

**État de conservation des « Sources
pétrifiantes avec formation de
travertins (*Cratoneurion*) »
(UE 7220*)**

Guide d'évaluation à l'échelle des
sites Natura 2000



©F. Botcazou

L'UMS Patrimoine naturel - PatriNat

Centre d'expertise et de données sur la nature



Depuis janvier 2017, l'Unité Mixte de Service Patrimoine naturel assure des missions d'expertise et de gestion des connaissances pour ses trois tutelles, que sont le Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN), l'Office français pour la biodiversité (OFB) et le Centre national de la recherche scientifique (CNRS).

Son objectif est de fournir une expertise fondée sur la collecte et l'analyse de données de la biodiversité et de la géodiversité présentes sur le territoire français, et sur la maîtrise et l'apport de nouvelles connaissances en écologie, sciences de l'évolution et anthropologie. Cette expertise, établie sur une approche scientifique, doit contribuer à faire émerger les questions et à proposer les réponses permettant d'améliorer les politiques publiques portant sur la biodiversité, la géodiversité et leurs relations avec les sociétés et les humains.

En savoir plus : patrinat.fr

Co-directeurs :

Laurent PONCET, directeur en charge du centre de données

Julien TOUROULT, directeur en charge des reportages et de la valorisation

Inventaire National du Patrimoine Naturel



Porté par l'UMS PatriNat, cet inventaire est l'aboutissement d'une démarche qui associe scientifiques, collectivités territoriales, naturalistes et associations de protection de la nature, en vue d'établir une synthèse sur le patrimoine naturel en France. Les données fournies par les partenaires sont organisées, gérées, validées et diffusées par le MNHN. Ce système est un dispositif clé du Système d'Information sur la Biodiversité (SIB), dans lequel s'inscrivent notamment le Système d'Information sur la Nature et les Paysages (SINP) et l'Observatoire National de la Biodiversité (ONB).

Afin de gérer cette importante source d'informations, le Muséum a construit une base de données permettant d'unifier les données à l'aide de référentiels taxonomiques, géographiques et administratifs. Il est ainsi possible d'accéder à des listes d'espèces par commune, par espace protégé ou par maille de 10x10 km. Grâce à ces systèmes de référence, il est possible de produire des synthèses, quelle que soit la source d'information.

Ce système d'information permet de consolider des informations qui étaient jusqu'à présent dispersées. Il concerne la métropole et l'outre-mer, aussi bien sur la partie terrestre que marine. C'est une contribution majeure pour la connaissance naturaliste, l'expertise, la recherche en macroécologie et l'élaboration de stratégies de conservation efficaces du patrimoine naturel.

En savoir plus : inpn.mnhn.fr

Description de l'habitat

L'habitat « Sources pétrifiantes avec formation de travertins (*Cratoneurion*) » (UE **7220***) est présent au niveau des **sources et des suintements** où la végétation se développe sur des **édifices tufeux** plus ou moins développés. La formation de **tuf**, appelée **tufigénèse**, résulte de la précipitation du bicarbonate de calcium [Ca(HCO₃)₂] en carbonate de calcium (CaCO₃), provoquée par la différence de température entre l'eau souterraine et l'air en contact. La réaction entraîne également un dégazage de dioxyde de carbone (CO₂) et une libération d'eau (H₂O). Cette dernière est résumée ci-dessous :



Au-delà de ce processus physico-chimique, les algues et les bryophytes vivantes, de par leur structure, ainsi que leurs activités biologiques (photosynthèse) assurent la fixation des cristaux entre eux et à la surface de leurs tissus. Elles participent de manière active à la formation des matériaux tufeux aussi appelés bryolithes (Bensettiti *et al.*, 2002).

Les Sources pétrifiantes sont un **habitat à logique biotope** (Gaudillat *et al.*, 2018) **sous réserve de la présence de leurs végétations indicatrices**. C'est donc **l'ensemble de l'édifice tufeux qu'il faut considérer** (avec les parties à nue) comme faisant partie intégrante de l'habitat. 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. L'habitat se retrouve essentiellement sur des pentes de l'étage planitiaire à alpin (Bensettiti *et al.*, 2002). L'habitat peut être rencontré dans des **configurations très diverses**, ce qui nécessitera d'adapter les méthodes et protocoles proposés dans ce guide (Tableau 17).

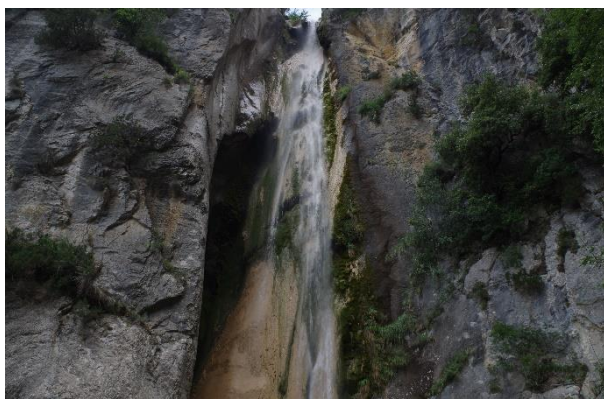
Au niveau phytosociologique, les végétations des sources relèvent de la classe des *Montio Fontanae-Cardaminetea amarae*. Divers facteurs de variations tels que la nature du substrat, l'altitude, les réactions ioniques ou encore le degré d'humidité permettent de distinguer les différentes communautés. Sur substrat carbonaté, **deux types de groupements** se distinguent :

- Les groupements de **basses et moyennes altitudes (jusqu'à l'étage montagnard)** correspondent généralement aux **communautés dominées par les bryophytes** ;
- Les **communautés phanérogamiques** (les bryophytes sont toujours présentes) sont plus rares et ont une faible amplitude altitudinale. Elles peuvent être retrouvées aux **étages subalpin et alpin**.

L'habitat est décliné en un seul habitat élémentaire, « **Communautés des sources et suintements carbonatés** » (**7220-1**). À débit et conditions physico-chimiques constants, cet habitat peut rester stable. En revanche, celui-ci peut évoluer vers des **végétations herbacées calcicoles** ou des **formations ligneuses arbustives** lorsque les sources se tarissent (Bensettiti *et al.*, 2002). Parmi les habitats associés ou en contact, on compte les cladiaies (UE **7210***), les tourbières basses alcalines (UE 7230), les groupements alticoles du *Caricion incurvae* (UE **7240***), les pelouses sèches des *Festuco-Brometalia* (UE 6210), les éboulis calcaires (UE **8160***), etc. Pour conserver cet habitat, il est nécessaire

de **conserver les habitats qui y sont associés** ainsi que **l'ensemble du système hydrologique**. Il s'agit donc de prendre en compte **l'édifice tufeux dans son entier**, de la source qui l'alimente au cours d'eau en aval.

