalanta</i>

Tufière pilote 2 (TP2) : Le site de Révaou

Données floristiques :

Nom latin	Nom vernaculaire
<i>Adiantum capillus-veneris</i> L., 1753	Capillaire de Montpellier
<i>Agrostis stolonifera</i> L., 1753	Agrostide stolonifera
<i>Apopellia endiviifolia</i> (Dicks.) Nebel & D.Quandt, 2016	Pellia endiviifolia
<i>Barbula unguiculata</i> Hedw., 1801	Barbula unguiculata
<i>Brachypodium sylvaticum</i> (Huds.) P.Beauv., 1812	Brachypode des bois
<i>Brachythecium rivulare</i> Schimp., 1853	Brachythecium rivulare
<i>Brachythecium rutabulum</i> var. <i>rutabulum</i> (Hedw.) Schimp., 1853	Brachythecium rutabulum var. rutabulum
<i>Campanula rotundifolia</i> L., 1753	Campanule Å feuilles rondes
<i>Carex pendula</i> Huds., 1762	Laîche à épis pendants
<i>Carex remota</i> L., 1755	Laîche espacée
<i>Celtis australis</i> L., 1753	Micocoulier de provence, Falabreguier

<i>Cinclidotus danubicus</i> Schiffn. & Baumgartner, 1906	Cinclidotus danubicus
<i>Cinclidotus fontinaloides</i> (Hedw.) P.Beauv., 1805	Cinclidotus fontinaloides
<i>Cinclidotus riparius</i> (Host ex Brid.) Arn., 1827	Cinclidotus riparius
<i>Conocephalum conicum</i> (L.) Dumort.	Conocephalum conicum
<i>Cratoneuron filicinum</i> (Hedw.) Spruce, 1867	Cratoneuron filicinum
<i>Cymbalaria muralis</i> G.Gaertn., B.Mey. & Scherb., 1800	Cymbalaire
<i>Dialytrichia mucronata</i> (Brid.) Broth., 1902	Dialytrichia mucronata
<i>Didymodon nicholsonii</i> Culm., 1907	Didymodon nicholsonii
<i>Didymodon tophaceus</i> (Brid.) Lisa, 1837	Didymodon tophaceus
<i>Eucladium verticillatum</i> (With.) Bruch & Schimp., 1846	Eucladium verticillatum
<i>Ficus carica</i> L., 1753	Figuier commun
<i>Fissidens crassipes</i> subsp. <i>warnstorffii</i> (M.Fleisch.) Brugg.-Nann., 1982	Fissidens crassipes subsp. <i>warnstorffii</i>
<i>Hedera helix</i> L., 1753	Lierre grimpant
<i>Homalia lusitanica</i> Schimp., 1856	Homalia lusitanica
<i>Lactuca muralis</i> (L.) Gaertn., 1791	Pendrille
<i>Lunularia cruciata</i> (L.) Dumort. ex Lindb., 1868	Lunularia cruciata
<i>Mesoptychia turbinata</i> (Raddi) L.Söderstr. & Váňa, 2012	Leiocolea turbinata
<i>Oxyrrhynchium hians</i> (Hedw.) Loeske, 1907	Oxyrrhynchium hians
<i>Palustriella commutata</i> (Hedw.) Ochyra, 1989	Palustriella commutata
<i>Piptatherum paradoxum</i> (L.) P.Beauv., 1812	Millet paradoxal
<i>Plagiomnium undulatum</i> (Hedw.) T.J.Kop., 1968	Plagiomnium undulatum
<i>Pohlia melanodon</i> (Brid.) A.J.Shaw, 1981	Pohlia melanodon
<i>Ptychostomum pseudotriquetrum</i> (Hedw.) J.R.Spence, 2007	Bryum pseudotriquetrum
<i>Scorpiurium deflexifolium</i> (Solms) M.Fleisch. & Loeske, 1907	Scorpiurium deflexifolium
<i>Scrophularia nodosa</i> L., 1753	Scrophulaire noueuse
<i>Syntrichia montana</i> var. <i>montana</i> Nees, 1819	Syntrichia montana var. <i>montana</i>
<i>Thamnobryum alopecurum</i> (Hedw.) Gangulee	Thamnobryum alopecurum
<i>Tilia platyphyllos</i> Scop., 1771	Tilleul à grandes feuilles

Données faunistiques :

