

Recherche de populations de
Buxbaumia viridis dans le cadre du
projet de parc photovoltaïque de
Séranon (06)



Projet photovoltaïque de Séranon

RECHERCHE DE POPULATIONS DE *BUXBAUMIA VIRIDIS*

Aout 2025

Visites de terrain : F. PÉPIN, V. HUGONNOT, J-B. GIBOUT, T. COUPEAU

Organisation, méthodes, recueil et analyses des données : F. PÉPIN, V. HUGONNOT, J-B. GIBOUT, T. COUPEAU

Rédaction, relecture : F. PÉPIN, V. HUGONNOT

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	5
2	FICHE ESPÈCE – <i>BUXBAUMIA VIRIDIS</i> (BUXBAUMIE VERTE)	6
2.1	STATUTS ET PROTECTION	6
2.2	BIOLOGIE ET CYCLE DE VIE	7
2.3	ÉCOLOGIE ET HABITATS	7
2.4	DISTRIBUTION	8
2.5	MENACES	9
2.6	VALEUR ÉCOLOGIQUE ET CORTÈGES ASSOCIÉS	9
2.7	PRÉCONISATIONS DE GESTION	9
2.8	SYNTHÈSE	10
2.9	ÉLÉMENTS DE COMPRÉHENSION	10
3	MÉTHODE	14
3.1	CONTEXTE ET FINALITÉ DE LA MISSION	14
3.2	OBJECTIF 1 – ÉVALUATION DU RISQUE D’ATTEINTE LOCALE	14
3.2.1	<i>Périmètres concernés</i>	14
3.2.2	<i>Dispositif technique de prospection</i>	16
3.2.3	<i>Microhabitats investigués</i>	16
3.2.4	<i>Déroulement pratique</i>	18
3.2.5	<i>Données collectées</i>	18
3.3	OBJECTIF 2 – IMPORTANCE RELATIVE À L’ÉCHELLE RÉGIONALE	18
3.3.1	<i>Organisation spatiale de la prospection</i>	18
3.3.2	<i>Modalités de prospection</i>	19
3.3.3	<i>Estimation qualitative régionale</i>	19
3.3.4	<i>Interprétation attendue</i>	21
3.4	GESTION ET INTÉGRATION DES DONNÉES	21
3.5	RÉFÉRENTIELS TAXONOMIQUES	21
4	RÉSULTATS	23
4.1	OBJECTIF 1 : IMPACT LOCAL	23
4.2	OBJECTIF 2 : IMPORTANCE RÉGIONALE	28
4.2.1	<i>Résultats concernant les données nouvellement acquises dans le cadre de la présente étude</i>	28
4.2.2	<i>Résultats concernant les données acquises précédemment</i>	30
5	DISCUSSION	32
5.1	RAPPEL DES OBJECTIFS ET LIMITES D’INTERPRÉTATION	32
5.2	OBJECTIF 1 — IMPACT LOCAL : UNE POPULATION ABONDANTE MAIS SPATIALEMENT HÉTÉROGÈNE	32
5.3	OBJECTIF 2 — IMPORTANCE RÉGIONALE : UN NOYAU INSCRIT DANS UNE MÉTAPOPULATION	33
6	CONCLUSION GÉNÉRALE	34
7	RÉFÉRENCES	35

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURE 1 : BUXBAUMIA VIRIDIS SUR LE SITE DE SÉRANON	6
FIGURE 2 : PROTONÉMA DE BUXBAUMIA VIRIDIS.....	7
FIGURE 3 : SPOROPHYTES DE BUXBAUMIA VIRIDIS	8
FIGURE 4 : CYCLE DE VIE ET NICHES ÉCOLOGIQUES SUPPOSÉES DE BUXBAUMIA VIRIDIS.....	13
FIGURE 5 : ZONES D'ÉTUDES – OBJECTIF 1.....	15
FIGURE 6 : EXEMPLES DE MICROHABITATS PROSPECTÉS	17
FIGURE 7 : OBJECTIF 2 - MAILLAGE DE 2 x 2 KM.....	20
FIGURE 8 : SCHÉMA CONCEPTUEL DE L'EXPERTISE SUR BUXBAUMIA VIRIDIS	22
FIGURE 9 : LOCALISATION DE BUXBAUMIA VIRIDIS AU SEIN DE MC04 ET MC05 (LE SECTEUR À L'EXTRÊME NW EST CONSIDÉRÉ COMME DÉFAVORABLE MALGRÉ LA PRÉSENCE D'UN INDIVIDU ISOLÉ).....	25
FIGURE 10 : LOCALISATION DE BUXBAUMIA VIRIDIS AU SEIN DES OLD	26
FIGURE 11 : COMPARAISON DES DENSITÉS EXTRAPOLÉES DE SPOROPHYTES ET DE PROTONÉMA DE BUXBAUMIA VIRIDIS.....	28
FIGURE 12 : PRÉSENCE DE BUXBAUMIA VIRIDIS DANS UN RAYON DE 5 KM AUTOUR DU PROJET PHOTOVOLTAÏQUE DE SÉRANON	29
 TABLEAU 1 : COMPARAISON DES NICHES ÉCOLOGIQUES SUPPOSÉES DE BUXBAUMIA VIRIDIS SELON LE STADE DE DÉVELOPPEMENT.....	11
TABLEAU 2 : RÉSULTATS DES PROSPECTIONS EFFECTUÉES DANS LES MC ET LES OLD	23
TABLEAU 3 : SURFACES UTILISÉES DANS LE CALCUL D'EXTRAPOLATION	24
TABLEAU 4 : EFFECTIFS EXTRAPOLÉS DE BUXBAUMIA VIRIDIS DANS MC04, MC05 ET LES OLD.....	27

1 INTRODUCTION

Le projet de parc photovoltaïque de Séranon (Alpes-Maritimes) se situe dans un contexte écologique sensible. L'étude d'impact initiale, conduite par le bureau Ecoter, n'avait pas pris en compte les bryophytes, et notamment *Buxbaumia viridis* (Buxbaumie verte), espèce protégée au niveau national et inscrite à l'annexe II de la directive Habitats. Une expertise judiciaire réalisée en octobre 2024 (Offerhaus, 2024) a toutefois confirmé sa présence abondante sur le site, certaines stations ayant déjà été détruites par les travaux de déboisement et de broyage, révélant la vulnérabilité immédiate des populations locales.