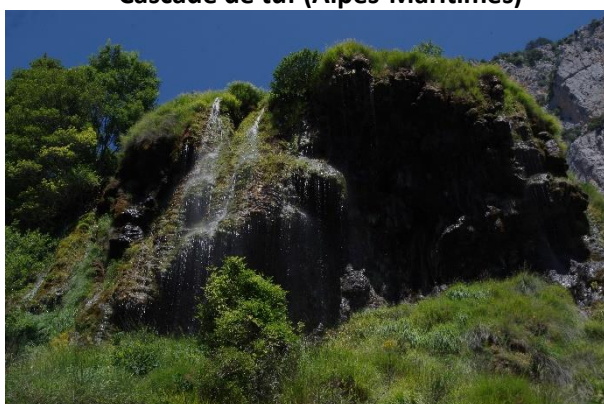
Tableau 17. Exemples de complexes tufeux où l'habitat de sources pétrifiantes peut être retrouvé (©M. Mistarz)



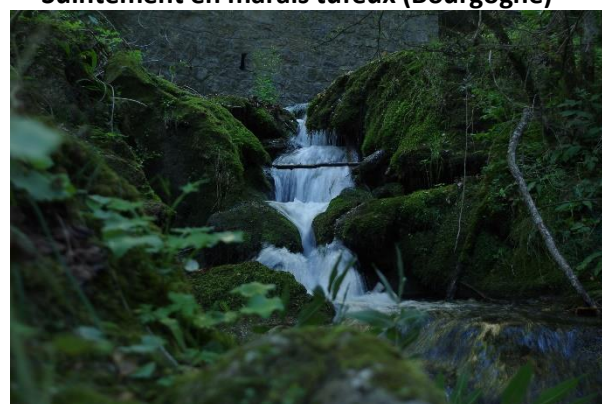
Cascade de tuf (Alpes-Maritimes)



Suintement en marais tufeux (Bourgogne)

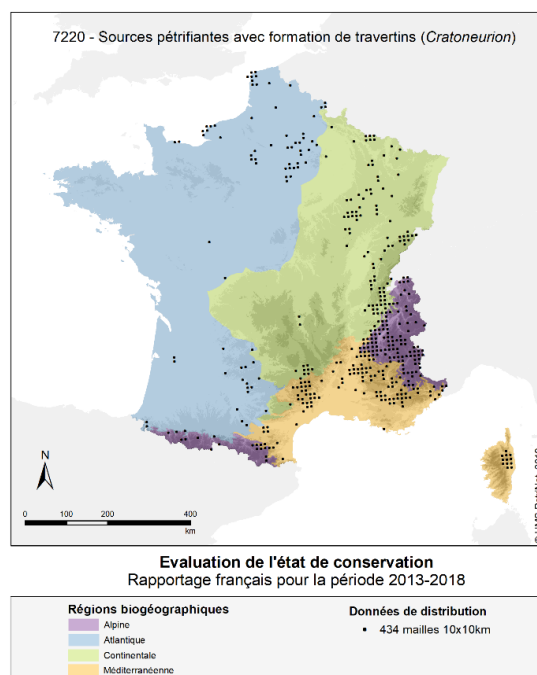


Champignon de tuf (Alpes-de-Haute-Provence)



Ruisseau tufeux en contexte forestier (Drôme)

L'habitat est présent sur **208 sites Natura 2000** en France et est réparti sur **l'ensemble des régions biogéographiques françaises terrestres** (Carte 2). On le retrouve dans l'ensemble des régions sédimentaires et orogéniques non cristallines. Le dernier rapportage (2013-2018) de la DHFF fait état d'un état de conservation « **inconnu** » de l'habitat au sein du domaine biogéographique alpin (Tableau 18) et d'un état « **défavorable inadéquat** » au sein du domaine continental (Tableau 19). L'état de conservation a été évalué « **défavorable mauvais** » au sein des domaines atlantique et méditerranéen, avec tendance à la régression au sein de ce dernier (Tableaux 20 et 21) (UMS Patrinat, 2019). Cet habitat couvrant de petites surfaces et se développant dans un contexte géologique particulier est principalement menacé par le **détournement des sources d'alimentation** en eau tel que les **captages d'eau de surface ou souterraine**, les **pollutions d'origine agricole** (avec l'apparition possible d'algues filamenteuses) et le **changement climatique** (Bensettiti *et al.*, 2002 ; UMS Patrinat, 2019).



Carte 2. Distribution de l'habitat code UE 7220* sur le territoire métropolitain.

« Sources pétrifiantes avec formation de travertins (*Cratoneurion*) » (UE 7220*)

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 **alpin**.

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

Tableau 19. 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
7220*	Favorable	Défavorable inadéquat	Favorable	Favorable	Défavorable inadéquat

Tableau 20. 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
7220*	Inconnu	Inconnu	Défavorable inadéquat	Défavorable mauvais	Défavorable mauvais

Tableau 21. 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
7220*	Défavorable mauvais	Défavorable mauvais	Défavorable mauvais	Défavorable mauvais	Défavorable mauvais

États de référence et limites de l'habitat

Préalablement à l'évaluation de l'état de conservation, il est nécessaire de fixer les limites de l'habitat considéré (à partir de quand l'entité peut être rattachée à l'habitat, même en état très dégradé, ou à partir de quand l'entité ne peut plus être rattachée à l'habitat). La détermination des états favorables choisis et des états optimaux souhaités est **propre à chaque site Natura 2000 et doit être effectuée par l'opérateur**. Le tableau ci-dessous présente un ensemble de descripteurs pouvant aider à construire les différents états de référence des sources pétrifiantes avec formation de travertins **de basses et moyennes altitudes** à l'échelle d'un site Natura 2000 (Tableau 22). Ces exemples de descripteurs doivent permettre d'aider à fixer les **notes de référence sur le gradient d'état de conservation** à l'échelle du site Natura 2000 (dégradé, altéré, états favorables choisis, états optimaux souhaités). Les courtes descriptions des autres habitats sont issues du Prodrôme des végétations de France 1 (Bardat *et al.*, 2004) et des Cahiers d'habitats (Bensettiti *et al.*, 2005).

Tableau 22. Descripteurs possibles pour la définition des états de référence correspondant aux sources pétrifiantes avec formation de travertins de basses et moyennes altitudes (UE 7220*) (liste non exhaustive).

Autres habitats	Dégradé	Altéré	États favorables choisis	États optimaux souhaités
<p>Roche nue travertineuse</p> <p>Végétations herbacées denses du <i>Molinio-Holoschenion</i> (UE 6420) : prés mésohygrophiles à hygrophiles de la région méditerranéenne sur sols oligotrophes riches en bases et s'asséchant en été</p> <p>Tourière basse alcaline du <i>Caricion davalliana</i> (UE 7230)</p> <p>Fourrés mésotrophiles à oligotrophiles se développant sur substrats humides ou secs des <i>Franguletea dodonei</i></p>	<p>Les espèces indicatrices de bon état sont absentes ou très faiblement représentées</p> <p>Les atteintes de type perturbations mécaniques (piétinement, etc.) sont possibles</p> <p>La présence d'espèces indicatrices d'un enrichissement trophique est possible (forts recouvrements possibles)</p> <p>La présence d'espèces liées à l'assèchement est possible (forts recouvrements possibles)</p> <p>La présence de ligneux en strate arbustive ou arborée au cœur de l'habitat est possible (forts recouvrements possibles)</p>	<p>Le recouvrement des espèces liées au bon état de l'habitat est variable</p> <p>La présence d'espèces indicatrices d'un enrichissement trophique est possible (forts recouvrements possibles)</p> <p>La présence d'espèces liées à l'assèchement est possible (forts recouvrements possibles)</p> <p>La présence de ligneux en strate arbustive ou arborée au cœur de l'habitat est possible (forts recouvrements possibles)</p>	<p>Les espèces liées au bon état de l'habitat sont bien représentées</p> <p>La présence d'espèces indicatrices d'un enrichissement trophique est possible (recouvrement inférieur à 50 %, soit 1/2)</p> <p>La présence d'espèces liées à l'assèchement est possible (recouvrement inférieur à 50 %, soit 1/2)</p> <p>La présence de ligneux en strate arbustive ou arborée au cœur de l'habitat est possible</p>	<p>L'habitat est stable, généralement dû à un approvisionnement régulier d'eau peu chargée en éléments nutritifs</p> <p>Les espèces liées au bon état de l'habitat sont bien représentées</p> <p>La présence d'espèces indicatrices d'un enrichissement trophique est possible (recouvrement inférieur à 33 %, soit 1/3)</p> <p>La présence d'espèces liées à l'assèchement est possible (recouvrement inférieur à 20 %)</p> <p>La présence de ligneux en strate arbustive au cœur de l'habitat est possible</p>