	Nom latin	Nom vernaculaire
Gasteropode	<i>Cochlicopa lubrica</i> (O.F. Muller, 1774)	Brillante commune
	<i>Lucilla scintilla</i> (R.T. Lowe, 1852)	Luisantine scintillante
	<i>Lucilla singleyana</i> (Pilsbry, 1889)	Luisantine bouton
	<i>Merdigera obscura</i> (O.F. Muller, 1774)	Bulime boueux
	<i>Trochulus hispidus</i> (Linnaeus, 1758)	Veloutée commune
	<i>Vertigo angustior</i> Jeffreys, 1830	Vertigo étroit
	<i>Bythiospeum articense</i> Bernasconi, 1985	Bythiospée de Nîmes
	<i>Islamia bomangiana</i> Boeters & Falkner, 2003	Globhydrobie de l'Ardèche
	<i>Paladilhia gloeeri</i> Boeters & Falkner, 2003	Bythiospée de l'Ardèche
Orthoptère	<i>Conocephalus fuscus</i> (Fabricius, 1793)	Conocéphale bigarré
Lépidoptère	<i>Iphiclides podalirius</i> (Linnaeus, 1758)	Flambé

### Tufière pilote 3 (TP3) : Le site de la Touvière

Données floristiques :

Nom latin	Nom vernaculaire
<i>Acer pseudoplatanus</i> L., 1753	Erable sycomore
<i>Agrostis stolonifera</i> var. <i>stolonifera</i> L., 1753	
<i>Aneura pinguis</i> (L.) Dumort., 1822	
<i>Apopellia endiviifolia</i> (Dicks.) Nebel & D.Quandt, 2016	
<i>Asplenium viride</i> Huds., 1762	Doradille verte
<i>Bellidiastrum michelii</i> Cass., 1817	Grande Pâquerette des montagnes
<i>Brachypodium rupestre</i> (Host) Roem. & Schult., 1817	Brachypode des rochers
<i>Brachypodium sylvaticum</i> (Huds.) P.Beauv., 1812	Brachypode des bois, Brome des bois
<i>Brachythecium rivulare</i> Schimp., 1853	
<i>Calamagrostis varia</i> subsp. <i>varia</i> (Schrad.) Host, 1809	Calamagrostide des montagnes
<i>Calliergonella cuspidata</i> (Hedw.) Loeske, 1911	
<i>Caltha palustris</i> L., 1753	Populage des marais, Sarbouillotte
<i>Campanula rotundifolia</i> subsp. <i>rotundifolia</i> L., 1753	Campanule à feuilles rondes
<i>Cardamine amara</i> subsp. <i>amara</i> L., 1753	
<i>Carex davalliana</i> Sm., 1800	Laîche de Davall, Carex de Davall
<i>Carex flacca</i> Schreb., 1771	Laîche glauque, Langue-de-pic
<i>Carex ornithopoda</i> Willd., 1805	Laîche pied-d'oiseau
<i>Chaerophyllum hirsutum</i> L., 1753	Cerfeuil hérissé, Chérophylle hérissé
<i>Chiloscyphus pallescens</i> (Ehrh. ex Hoffm.) Dumort., 1831	
<i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop., 1772	Cirse des marais, Bâton du Diable
<i>Climacium dendroides</i> (Hedw.) F.Weber & D.Mohr, 1804	
<i>Conocephalum conicum</i> (L.) Dumort.	
<i>Corylus avellana</i> L., 1753	Noisetier, Avelinier
<i>Crepis paludosa</i> (L.) Moench, 1794	Crépide des marais
<i>Ctenidium molluscum</i> (Hedw.) Mitt., 1869	
<i>Cypripedium calceolus</i> L., 1753	Sabot de vénus
<i>Daphne mezereum</i> L., 1753	Bois-joli, Daphné bois-gentil, Bois-gentil
<i>Dicranum scoparium</i> Hedw., 1801	
<i>Epilobium montanum</i> L., 1753	Epilobe des montagnes
<i>Equisetum arvense</i> L., 1753	Prêle des champs, Queue-de-renard
<i>Equisetum telmateia</i> Ehrh., 1783	Grande prêle
<i>Eucladium verticillatum</i> (With.) Bruch & Schimp., 1846	
<i>Euphorbia dulcis</i> subsp. <i>purpurata</i> (Thuill.) Murr, 1923	
<i>Fissidens adianthoides</i> Hedw., 1801	
<i>Fragaria vesca</i> L., 1753	Fraisier sauvage, Fraisier des bois
<i>Fraxinus excelsior</i> L., 1753	Frêne élevé, Frêne commun
<i>Galium mollugo</i> L., 1753	Gaillet commun, Gaillet Mollugine
<i>Gentiana lutea</i> L., 1753	Gentiane jaune
<i>Globularia nudicaulis</i> L., 1753	Globulaire à tiges nues
<i>Hylocomiadelphus triquetrus</i> (Hedw.) Ochyra & Stebel, 2008	
<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Schimp., 1852	
<i>Hypnum cupressiforme</i> var. <i>cupressiforme</i> Hedw., 1801	