Dans ce contexte, nous avons été sollicités pour mener une étude spécifique sur *Buxbaumia viridis* afin d'évaluer l'état des populations présentes et de déterminer si les impacts constatés et prévisibles justifient une demande de dérogation (art. L.411-2 du Code de l'environnement).

Cette démarche s'inscrit dans un cadre scientifique plus large : longtemps considérée comme rare et inféodée aux forêts anciennes, l'espèce a vu sa perception évoluer grâce aux découvertes récentes sur son cycle de vie, incluant un protonéma persistant capable de produire des gemmes végétatives. Ce stade discret suggère une répartition bien plus large que celle reflétée par les seuls relevés sporophytiques.

Dans le Parc naturel régional des Préalpes d'Azur, l'étude d'Offerhaus et al. (2019) illustre déjà cette tendance en ne considérant que le stade sporophytique : malgré ce biais, le nombre de stations connues y a doublé (95 pointages sur 62 mailles, environ 1 500 ha). Ces résultats, obtenus uniquement à partir des capsules, traduisent une espèce en réalité plus fréquente qu'attendu, mais probablement encore sous-estimée si l'on prend en compte la phase protonématique. Dans ce secteur, *Buxbaumia viridis* est observée surtout dans des forêts mixtes de résineux en ubac, sur bois très décomposés, entre 467 et 1 510 m d'altitude, dans des habitats globalement en bon état de conservation.

La présente étude vise donc à replacer les observations locales dans le contexte régional, afin de caractériser les populations présentes et d'évaluer le risque réel lié au projet photovoltaïque.

2 FICHE ESPÈCE – *BUXBAUMIA VIRIDIS* (BUXBAUMIE VERTE)

2.1 Statuts et protection

Buxbaumia viridis bénéficie d'un statut de protection élevé en Europe. Elle figure à l'Annexe II et IV de la Directive Habitats-Faune-Flore, ainsi qu'à l'Annexe I de la Convention de Berne. Longtemps classée comme vulnérable à l'échelle européenne (ECCB 1995), elle a été réévaluée récemment en « Préoccupation mineure » (LC) au niveau continental, mais demeure menacée dans plusieurs pays où ses populations sont très localisées et fragiles.

En France, la répartition connue de *Buxbaumia viridis* repose essentiellement sur les observations de sporophytes, recensés dans tous les grands massifs montagneux (Vosges, Jura, Massif central, Alpes, Pyrénées, Corse), où l'espèce est considérée comme un élément patrimonial de la bryoflore forestière. Cette vision est toutefois biaisée par la focalisation sur un stade reproducteur visible mais rare et très fluctuant. Les travaux récents consacrés au gamétophyte protonématique propagulifère révèlent une distribution bien plus large et diffuse, suggérant que l'espèce est en réalité beaucoup plus fréquente et stable que ne l'indiquent les seules données sporophytiques.



Figure 1 : *Buxbaumia viridis* sur le site de Séranon

2.2 Biologie et cycle de vie

L'espèce présente une biologie atypique. Son gamétophyte est extrêmement réduit et longtemps réputé indétectable. On sait aujourd'hui qu'il se développe sous forme de **protonéma persistant**, capable de produire des gemmes multicellulaires assurant la survie et une certaine capacité de colonisation locale. Ces populations protonématiques, découvertes récemment *in situ*, semblent parfois indépendantes de tout développement sporophytique. Leur rôle réel, leur longévité et leur dynamique demeurent toutefois mal compris.

Le sporophyte, en revanche, est disproportionné par rapport au gamétophyte : capsule oblongue de 5–7 mm portée par une soie très courte (< 1 cm). Sa production est massive (plusieurs millions de spores par capsule), mais très variable selon les années et dépendante de conditions microclimatiques particulières. La fécondation est probablement limitée par la dioécie (individus mâles et femelles séparés). La multiplication asexuée (fragmentation du protonéma, gemmes) joue certainement un rôle, mais son importance par rapport aux spores reste à évaluer.

2.3 Écologie et habitats

Buxbaumia viridis est une espèce saproxylique pionnière inféodée au bois en décomposition.

- Le **protonéma** colonise le plus souvent des bois moyennement décomposés (stades de saproxylation 2–3), parfois encore recouverts d'écorce, et peut aussi apparaître sur humus brut ou talus forestiers. Il n'est pas strictement limité aux conifères et peut se rencontrer sur feuillus (hêtre, frêne etc.).



Figure 2 : Protonéma de *Buxbaumia viridis*

- Le **sporophyte**, plus exigeant, se développe presque exclusivement sur du bois très décomposé (stades 4–5), généralement de résineux (sapin, épicéa, pin etc.), souvent sur de gros troncs couchés et partiellement enfouis dans la litière, dans des forêts fraîches et ombragées.