Pré-grille d'évaluation d'état de conservation

Les indicateurs proposés ci-dessous (Tableau 23) sont le résultat de **recherches bibliographiques et d'une première campagne de tests sur le terrain**. Il s'appliquent uniquement **aux sources pétrifiantes de basses et moyennes altitudes, jusqu'à l'étage montagnard**. Les formations alticoles des étages subalpin et alpin feront l'objet d'une grille d'évaluation à part.

Tableau 23. Pré-grille d'indicateurs proposée pour l'évaluation de l'état de conservation de l'habitat « Sources pétrifiantes avec formation de travertins (*Cratoneurion*) » (UE 7220*) à l'échelle des sites Natura 2000.

Paramètre	Critère	Indicateur	Échelle	Résultats attendus
Surface	Surface couverte	Évolution de la surface couverte par l'habitat	Site	Progression, stabilité
				Régression
Structures et fonctions	Composition floristique	Recouvrement total de la végétation (%) <u>OU</u> recouvrement de la strate bryophytique (%)	Placette/Polygone/Édifice tufeux	-- --
		Recouvrement <u>ET/OU</u> nombre <u>OU</u> présence des espèces ligneuses (total, strate arbustive et/ou strate arborée)	Placette/Polygone/Édifice tufeux	-- --
		Recouvrement <u>ET/OU</u> nombre <u>OU</u> présence des espèces indicatrices du bon état	Placette	-- --
		Recouvrement <u>ET/OU</u> nombre <u>OU</u> présence des espèces indicatrices d'enrichissement trophique	Placette	-- --
		Recouvrement <u>ET/OU</u> nombre <u>OU</u> présence des espèces indicatrices d'assèchement	Placette	-- --
	Composition faunistique	Présence d'espèces faunistiques indicatrices du bon état (bonus)	Écocomplexe	Présence
	Altérations	Atteintes lourdes	Somme des atteintes quantifiables en surface	Polygone/Édifice tufeux
Somme des points = 1				
Somme des points = 2				
Somme des points = 3				
Somme des points ≥ 4				
Atteintes diffuses		Impact des atteintes difficilement quantifiables en surface	Site/Bassin versant	Impact négligeable ou nul
				Impact moyen Impact fort

Les notions de **polygone d'habitat**, de **placette** et de **écocomplexe** sont définies dans la partie 1 du présent rapport. Une placette de **1 à 50 m²** est préconisée, en fonction de la taille du polygone/de l'édifice tufeux et de sa diversité floristique. Les passages seront effectués entre **juin et août, au moment du pic de végétation phanérogamique**. Les indicateurs sont proposés comme rendant potentiellement compte de l'état de conservation de l'habitat. Ils sont en phase de test et de validation. Il s'agira de proposer une grille semblable à celles proposées pour les autres habitats, avec des **valeurs seuils** et des **notes associées**. La prochaine phase de test devra également permettre d'affiner les limites de l'habitat, les états de référence et de proposer une grille pour les formations alticoles.

Description des indicateurs

Paramètre « Surface »

Évolution de la surface couverte

Cet indicateur est largement utilisé dans les différentes études de l'état de conservation des habitats d'intérêt communautaire à l'échelle des sites Natura 2000. La réduction de surface des bas-marais calcaires est une menace pour leur pérennité et celle des espèces animales et végétales inféodées à ces milieux. La mesure de l'évolution de la surface couverte par l'habitat permet d'observer une **éventuelle fermeture des sites par boisement**, ainsi que des **phénomènes de remblaiement, de drainage, etc.** La surface optimale nécessaire pour le bon fonctionnement de l'habitat est difficile à définir, c'est pourquoi on s'intéressera uniquement à évaluer la **tendance d'évolution de l'habitat** (stabilité, progression ou régression). La démarche à adopter pour la mesure de l'indicateur est résumée ci-dessous (Figure 38).