<i>Ilex aquifolium</i> L., 1753	Houx
<i>Jungermannia atrovirens</i> Dumort., 1831	
<i>Lonicera xylosteum</i> L., 1753	Chèvrefeuille des haies, Camérisier des haies
<i>Mentha longifolia</i> (L.) Huds., 1762	Menthe à longues feuilles
<i>Mesoptychia badensis</i> , 2012	
<i>Mesoptychia bantriensis</i> (Hook.), 2012	
<i>Neottia ovata</i> (L.) Bluff & Fingerh., 1837	Grande Listère
<i>Nowellia curvifolia</i> (Dicks.) Mitt., 1870	
<i>Orchis pallens</i> L., 1771	Orchis pâle
<i>Palustriella decipiens</i> (De Not.) Ochyra, 1989	
<i>Palustriella falcata</i> (Brid.) Hedens, 1992	
<i>Philonotis calcarea</i> (Bruch & Schimp.) Schimp., 1856	
<i>Phyteuma spicatum</i> L., 1753	Raiponce en épi
<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst., 1881	épicéa commun, Sérente
<i>Pinguicula vulgaris</i> L., 1753	Grassette commune, Grassette vulgaire
<i>Plagiochila asplenioides</i> (L.) Dumort., 1835	
<i>Plagiochila porelloides</i> (Torr. ex Nees) Lindenb., 1840	
<i>Plagiomnium undulatum</i> (Hedw.) T.J.Kop., 1968	
<i>Polygaloides chamaebuxus</i> (L.) O.Schwarz, 1949	Polygale petit buis, Faux Buis
<i>Potentilla erecta</i> (L.) Rausch., 1797	Potentille tormentille
<i>Pseudoscleropodium purum</i> (Hedw.) M.Fleisch., 1923	
<i>Ptychostomum pseudotriquetrum</i> (Hedw.) J.R.Spence, 2007	
<i>Rhizomnium punctatum</i> (Hedw.) T.J.Kop., 1968	
<i>Rosa arvensis</i> Huds., 1762	Rosier des champs, Rosier rampant
<i>Salix appendiculata</i> Vill., 1789	Saule appendiculé, Saule à grandes feuilles
<i>Salix caprea</i> L., 1753	Saule marsault, Saule des chèvres
<i>Salix eleagnos</i> Scop., 1772	Saule drapé
<i>Sanicula europaea</i> L., 1753	Sanicle d'Europe, Herbe aux chênes
<i>Sesleria caerulea</i> (L.) Ard., 1763	Seslérie blanchâtre, Seslérie bleue
<i>Sorbus aucuparia</i> subsp. <i>aucuparia</i> L., 1753	Sorbier des oiseleurs, Sorbier sauvage
<i>Tortella tortuosa</i> var. <i>tortuosa</i> (Hedw.) Limpr., 1888	
<i>Tussilago farfara</i> L., 1753	Tussilage, Pas-d'âne, Herbe de saint Quirin
<i>Valeriana dioica</i> L., 1753	Valériane dioïque
<i>Valeriana officinalis</i> L., 1753	Valériane officinale, Valériane des collines

#### Tufière pilote 4 (TP4) : Le site des Vauthières

Données floristiques :

Nom latin	Nom vernaculaire
<i>Alnus glutinosa</i>	Aulne glutineux
<i>Angelica sylvestris</i>	
<i>Apopellia endiviifolia</i>	
<i>Blackstonia perfoliata</i>	Chlorette
<i>Bryoerythrophyllum recurvirostrum</i>	
<i>Campylium stellatum</i>	

<i>Carex flacca</i>	Laïche glauque
<i>Carex flava</i>	Laïche jaunâtre
<i>Carex pendula</i>	Laïche à épis pendants
<i>Carex viridula</i>	Laïche tardive
<i>Chara vulgaris</i>	
<i>Cratoneuron filicinum</i>	
<i>Dicranella varia</i>	
<i>Equisetum arvense</i>	Prêle des champs
<i>Equisetum telmateia</i>	Grande prêle
<i>Eucladium verticillatum</i>	
<i>Fissidens taxifolius</i>	
<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne élevé
<i>Funaria hygrometrica</i>	
<i>Hypericum tetrapterum</i>	Millepertuis à quatre ailes
<i>Juncus articulatus</i>	Jonc à fruits luisants
<i>Juncus inflexus</i>	Jonc glauque
<i>Ligustrum</i>	Troène commun
<i>Lysimachia vulgaris</i>	Lysimaque commune
<i>Mentha aquatica</i>	Menthe aquatique
<i>Mentha longifolia</i>	Menthe à longues feuilles
<i>Mesoptychia badensis</i>	
<i>Oxyrrhynchium hians</i>	
<i>Palustriella decipiens</i>	
<i>Palustriella falcata</i>	
<i>Phragmites australis</i>	Roseau commun
<i>Pohlia lescuriana</i>	
<i>Pulicaria dysenterica</i>	Pulicaire dysentérique
<i>Salix cinerea</i>	Saule cendré
<i>Salix eleagnos</i>	Saule drapé
<i>Salix purpurea</i>	Osier rouge
<i>Tortella tortuosa</i>	
<i>Tussilago farfara</i>	Tussilage