Figure 3 : Sporophytes de *Buxbaumia viridis*

Le microclimat est déterminant : humidité constante, atmosphère saturée, proximité de ruisseaux ou zones suintantes, et canopée fermée. L'optimum altitudinal se situe dans les étages montagnard et subalpin (600–1 800 m, jusqu'à 1 900 m en France). Le protonéma semble tolérer des conditions plus variées, ce qui laisse penser que la niche écologique du gamétophyte est plus large que celle du sporophyte, mais cette hypothèse reste à confirmer.

2.4 Distribution

L'espèce a une répartition circumboréo-montagnarde. Elle est largement répandue dans les montagnes d'Europe, mais presque toujours de façon disséminée. En France, elle est signalée dans tous les massifs, avec un effort de prospection qui s'intensifie depuis une vingtaine d'années, révélant de nombreuses nouvelles stations. Les populations sont cependant très fluctuantes et l'absence de « fructification » pendant plusieurs années ne doit pas être interprétée trop rapidement comme une disparition.

2.5 Menaces

La principale menace pour *Buxbaumia viridis* est la raréfaction du bois mort, liée à la sylviculture intensive, aux pratiques d'éclaircie et à la valorisation énergétique des rémanents forestiers. Les coupes rases et ouvertures brutales de la canopée provoquent dessiccation et perte de microclimats favorables. Les incendies et le nettoyage systématique du sous-bois constituent également des pressions négatives. Enfin, l'herbivorie (limaces, rongeurs, oiseaux) peut détruire une part importante des sporophytes, réduisant ainsi le succès reproductif.

2.6 Valeur écologique et cortèges associés

Buxbaumia viridis est considérée comme une **espèce parapluie** pour les communautés saproxyliques de forêts humides. Elle est souvent associée à un cortège de bryophytes et hépatiques rares (*Crossocalyx hellerianus*, *Lophozia ascendens*, *Nowellia curvifolia*, *Odontochisma denudatum*), mais aussi à des lichens épiphytiques et à d'autres organismes dépendants du bois mort. Sa présence est révélatrice d'une **forêt riche en nécromasse**, offrant une mosaïque de microhabitats de haute valeur écologique.

2.7 Préconisations de gestion

La conservation de *Buxbaumia viridis* repose sur :

- le maintien d'un volume suffisant de **bois mort** de différents diamètres et stades de décomposition,
- la préservation d'un **couvert forestier fermé** garantissant un microclimat humide,
- l'évitement des **éclaircies brutales et coupes rases**,
- la proscription du **nettoyage systématique des rémanents**,
- et la mise en place de **suivis pluriannuels**, incluant la recherche spécifique de populations protonématiques, afin d'obtenir une vision plus réaliste de sa distribution.

2.8 Synthèse

Buxbaumia viridis illustre l'importance de la nécromasse dans les écosystèmes forestiers montagnards. Espèce longtemps jugée rarissime car observée uniquement au stade sporophytique, elle apparaît aujourd'hui beaucoup plus répandue grâce à la mise en évidence du protonéma propagulifère. Toutefois, de nombreuses incertitudes demeurent sur le rôle réel de ce gamétophyte dans la dynamique des populations. Sa conservation impose de raisonner la gestion forestière à long terme, en garantissant la continuité spatio-temporelle du bois mort et en respectant les conditions microclimatiques favorables.

2.9 Éléments de compréhension

La raréfaction des forêts anciennes et la diminution de la quantité de bois mort constituent aujourd'hui une menace majeure pour la biodiversité forestière européenne, en particulier pour les organismes saproxyliques spécialisés. Parmi eux, *Buxbaumia viridis*, bryophyte emblématique protégée à l'échelle continentale (Directive Habitats 92/43/CEE, Convention de Berne), a longtemps été considérée comme une espèce rare et sporadique, étroitement dépendante des forêts humides montagnardes riches en nécromasse.

L'essentiel des connaissances accumulées jusqu'à récemment reposait sur l'observation du sporophyte, seul stade visible à l'œil nu. Ce sporophyte, de morphologie très caractéristique (capsule oblongue portée par une soie courte), apparaît de manière éphémère et dans des conditions écologiques strictes : bois de conifères en stade avancé de décomposition, forte rétention en eau, couvert forestier fermé et humidité atmosphérique élevée. Cette dépendance à des microhabitats rares et instables, ajoutée à la forte variabilité interannuelle de la fructification, a contribué à construire l'image d'une espèce à la fois relictuelle et fragile.

Or, des travaux récents ont profondément renouvelé cette perception en mettant en évidence le rôle du gamétophyte protonématique propagulifère. Contrairement à ce qui était admis, *Buxbaumia viridis* développe un protonéma persistant, parfois abondant, capable de produire des gemmes multicellulaires assurant une multiplication végétative. Ces structures, observées *in situ* notamment en France et en Europe centrale, suggèrent que l'espèce peut se maintenir durablement, indépendamment de la production de sporophytes. Elles offrent aussi une explication possible aux nombreuses observations anciennes de *Buxbaumia viridis* sur substrats atypiques (humus, talus forestiers, bois faiblement décomposé) : il s'agirait de manifestations protonématiques plutôt que de stations sporophytiques « aberrantes ».

Cependant, si cette découverte ouvre des perspectives nouvelles, elle soulève aussi de nombreuses questions encore non résolues :

La dynamique réelle des populations protonématiques reste mal connue : s'agit-il de populations stables et pérennes ou de stades transitoires en attente de conditions favorables à la sporulation ?

Le rôle écologique des gemmes dans la dispersion et la colonisation n'est pas établi : leur capacité de dissémination à moyenne ou longue distance reste hypothétique, et leur poids relatif par rapport aux spores est incertain.