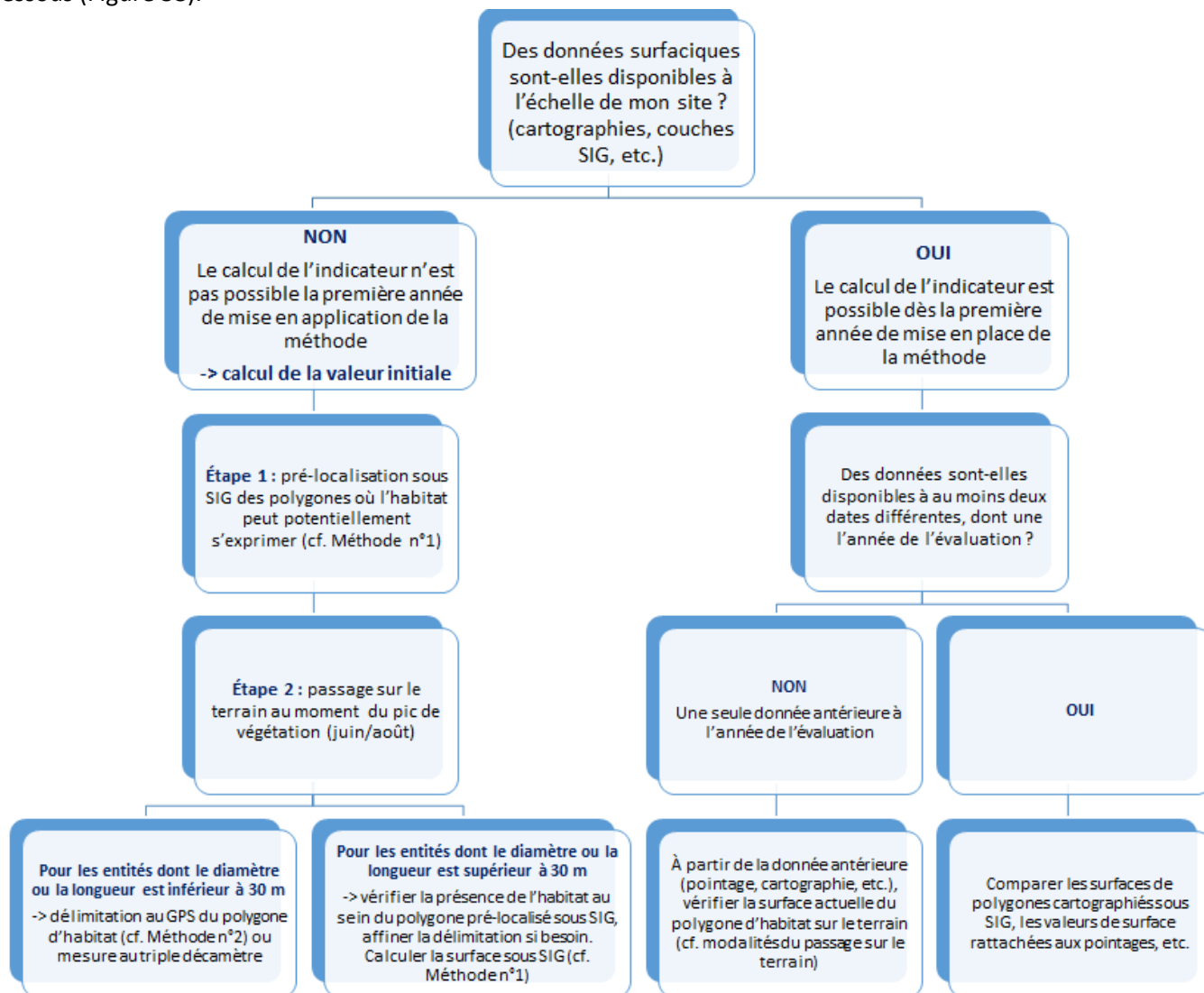


Figure 38. Démarche à adopter pour mesurer l'évolution de la surface couverte par l'habitat à l'échelle du site Natura 2000 en fonction des données disponibles.

Rappelons que **l'ensemble de l'édifice tufeux** où se développe la végétation indicatrice de l'habitat **est à considérer**. Par défaut, on préconisera d'évaluer l'évolution de surface sur un pas de temps de six ans. La régression de surface de l'habitat sera avérée lorsqu'il y a une perte équivalente à **1 % par an**. Ce seuil de régression, fixé selon la méthode communautaire du rapportage (art. 17), devrait, dans l'idéal, être adapté à l'échelle de chaque site Natura 2000 par l'opérateur. Par ailleurs, le seuil de régression fixé ne doit pas être trop bas afin de prendre en compte le **biais observateur** lors de l'estimation de la surface de l'habitat. La périodicité de l'évaluation, c'est-à-dire le pas de temps entre les données surfaciques, dépend également des données dont l'opérateur dispose.

Méthode n°1 : La pré-localisation des polygones d'habitat où les sources pétrifiantes peuvent potentiellement s'exprimer peut être effectuée sous **Système d'information géographique (SIG)** à l'aide d'**ortho-photographies**, c'est-à-dire des photographies aériennes rectifiées, telles que prises à la verticale. D'autres couches peuvent être utilisées, ces dernières sont présentées ci-dessous (Tableau 24 et Figure 39). **Cette méthode est à préférer dans le cas de sources présentes en bas-marais alcalins types marais tufeux.**

Tableau 24. Exemple de couches exploitables sous SIG afin de procéder au pré-repérage des polygones.

Couche	Source	Utilité
SCAN 25®	©IGN	Repérage de la topographie, des toponymes, etc.
BD ORTHO®	©IGN	Repérage des différents faciès de végétation, des indices de remontées de nappe, des étangs, des mares, etc.
Bing Aerial®	©Microsoft Corporation	Peut se substituer à la couche précédente
Limites des sites Natura 2000 (ZSC)	©UMS Patrinat	Cadrage géographique
Grille de maille 2 500 m x 500 m		Aide à la progression de la photo-interprétation et vérification des mailles



Figure 39. Exemple schématique de délimitation d'une tourbière sous SIG (source : IGN). La présence de l'habitat Sources pétrifiantes est à vérifier sur le terrain.

L'analyse sous SIG ne peut être dispensée d'une **vérification de la présence de l'habitat sur le terrain** si cette dernière n'est pas connue de l'opérateur au préalable. Cette vérification pourra affiner la délimitation des polygones sous SIG.

Protocole : Sous QGIS, la délimitation de l'habitat peut être effectuée à l'aide de l'outil « ajouter une entité » présent dans la barre d'outils de numérisation. Une fois l'entité construite (le polygone d'habitat), sa surface peut être extraite via la calculatrice de champ. Celle-ci crée automatiquement un nouveau champ de surface contenant l'expression « \$area ». À savoir que l'unité du calcul sera celle de la projection. La digitalisation des polygones sera effectuée à une échelle comprise entre 1/2 500 et 1/1 000.

Méthode n°2 : Une autre méthode consiste à **délimiter les contours des habitats sur le terrain à l'aide d'un GPS** possédant une fonction de tracé avec lequel le tour de l'édifice tufeux sera effectué. Une surface pourra ainsi en être extraite sous SIG (Figure 40) ou directement sur le GPS (en fonction du matériel). **Cette méthode est à préférer dans le cas des sources en contexte forestier ou lorsque l'édifice tufeux est accessible et bien délimité.** Elle est plus précise que la précédente mais demande un coût humain plus important.



Figure 40. Exemple schématique de délimitation d'un édifice tufeux à l'aide d'un GPS.

Protocole : La fonction tracé (« track » en anglais) dont dispose la plupart des GPS, permet de tracer un parcours plus ou moins précis en fonction de l'intervalle de distance entre les mesures choisies dans le GPS et en fonction de la précision du GPS lui-même. Dans le cas où le calcul de surface n'est pas directement effectué par le GPS, le tracé est à insérer sous SIG puis à convertir en entité polygonale via l'outil « De lignes à polygones » des outils de géométrie. Comme pour la **Méthode n°1**, la surface est extraite via l'expression « \$area », sous QGIS, et comparée à la surface des années antérieures.

D'autres méthodes existent afin de mesurer la surface (**drones** qui fournissent des images ortho-rectifiées, **photographies prises en ULM**, etc.). En dernier recours, si aucune donnée surfacique n'est disponible et que le temps imparti à la mesure de l'indicateur est faible, l'opérateur, ayant au préalable une bonne connaissance de l'habitat sur le site, pourra utiliser **l'avis d'expert** pour juger de l'évolution de surface. Dans le **cas des édifices tufeux inaccessibles types cascades**, un **suivi photographique** peut également être envisagé.

Lorsque l'habitat est représenté par plusieurs polygones à l'échelle du site Natura 2000, **la somme des surfaces des polygones correspond à la surface totale de l'habitat**. Suivant la configuration de l'habitat à l'échelle du site Natura 2000 et en fonction du temps dont l'opérateur dispose, on pourra envisager de mesurer l'évolution de surface de l'ensemble des polygones présents sur le site, ou bien d'effectuer un **échantillonnage de polygones représentatif, à suivre dans le temps**. Dans le cas d'un habitat en mosaïque, l'évaluation de la surface couverte sera effectuée au niveau de la **mosaïque d'habitats**.