### Tufière référente (TR) : Le site de Choranche

Données floristiques :

Nom latin	Nom vernaculaire
<i>Carex flacca</i> Schreb., 1771	Laïche glauque
<i>Reseda lutea</i> L., 1753	Réséda jaune
<i>Tussilago farfara</i> L., 1753	Tussilage,
<i>Laserpitium siler</i> L., 1753	Laser siler
<i>Asplenium scolopendrium</i> L., 1753	Scolopendre
<i>Cytisophyllum sessilifolium</i> (L.) O.Lang, 1843	Cytise à feuilles sessiles
<i>Amelanchier ovalis</i> Medik., 1793	Amélanchier

<i>Antirrhinum majus</i> subsp. <i>latifolium</i> (Mill.) Bonnier, 1894	Muflier
<i>Globularia cordifolia</i> L., 1753	Globulaire à feuilles cordées
<i>Sorbus aria</i> (L.) Crantz, 1763	Alisier blanc
<i>Teucrium chamaedrys</i> L., 1753	Germandrée petit-chêne
<i>Crepis vesicaria</i> subsp. <i>taraxacifolia</i> (Thuill.) Thell., 1914	Crépide à feuilles de pissenlit
<i>Corylus avellana</i> L., 1753	Noisetier
<i>Buxus sempervirens</i> L., 1753	Buis commun,
<i>Hippocrepis emerus</i> (L.) Lassen, 1989	Coronille faux-séné
<i>Clematis vitalba</i> L., 1753	Clématite des haies
<i>Bupthalmum salicifolium</i> L., 1753	Buphtalme œil-de-bœuf
<i>Laserpitium gallicum</i> L., 1753	Laser de Gaule
<i>Achnatherum calamagrostis</i> (L.) P.Beauv., 1812	Calamagrostide argentée
<i>Kernera saxatilis</i> (L.) Sweet, 1827	Kernéra des rochers
<i>Cirsium monspessulanum</i> (L.) Hill, 1768	Cirse de Montpellier
<i>Sisymbrium austriacum</i> Jacq., 1775	Sisymbre d'Autriche
<i>Prunus mahaleb</i> L., 1753	Bois de Sainte-Lucie
<i>Adiantum capillus-veneris</i> L., 1753	Capillaire de Montpellier
<i>Acer pseudoplatanus</i> L., 1753	Erable sycomore
<i>Eupatorium cannabinum</i> subsp. <i>cannabinum</i> L., 1753	Chanvre d'eau
<i>Saponaria ocymoides</i> subsp. <i>ocymoides</i> L., 1753	Saponaire faux Basilic

Données faunistiques :

	Nom latin	Nom vernaculaire
Insecte	<i>Cydalima perspectalis</i> (Walker, 1859)	Pyrale du buis
Chiroptère	<i>Myotis emarginatus</i> (Geoffroy Saint-Hilaire, 1806)	Murin à oreilles échancrées
	<i>Myotis myotis</i> (Borkhausen, 1797)	Grand Murin
	<i>Pipistrellus pipistrellus</i> (Schreber, 1774)	Pipistrelle commune
	<i>Myotis nattereri</i> (Kuhl, 1817)	Murin de Natterer
	<i>Plecotus macrobullaris</i> Kuzyakin, 1965	Oreillard montagnard
	<i>Pipistrellus pygmaeus</i> (Leach, 1825)	Pipistrelle pygmée
	<i>Nyctalus leisleri</i> (Kuhl, 1817)	Noctule de Leisler
	<i>Plecotus austriacus</i> (J. B. Fischer, 1829)	Oreillard gris, Oreillard méridional
	<i>Myotis emarginatus</i> (Geoffroy Saint-Hilaire, 1806)	Murin à oreilles échancrées
	<i>Rhinolophus hipposideros</i> (Borkhausen, 1797)	Petit rhinolophe
	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i> (Schreber, 1774)	Grand rhinolophe
	<i>Myotis daubentonii</i> (Kuhl, 1817)	Murin de Daubenton
	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i> (Schreber, 1774)	Grand rhinolophe