Les facteurs déclenchant la différenciation en sporophytes ne sont pas complètement compris : humidité exceptionnelle, ouverture partielle du couvert, disponibilité locale en substrat, ou combinaison de facteurs microclimatiques et biologiques ?

Enfin, l'existence d'une possible dissociation des niches écologiques entre protonéma et sporophyte doit être confirmée par des observations quantitatives. Si les données actuelles suggèrent une tolérance plus large du protonéma (altitudes plus basses, substrats moins décomposés, diversité d'essences ligneuses), cette hypothèse reste à tester à grande échelle.

Ainsi, la biologie particulière de *Buxbaumia viridis* met en évidence une tension entre une phase gamétophytique potentiellement ubiquiste mais cryptique et une phase sporophytique rare, exigeante et très localisée. La prise en compte de ces deux phases apparaît aujourd'hui indispensable pour comprendre la distribution réelle de l'espèce et pour adapter les stratégies de conservation, traditionnellement fondées uniquement sur la présence du sporophyte.

Tableau 1 : Comparaison des niches écologiques supposées de *Buxbaumia viridis* selon le stade de développement. (les caractéristiques de la phase protonématique restent à confirmer par des études plus systématiques)

Caractéristiques	Protonéma propagulifère (gamétophyte)	Sporophyte
Visibilité	Agrégats brunâtres de gemmes, détectables mais souvent négligés ; identification encore récente	Capsule oblongue (0,5–0,7 cm), très visible mais rare et éphémère
Substrat	Bois moyennement décomposé (stades 2–3), parfois humus ou talus forestiers ; observations ponctuelles sur feuillus	Bois très décomposé (stades 4–5), troncs couchés partiellement enfouis
Essences hôtes	Conifères et feuillus (Abies, Picea, Pinus, Fagus, Fraxinus...)	Principalement conifères (Abies, Picea, Pinus)

Caractéristiques	Protonéma propagulifère (gamétophyte)	Sporophyte
Microclimat	Ombre, hygrométrie élevée mais tolérance apparemment plus large ; rôle du microclimat encore mal connu	Humidité constante, proximité de ruisseaux, canopée fermée assurant un microclimat stable
Altitude	Observé du collinéen au montagnard inférieur ; données encore fragmentaires	Étages montagnard et subalpin (600–1 800 m)
Distribution apparente	Largement répandue mais sous-détectée ; aire encore incertaine	Restreinte et fragmentée
Mode de reproduction	Asexuée (gemmes → persistance locale, dispersion probablement limitée) ; rôle dans la colonisation à évaluer	Sexuée ($4-6 \times 10^6$ spores/capsule → dispersion potentiellement longue distance)
Facteurs déclencheurs	Croissance lente, persistance en conditions variées ; différenciation en sporophytes mal comprise	Humidité exceptionnelle + ouverture partielle de la canopée semblent favorables
Menaces principales	Réduction du bois moyennement décomposé, récolte précoce des rémanents, perturbations sylvicoles	Dessiccation, herbivorie, raréfaction du bois très décomposé, fragmentation des forêts