Remarques : plus le temps et la précision consacrés à la délimitation seront importants, meilleur sera le résultat. Les **causes** de l'évolution de la surface de l'habitat étudié doivent être renseignées (boisement, assèchement, etc.). Des **conditions climatiques similaires** entre les deux dates de comparaison choisies sont nécessaires, les habitats humides étant variables d'une année à l'autre suivant leur mise en eau.

Critère	Informations apportées	Échelle	Résultats attendus	Notes
Surface couverte	Fonctionnement général, perspectives, pérennité de l'habitat et des espèces, dynamique de l'habitat	Site	Stabilité, progression	0
			Régression	-10

Paramètre « Structures et fonctions »

Recouvrement total de la végétation (%) OU Recouvrement de la strate bryophytique (%)

À faible altitude, le recouvrement total de la végétation, en particulier le recouvrement des bryophytes, peut évoluer comme une variable corollaire des **pressions mécaniques exercées sur l'habitat** (piétinement, passage de grand gibier, passage de véhicules, etc.). Ces pressions peuvent conduire à une érosion ou un effritement du tuf dans certains cas, compromettant fortement les **possibilités de restauration**. Les bryophytes sont également très vulnérables aux modifications du régime **d'approvisionnement en eau** (Bensettiti *et al.*, 2002 ; Capezzuoli *et al.*, 2014).

Méthode : Une simple estimation visuelle du **recouvrement total ou du recouvrement des bryophytes seules** sera effectuée à l'échelle de la **placette, du polygone ou de l'édifice tufeux**. Les deux indicateurs pourront également être notés grâce à un relevé phytosociologique ou floristique à l'échelle de la placette.

Protocole : Pour évaluer ces indicateurs à l'échelle de la placette, il faut d'abord la délimiter. La forme de la placette dépendra de la configuration du polygone ou de l'édifice, et pourra ainsi être de forme **circulaire, carrée, rectangulaire, linéaire**, etc. Les relevés fragmentés sont également possibles si les patches d'habitat ont la même composition floristique, la même physionomie de végétation et sont soumis à une même gestion (l'absence de gestion en fait partie). On évitera de se

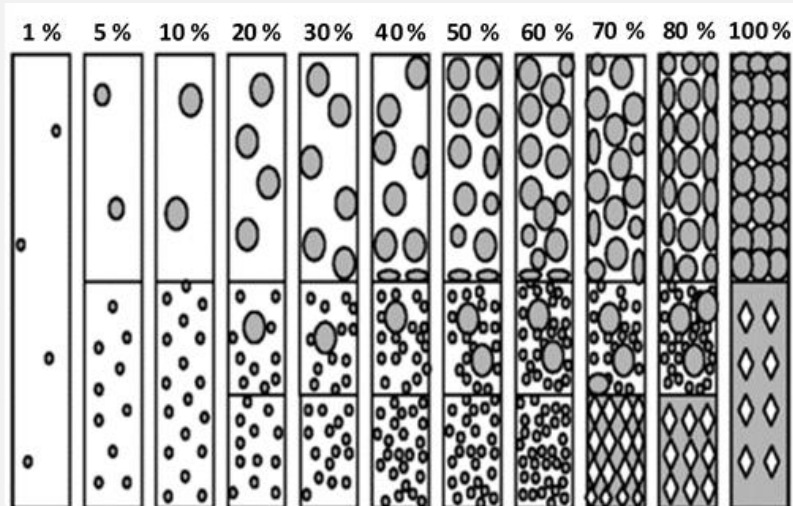


Figure 41. Aide à l'estimation des recouvrements (source : N. Fromont).

placer en marge du polygone ou de l'édifice tufeux où des végétations extérieures à l'habitat pourraient être rencontrées (**effet de lisière**). La valeur de l'indicateur correspondra au recouvrement cumulé de toutes les strates, ligneux et bryophytes compris, ou bien seulement à la strate bryophytique. Une aide à l'estimation du recouvrement est disponible ci-dessus (Figure 41). Dans le cas de l'estimation du recouvrement total, il est conseillé de noter la **valeur exacte du recouvrement de chaque espèce phanérogame présente, ainsi que le nom des espèces sur la fiche de relevé**.

Critère	Informations apportées	Échelle	Résultats attendus
Composition floristique	Structure de l'habitat, modifications du régime d'alimentation en eau	Placette/Polygone/Édifice tufeux	--
			--

Recouvrement ET/OU nombre OU présence des espèces ligneuses (total, strate arbustive et/ou strate arborée)

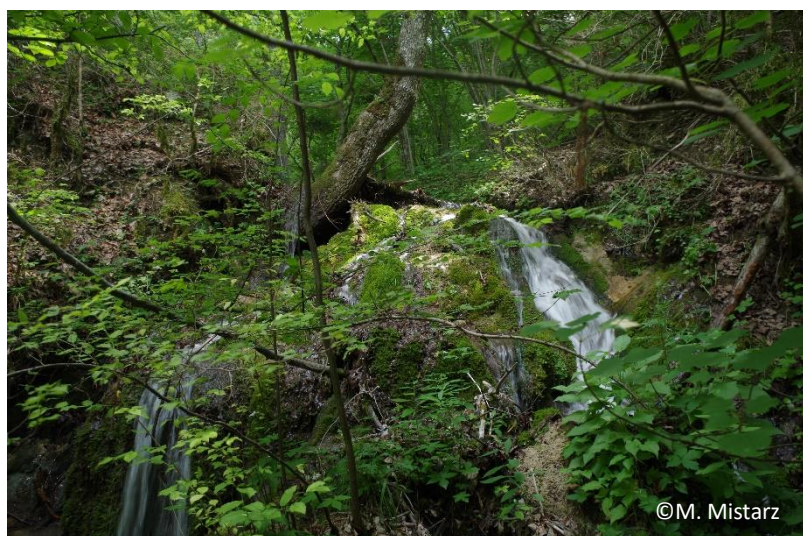


Photo 10. Édifice tufeux en contexte forestier.

La présence de **ligneux** a été pointée comme une menace potentielle pour l'intégrité des systèmes tufeux (SAGE environnement, 2012). En conditions normales, le fonctionnement du bryolithe ne permet vraisemblablement pas la germination des ligneux, contribuant à maintenir la végétation qui s'y trouve ouverte (Hugonnot, 2017). La colonisation de l'édifice tufeux par les ligneux (*Acer* spp., *Fraxinus excelsior*., *Salix* spp., *Frangula* spp., *Rhamnus* spp., etc.), pourrait également indiquer un assèchement de l'habitat (Lyons et Kelly, 2016 ;

Hugonnot *et al.*, 2017) et mener à l'exclusion des communautés des sources pétrifiantes au profit de fourrés pré-forestiers. Cependant, les sources pétrifiantes pouvant évoluer en contexte ouvert ou forestier, l'impact des ligneux sur l'habitat pourra **potentiellement être différent suivant sa configuration** (Photo 10). Néanmoins, les ligneux peuvent se maintenir un certain temps, sans compromettre les possibilités de restauration. Des tests supplémentaires seront nécessaires en 2021 afin de sélectionner le ou les indicateurs les plus adéquats, ou bien d'abandonner l'ensemble des indicateurs basés sur les ligneux.