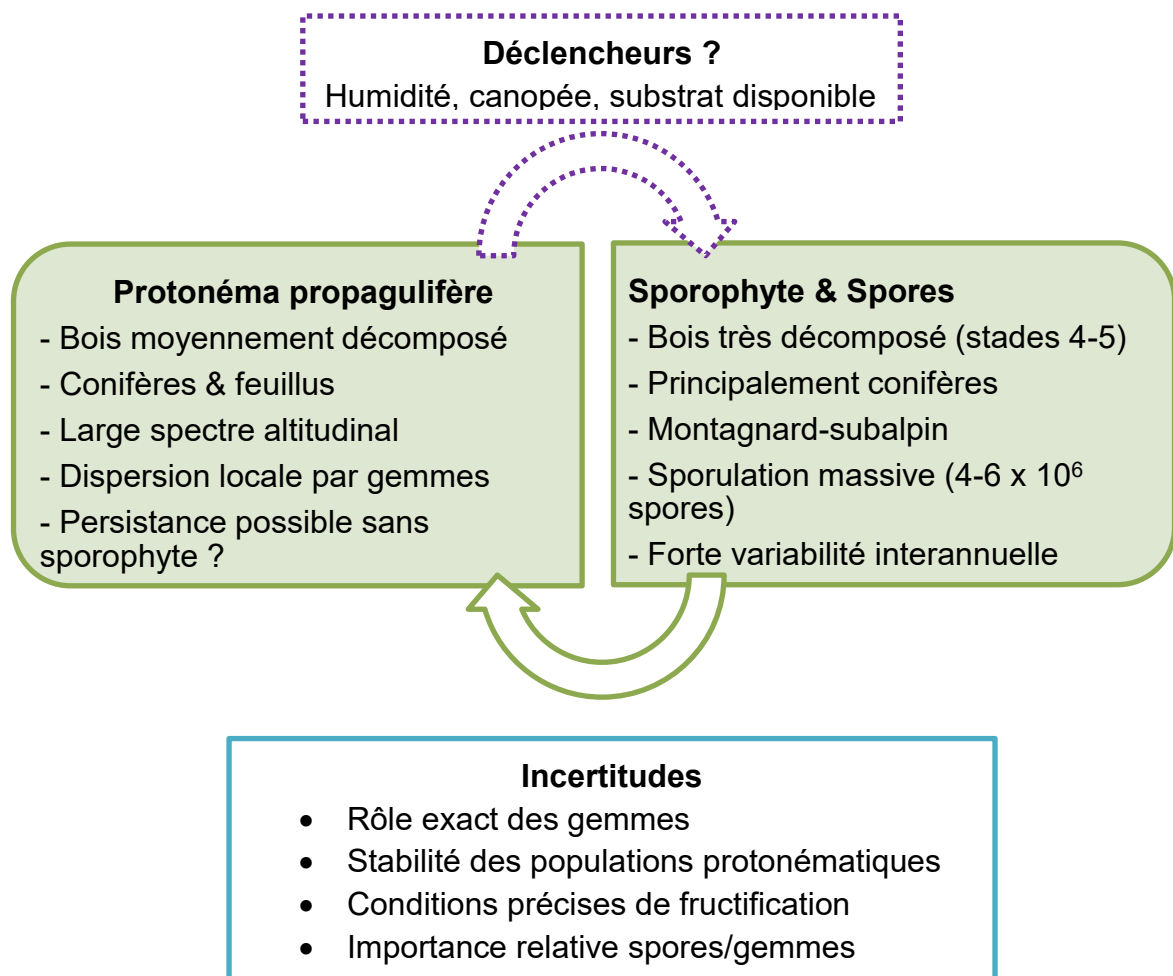


Figure 4 : Cycle de vie et niches écologiques supposées de *Buxbaumia viridis*

La compréhension de *Buxbaumia viridis* repose donc encore sur une vision incomplète de son cycle de vie. Si la découverte de la phase protonématique propagulifère modifie profondément notre perception de sa distribution et de son écologie, de nombreuses incertitudes persistent quant à son rôle, sa dynamique et ses conditions de fructification. L'étude conjointe des deux phases — gamétophytique et sporophytique — apparaît aujourd'hui comme une étape incontournable pour évaluer l'état de conservation de l'espèce et pour mieux évaluer l'importance réelle de ses populations à l'échelle locale et régionale.

3 MÉTHODE

3.1 Contexte et finalité de la mission

La mise en œuvre du projet de parc photovoltaïque de Séranon (06) entraîne un risque d'atteinte à *Buxbaumia viridis*, espèce protégée au titre de l'article L.411-1 du Code de l'environnement.

L'expertise vise à répondre à deux niveaux complémentaires d'analyse :

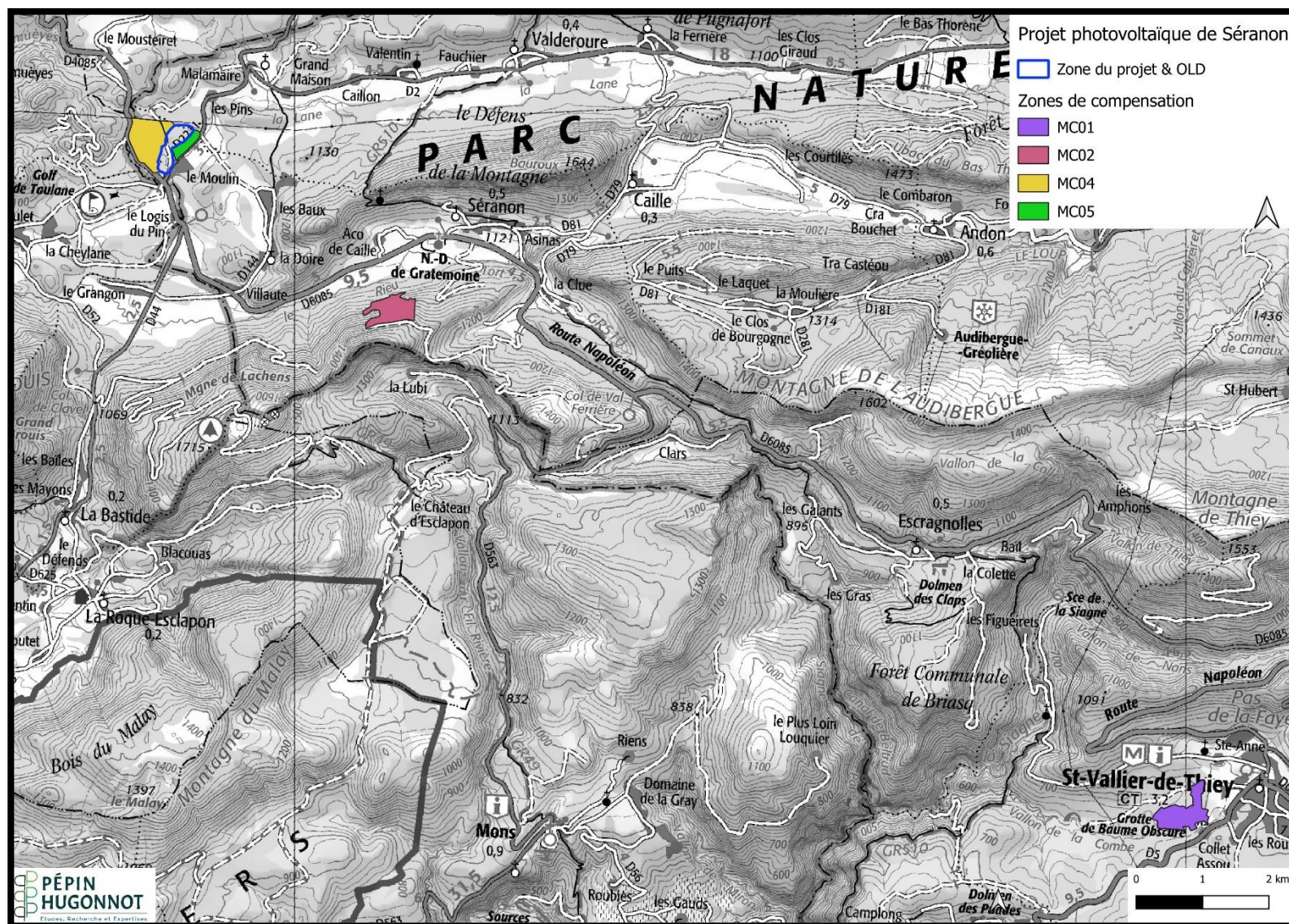
- **Objectif 1 – Impact local** : évaluer le risque direct d'atteinte à l'espèce dans l'emprise du projet et dans les unités de compensation prévues.
- **Objectif 2 – Importance régionale** : replacer la population locale dans son contexte biogéographique et évaluer si elle constitue un noyau isolé ou un élément fonctionnel d'une métapopulation plus large.

Ces objectifs conditionnent l'évaluation de la nécessité d'une dérogation (DEP, art. L.411-2) et l'identification de mesures compensatoires adaptées.

3.2 Objectif 1 – Évaluation du risque d'atteinte locale

3.2.1 Périmètres concernés

- **Parcelle résiduelle (OLD)**, incluse dans l'emprise initiale mais préservée des travaux.
- **Parcelles de compensation proches (MC04 et MC05) ;**
- **Parcelle de compensation MC01 ;**
- **Parcelle de compensation MC02.**



3.2.2 Dispositif technique de prospection

- **Méthode de parcours en Z (MC04 et MC05, OLD) :**
Prospection fine, selon un schéma régulier d'azimuts, couvrant des bandes de 3 à 5 m de largeur. Ce protocole permet une estimation robuste des effectifs présents et de la population détruite.
- **Méthode de parcours semi-aléatoires ciblés (MC01 et MC02) :**
Prospection orientée par la connaissance écologique de l'espèce, concentrée sur les microhabitats les plus favorables.

3.2.3 Microhabitats investigués

- **Pour les gamétophytes :** litière accumulée, sol nu, accumulations de débris organiques, bois mort (souches, fût, résidus ligneux etc.).
- **Pour les sporophytes :** mêmes microhabitats et bois mort humide, en décomposition avancée, souvent horizontal ou incliné, en sous-bois résineux frais et ombragés.



Figure 6 : Exemples de microhabitats prospectés

3.2.4 Déroulement pratique

- **Période** : deuxième quinzaine d'août 2025, période optimale pour observer simultanément gamétophytes et sporophytes.
- **Équipe** : Vincent Hugonnot & Florine Pépin (SARL Pépin-Hugonnot) ; Tom Coupeau (Bureau d'études Coupeau) ; Jean-Baptiste Gibout (Bureau d'études Gibout).
- **Outils** : IGN 1:25 000, orthophotographies BD ORTHO® (© IGN 2003), GPS Garmin eTrex Vista (précision < 2 m), loupe de terrain ×20.

3.2.5 Données collectées

- Coordonnées GPS (WGS84, décimales).
- Taille de la population (surface occupée, nombre de sporophytes).
- Description fine de l'habitat et du microhabitat (substrat, humidité, exposition, essence forestière dominante, etc.).

Ces données alimentent l'évaluation démographique comparative et permettent d'estimer l'importance de la population à plusieurs échelles spatiales.

3.3 Objectif 2 – Importance relative à l'échelle régionale

3.3.1 Organisation spatiale de la prospection

Un **maillage systématique** a été défini :

- 26 mailles carrées de 2 × 2 km (4 km² chacune) ;
- Périmètre total : 104 km², couvrant un rayon de 5 km autour du site d'implantation.

Ce choix repose sur la biologie de l'espèce et sa dynamique de métapopulation de type « patch turnover », avec dispersion des spores sur plusieurs kilomètres (Scheidegger & Werth 2009 ; Sérgio et al. 2013 ; Bergamini et al. 2009 ; Wagner et al. 2014).

Critères de sélection des zones prospectées

Dans chaque maille, les parcelles sont retenues en fonction :

- de la présence de formations forestières favorables (hêtraies, résineux, boisements mixtes) ;
- de la disponibilité en bois mort au sol et matière organique décomposée ;
- de conditions mésiques à humides à moyenne ou altitude favorable ;

- en évitant les vallées trop sèches ou trop artificialisées.

3.3.2 Modalités de prospection

- Parcours semi-aléatoires à pied, ciblant les microhabitats favorables (bois mort, souches, litière ligneuse humide) ;
- Recherche visuelle des gamétophytes et sporophytes ;
- Données collectées : présence/absence, coordonnées GPS, caractéristiques écologiques du microhabitat, estimation grossière des effectifs (par classes).

Les absences sont considérées comme des **non-détections** et non comme des absences absolues, du fait du caractère discret de l'espèce.

3.3.3 Estimation qualitative régionale

L'importance régionale est évaluée par :

1. **Fréquence d'occurrence** = proportion de mailles positives sur le total prospecté.
2. **Analyse spatiale** de la distribution des mailles positives pour identifier noyaux ou réseau de populations.
3. **Pondération par la surface d'habitat favorable** (via SIG).