Critère	Informations apportées	Échelle	Résultats attendus
Composition floristique	Assèchement, structure de l'habitat	Placette/Polygone/Édifice tufeux	--
			--

Recouvrement ET/OU nombre OU présence des espèces indicatrices du bon état

L'indicateur est à développer en 2021. La proposition faite dans la première version de la méthode (Clément *et al.*, 2020), ainsi que les premiers tests effectués en 2020 n'ont pas permis de mettre en évidence la pertinence de l'indicateur, bien que ce dernier soit jugé approprié par les experts. En attendant, l'opérateur est libre d'appliquer l'indicateur s'il estime que certaines espèces peuvent l'intégrer.

Méthode : On pourra estimer le recouvrement/nombre ou rechercher la seule présence des espèces ciblées. Le recouvrement/nombre ou la présence des espèces indicatrices de bon état pourra également être noté grâce à un relevé phytosociologique ou floristique à l'échelle de la placette.

Protocole : On utilisera la même placette utilisée pour la mesure du recouvrement total de la végétation, si cette dernière a été délimitée (sinon cf. Protocole de l'indicateur « Recouvrement total de la végétation »). **Il est conseillé de noter le nom de chaque espèce indicatrice de bon état sur la fiche de relevé, ainsi que le recouvrement, si jugé pertinent.** Une aide au recouvrement est disponible ci-dessus (Figure 42).

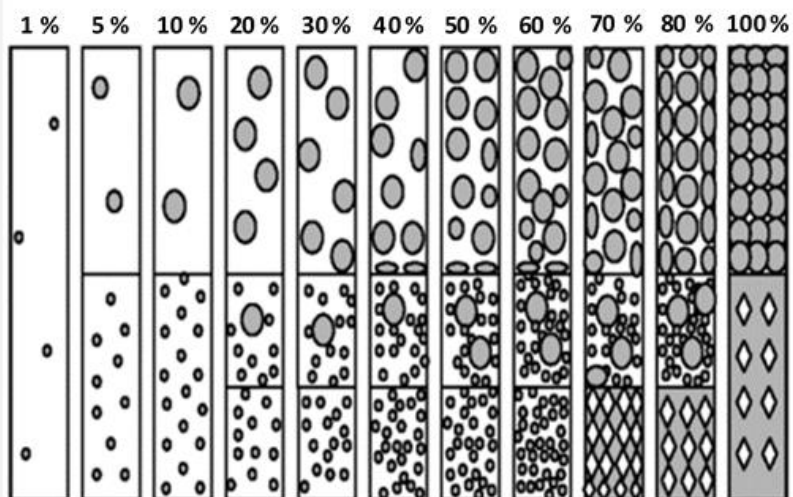


Figure 42. Aide à l'estimation des recouvrements (source : N. Fromont).

Remarques : il est fortement recommandé d'utiliser une flore adaptée au contexte local lorsque disponible, en cas de doute.

Critère	Informations apportées	Échelle	Résultats attendus
Composition floristique	Bon état	Placette	--
			--

Recouvrement ET/OU nombre OU présence d'espèces indicatrices d'enrichissement trophique

Lors de la phase de terrain 2020, les taxons listés ci-dessous ont été contactés et mentionnés comme indicateurs d'un enrichissement trophique de l'habitat (Tableau 25). Ces espèces sont parfois présentes en marge. Lorsqu'elles sont présentes au sein de l'habitat, dans la partie où la tufigénèse est active, cela peut indiquer une quantité anormale de nutriments. L'**eutrophisation** est une des menaces les plus importantes pour cet habitat. Les **bryophytes** sont très sensibles à la **qualité de l'eau**. Un enrichissement en éléments nutritifs comme l'azote et/ou le phosphore est défavorable à l'état de conservation (Boucard *et al.*, 2013 ; Hugonnot *et al.*, 2019). Comme le précédent indicateur, celui-ci doit être validé et développé via consultation des experts et la poursuite des tests.

Méthode : On pourra estimer le recouvrement/nombre ou rechercher la seule présence des espèces ciblées. Le recouvrement/nombre ou la présence des espèces indicatrices d'un enrichissement trophique pourra également être noté grâce à un relevé phytosociologique ou floristique à l'échelle de la placette.

Protocole : On utilisera la même placette utilisée pour la mesure du recouvrement total de la végétation, si cette dernière a été délimitée (sinon cf. Protocole de l'indicateur « Recouvrement total de la végétation »). **Il est conseillé de noter le nom de chaque espèce indicatrice d'un enrichissement trophique sur la fiche de relevé, ainsi que le recouvrement si jugé pertinent.** Une aide à l'estimation du recouvrement est disponible ci-contre (Figure 43).

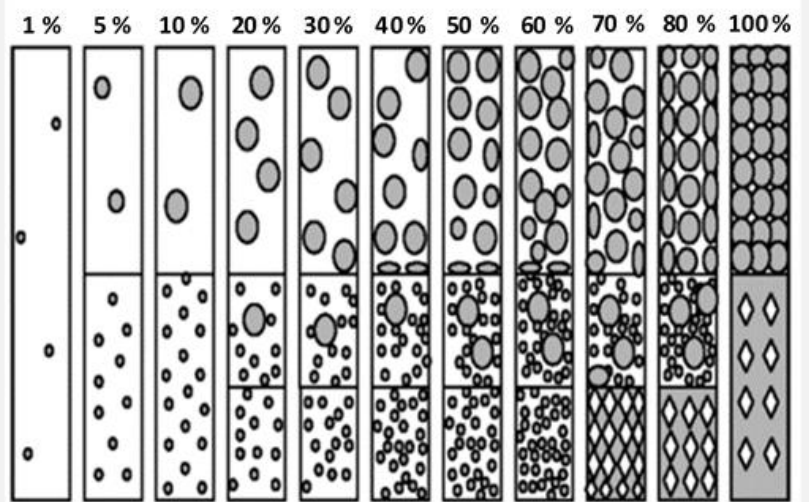


Figure 43. Aide à l'estimation des recouvrements (source : N. Fromont).

Tableau 25. Espèces indicatrices d'un enrichissement trophique des sources pétrifiantes.



Angelica sylvestris L., 1753



Calliergonella cuspidata (Hedw.) Loeske, 1911



Carex acutiformis Ehrh., 1789



Cirsium palustre (L.) Scop., 1772



© D. Massemin

***Clematis vitalba* L., 1753**



© O. Roquinarc'h

***Dioscorea communis* (L.) Caddick & Wilkin, 2002**



© A.-H. Paradis & R. Poncet

***Equisetum telmateia* Ehrh., 1783**



P. Gourdain

***Eupatorium cannabinum* L., 1753**



© Y. Martin

***Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., 1879**



© S. Filoche

***Poa trivialis* L., 1753**



Pulicaria dysenterica (L.) Bernh., 1800



Ranunculus repens L., 1753



Rubus spp.



Schedonorus arundinaceus (Schreb.) Dumort., 1824



Scrophularia auriculata L., 1753



Urtica dioica L., 1753



Tussilago farfara L., 1753



Veronica beccabunga L., 1753

Remarques : il est fortement recommandé d'utiliser une flore adaptée au contexte local, lorsque disponible, en cas de doute.