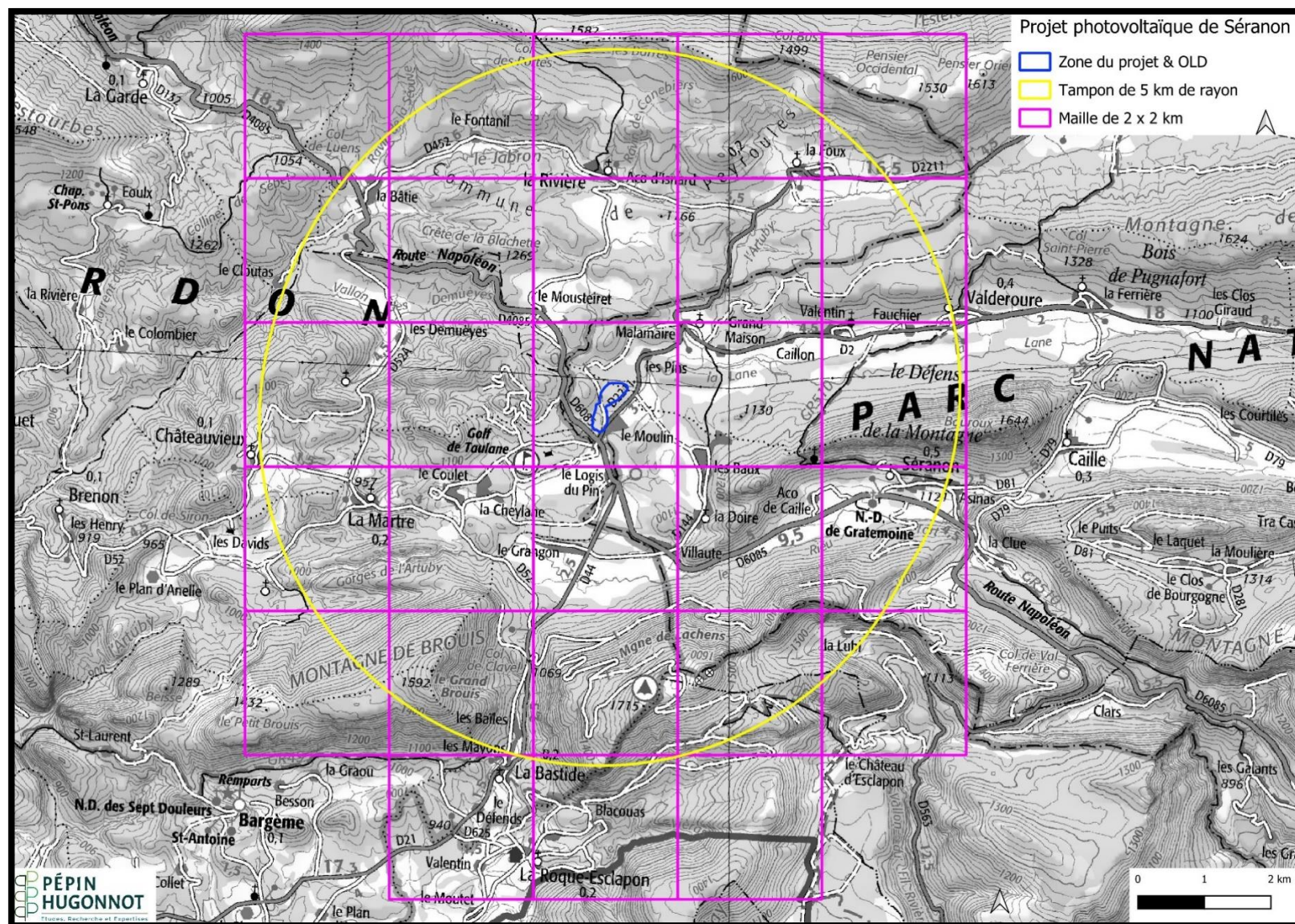


Figure 7 : Objectif 2 - Maillage de 2 x 2 km

3.3.4 Interprétation attendue

- **Population isolée** : peu de mailles positives, discontinuité écologique → forte valeur patrimoniale locale ;
- **Population intégrée à une métapopulation** : plusieurs mailles positives en continuité → rôle fonctionnel dans un réseau régional.

3.4 Gestion et intégration des données

- Les périmètres d'étude devront être transmis en format SIG (shapefile) ;
- Les observations historiques de *Buxbaumia viridis* dans le territoire du Parc naturel régional des Préalpes d'Azur devront être intégrées (CSV, Excel, SIG).

Ces données permettront :

- de croiser les observations récentes avec l'état initial ;
- de modéliser la rareté locale ;
- d'objectiver la significativité de l'impact du projet.

3.5 Référentiels taxonomiques

- Hodgetts, N.G. et al. (2020). *An annotated checklist of bryophytes of Europe, Macaronesia and Cyprus*.
- Hugonnot, V. & Leblond, M. (2022). *TAXREF v16*. MNHN, Paris.