Critère	Informations apportées	Échelle	Résultats attendus
Composition floristique	Eutrophisation	Placette	--
			--

Recouvrement ET/OU nombre OU présence des espèces indicatrices d'assèchement

Lors de la phase de terrain 2020, les taxons listés ci-dessous ont été reconnus comme indicateurs d'un assèchement de l'habitat lorsqu'ils sont présents dans la partie où la tufigénèse est active (Tableau 26). Ces espèces peuvent également être présentes en marge de l'habitat. L'**assèchement** est couramment cité comme l'une des menaces les plus importantes pour les sources pétrifiantes, les **bryophytes** étant très **sensibles aux variations du débit et de la qualité de l'eau**. Un assèchement est donc défavorable à l'état de conservation (Hugonnot *et al.*, 2019). Comme le précédent indicateur, celui-ci doit être validé et développé via consultation des experts et la poursuite des tests.

Méthode : On pourra estimer le recouvrement/nombre ou rechercher la seule présence des espèces ciblées. Le recouvrement/nombre ou la présence des espèces indicatrices d'un assèchement pourra également être noté grâce à un relevé phytosociologique ou floristique à l'échelle de la placette.

Protocole : On utilisera la même placette utilisée pour le relevé de l'indicateur précédent. **Il est conseillé de noter le nom de chaque espèce**

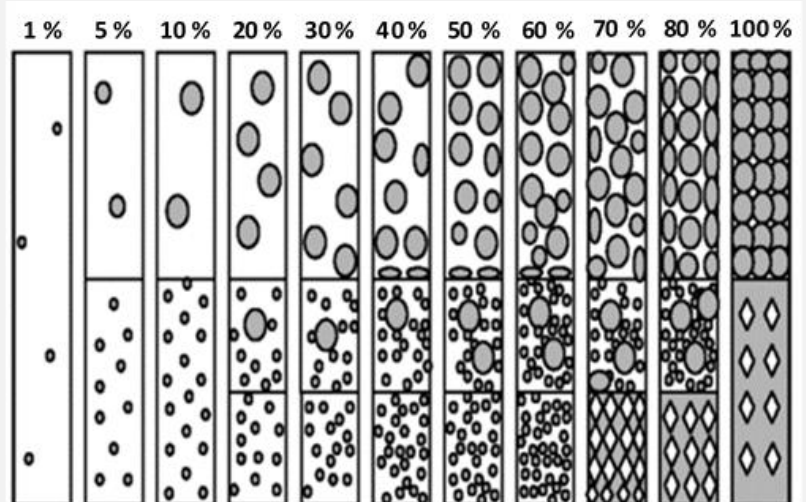


Figure 44. Aide à l'estimation des recouvrements (source : N. Fromont).

indicatrice d'un assèchement sur la fiche de relevé, ainsi que le recouvrement, si jugé pertinent. Une aide à l'estimation du recouvrement est disponible ci-dessus (Figure 44).

Tableau 26. Espèces indicatrices d'un assèchement des sources pétrifiantes.



Achnatherum calamagrostis (L.) P.Beauv., 1812



Asplenium scolopendrium L., 1753



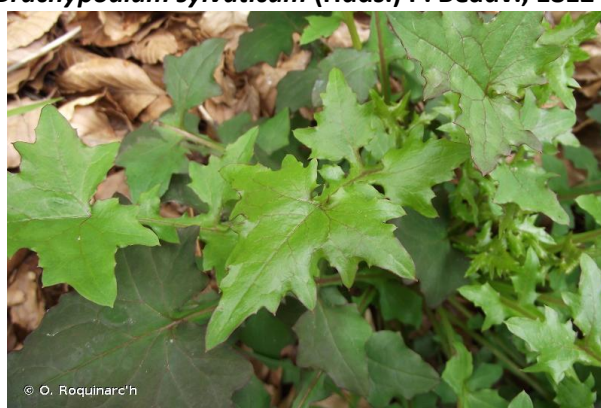
Brachypodium rupestre (Host) Roem. & Schult., 1817



Brachypodium sylvaticum (Huds.) P. Beauv., 1812



Hedera helix L., 1753



Lactuca muralis (L.) Gaertn., 1791



***Sesleria caerulea* (L.) Ard., 1763**

Remarques : il est fortement recommandé d'utiliser une flore adaptée au contexte local lorsque disponible, en cas de doute.

Critère	Informations apportées	Échelle	Résultats attendus
Composition floristique	Assèchement	Placette	--
			--

Présence d'espèces faunistiques indicatrices du bon état (bonus)

La présence de certaines espèces faunistiques traduit une constance de la qualité et de la quantité de l'approvisionnement en eau. Au sein des sources pétifiantes, on pourra notamment relever la présence de la **salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*)**, de l'**écrevisse à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes*)**, du **codulégastre annelé (*Cordulegaster boltoni*)**, du **codulégastre bidenté (*C. bidentata*)** ou encore de l'**agrion de mercure (*Coenagrion mercuriale*)** (Villaret, 2019) (Tableau 27). Ces taxons peuvent être présents seuls ou simultanément, dans le cœur d'une source pétifiante ou à proximité immédiate. À noter, le Cordulégastre bidenté (*Cordulegaster bidentata*) est très semblable au Codulégastre annelé (*Cordulegaster boltoni*), tant d'un point de vue physiologique qu'écologique. Le premier remplace parfois le second dans le sud du pays.

Méthode : La **présence** d'une seule de ces espèces pourra être relevée à l'**opportuniste** ou en suivant un **protocole précis**, en fonction du temps et des moyens dont l'opérateur dispose pour effectuer l'évaluation.

Protocole : Dans le cas d'un protocole précis, la prospection sera effectuée à l'échelle de l'**écomplexe** (polygone d'habitat et habitats en contact direct). Il s'agira de parcourir l'écomplexe en tentant d'identifier à **vue** les espèces cibles ou par **photo**, entre mars et juillet pour la salamandre, entre avril et septembre pour les odonates, de mai à octobre pour l'écrevisse. Plusieurs passages pourront être effectués, en veillant à éviter les journées pluvieuses et/ou aux températures fraîches. Pour observer les odonates de près, un **filet fauchoir** peut être utilisé. Toutefois, il s'agira de respecter la réglementation relative à *Cordulegaster boltonii* (espèce protégée en Île-de-France).

Tableau 27. Espèces faunistiques indicatrices d'un bon état des sources pétrifiantes.



***Austropotamobius pallipes* (Lereboullet, 1858)**



***Cordulegaster bidentata* Selys, 1843**



***Cordulegaster boltonii* (Donovan, 1807)**



***Coenagrion mercuriale* (Charpentier, 1840)**



***Salamandra salamandra* (Linnaeus, 1758)**

Critère	Informations apportées	Échelle	Résultats attendus
Composition faunistique	Support de biodiversité faunistique, lieu de reproduction, flux avec les niveaux trophiques supérieurs	Écocomplexe	Présence

Paramètre « Altérations »

Somme des atteintes quantifiables en surface



Photo 11. Piétinement d'un massif tufeux dans l'Aisne (Fontaine Saint-Martin).

Les sources pétrifiantes sont particulièrement sensibles aux modifications de l'écoulement de l'eau et à la fréquentation. Cet habitat nécessitant des apports en eau constants, **toute forme de canalisation de l'écoulement** est négative pour sa conservation. La fréquentation inclut le **piétinement humain** (Photo 11), les **traces de véhicules**, le passage de **bétail** ou de **grand gibier (sangliers)** qui peuvent amener à l'érosion du tuf.

Méthode : On relèvera **toutes les atteintes visibles à l'échelle du polygone ou de l'édifice tufeux**. Il s'agira parfois de leur attribuer une estimation de **surface du polygone/de l'édifice impactée**.

Protocole : Chaque atteinte relevée se voit attribuer une **note** de 1 à 2 selon son origine (anthropique ou naturelle), la surface d'habitat impactée ou encore sa localisation par rapport au polygone/à l'édifice. **La somme des notes attribuées à chaque atteinte donne la note globale de l'indicateur**. Le tableau ci-dessous donne une liste des atteintes quantifiables en surface potentiellement présentes sur les sources pétrifiantes (Tableau 28).

Tableau 28. Liste des atteintes quantifiables en surface pouvant affecter les sources pétrifiantes.

Atteintes quantifiables (polygone/édifice)	Points
Passage de quads, piétinement dû à la fréquentation (< 50 %)*	1
Passage de quads, piétinement dû à la fréquentation (> 50 %)*	2
Passage de sangliers	2
Présence d'EEE	1
Artificialisation des berges	2
Passage d'engins lourds	2
Dépôts de matériaux/décharge	2
Extraction de tuf	2
Plantations en périphérie	1
Plantations au centre*	2
Drains artificiels*	2
Incendies	1
Bois mort	1
Curage des berges	2
Broyage	2

Remarques : La liste proposée est non exhaustive et peut être complétée par l'opérateur. Attention toutefois à ne pas ajouter une atteinte pouvant déjà être prise en compte dans le cadre de l'évaluation d'un autre indicateur afin d'éviter toute redondance. C'est notamment le cas en l'état avec les indicateurs marqués d'un *, potentiellement redondants avec les indicateurs de composition floristique.

Critère	Informations apportées	Échelle	Résultats attendus
Atteintes lourdes	Fonctionnement général, connectivité, capacité de résilience	Polygone/Édifice tufeux	0
			1
			2
			3
			≥ 4

Atteintes dont l'impact est difficilement quantifiable en surface

Ce sont des atteintes dont l'impact ne peut être quantifié en surface. La complétude de la liste des atteintes diffuses évoluera suite aux différentes phases de terrain, le cas échéant.

Méthode : Il s'agit d'évaluer l'impact des atteintes difficilement quantifiables en surface à l'échelle du **site ou du bassin versant** sur l'état de conservation de l'habitat.

Protocole : Toutes les atteintes présentes sur le site ou le bassin versant qui peuvent avoir un impact sur l'état de conservation de l'habitat doivent être recensées. Les atteintes potentielles sont listées ci-dessous (Tableau 29). À **dire d'expert**, il s'agit d'évaluer l'impact global de toutes les atteintes recensées.

Tableau 29. Exemple d'atteintes difficilement quantifiables en surface pouvant affecter les sources pétrifiantes.

Atteintes difficilement quantifiables en surface
Drainage
Activités de pompage, extraction de matériaux
Rejets ponctuels, pollutions
Chaulage
Agriculture avec usage d'intrants
Sports de montagne (ski, etc.)
Surfréquentation
Barrage
Endiguement
Chenalisation
Enrésinement/plantations
Aménagement chemin carrossable

Remarques : La liste proposée est non exhaustive et peut être complétée par l'opérateur.

Critère	Informations apportées	Échelle	Résultats attendus	Notes
Atteintes diffuses	Fonctionnement général, capacité de résilience, pérennité de l'habitat	Site/Bassin versant	Impact négligeable ou nul	0
			Impact moyen	-10
			Impact moyen	-20

Bibliographie

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

Bensettiti F., Boulet V., Chavaudret-Laborie C. & Deniaud J., 2005. - « *Cahiers d'habitats* » *Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 4 - Habitats agropastoraux*. Éd. La Documentation française. 2 volumes : 445p. et 487p.

Boucard E., Scagni J. & Voiron M., 2013. - Étude et cartographie des sources pétrifiantes avec formation de travertins (*Cratoneurion* – code Natura 2000 : *7220) du site Natura 2000 FR4301334 : « Petite montagne du Jura ». Mosaïque environnement & Ésope, Communauté de communes de la Petite Montagne. 43p.

Capezzuoli E., Gandin A. & Pedley M., 2014. - Decoding Tufa and Travertine (Fresh Water Carbonates) in the Sedimentary Record: The State of the Art. *Sedimentology* 61: 1-21

Clément H. & Gaucherand S., 2016. - BILAN DU PLAN D'ACTION ZONES HUMIDES DE VAL THORENS. Institut national de recherche en science et technologie pour l'environnement et l'agriculture. 101p.

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. 183p

Gaudillat V., Argagnon O., Bensettiti F., Bioret F., Boulet V., Causse G., Choynet G., Coignon B., de Foucault B., Delassus L., Duhamel F., Fernez T., Herard K., Lafon P., Le fouler 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. Rapport UMS Patrinat 2017-104. Unité Mixte de Service Patrimoine naturel, Fédération des Conservatoires botaniques nationaux, Ministère de la Transition écologique et solidaire. 62p.

Hugonnot V., 2017. - Approche morphologique, phytocœnotique et fonctionnelle des bryolithes de la basse vallée de l'Isère (de Saint-Marcellin à Romans), France. *Revue d'écologie (Terre et vie)* 72 : 1-19

Hugonnot V., Vanderpert H. & Granato L., 2017. - Les bryophytes du complexe pétrifiant de Saint-Maurin (La Palud-sur-Verdon, Alpes-de-Haute-Provence). Approche conservatoire. *Bulletin de la Société Linnéenne de Provence* 68 : 87

Hugonnot V., Vanderpert H. & Granato L., 2019. - Mise en place d'un suivi de la végétation des tufs - Guide méthodologique. Réserve Naturelle Régionale de Saint-Maurin, Conservatoire d'espaces naturels Provence-Alpes-Côte d'Azur. 28p.

Lyons M.D. & Kelly D.L., 2016. - Monitoring guidelines for the assessment of petrifying springs in Ireland. *Irish Wildlife Manuals* n°34. National Parks and Wildlife Service, Department of Arts, Heritage, Regional, Rural and Gaeltacht Affairs. 73p.

SAGE ENVIRONNEMENT, 2012. - Étude diagnostic sur les milieux rivulaires de la Basse-Isère. Retenues de Beauvoir, Saint-Hilaire, Pizançon & La Vanelle. Tome 1 et Tome 2. 94p.

UMS Patrinat, 2019. - Résultats synthétiques de l'état de conservation des habitats et des espèces, période 2013-2018. Rapportage article 17 envoyé à la Commission européenne, avril 2019.

Villaret J.-C., Van Es J., Sanz T., Pache G., Legland T., Mikolajczak 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*. Édition *Naturalia* publications. 639p.