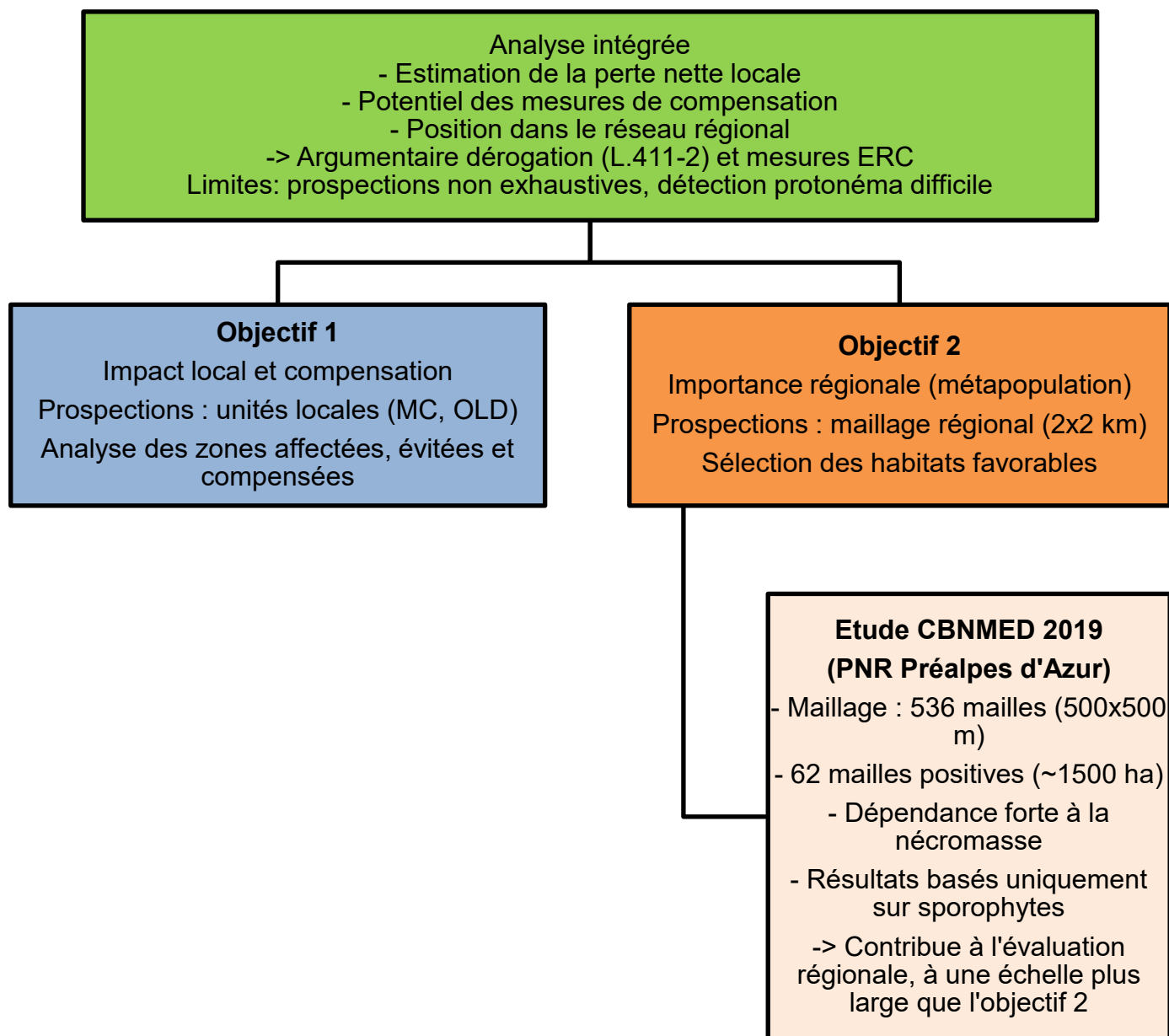


Figure 8 : Schéma conceptuel de l'expertise sur *Buxbaumia viridis*

4 RÉSULTATS

La parcelle de compensation MC01 ne comporte aucun individu de *Buxbaumia viridis*, ni au stade gamétophytique ni sporophytique. L'habitat est une chênaie sécharde en mosaïque avec des landines et des pelouses sèches qui se sont révélées défavorables à l'espèce ciblée.

La parcelle de compensation MC02 a fait l'objet de 4 sondages aléatoires (voir méthodologie). *Buxbaumia viridis* a été détecté dans chacun des sondages (une détection sporophytes + gamétophytes et trois détections du gamétophyte). (NB : ces données ne sont pas prises en compte dans le travail effectué à l'échelle de la population régionale).

4.1 Objectif 1 : impact local

Les prospections montrent que *Buxbaumia viridis* est présente dans l'ensemble des trois zones étudiées, avec des populations abondantes (Tableau 2). Les résultats révèlent toutefois des différences d'ampleur entre les sites :

- MC4 apparaît comme la zone la plus favorable, avec une surface protonématique (= gamétophyte) estimée à près de 6 000 cm² et un effectif de 103 sporophytes ;
- MC5 présente des valeurs nettement plus modestes : environ 500 cm² de protonéma et 35 sporophytes recensés ;
- La zone OLD se situe dans une position intermédiaire, avec une surface protonématique d'un peu plus de 2 200 cm² mais un effectif en sporophytes limité à 26.

Tableau 2 : Résultats des prospections effectuées dans les MC et les OLD

	MC4	MC5	OLD
Surface gamétophyte (cm²)	5964	516	2211
Nombre sporophytes	103	35	26

Les prospections réalisées dans les secteurs retenus (Figures 9 & 10) avaient pour objectif d'obtenir une estimation des effectifs présents. Pour approcher les effectifs

réels, les données ponctuelles recueillies ont donc été extrapolées à la surface favorable identifiée dans chaque unité.

L'évaluation de la population locale de *Buxbaumia viridis* a d'abord nécessité une sélection des zones prospectées, certaines surfaces ayant été écartées (surfaces défavorables) afin de ne pas biaiser les données. Les critères d'exclusion retenus sont :

- absence totale (ou presque totale) constatée de *Buxbaumia viridis* (sporophytes et gamétophytes) ;
- couverture forestière claire ou inexistante ;
- exposition dominante au sud ;
- pente relativement forte.

La surface effectivement prospectée a été estimée en fonction du temps et des moyens disponibles lors de l'étude. Pour ce calcul, nous avons considéré que l'itinéraire suivi par les prospecteurs, matérialisé par la trace GPS, correspondait à une bande de prospection d'environ 12 m de largeur. À l'intérieur de cette bande, la recherche a été conduite de manière soutenue et exhaustive, garantissant une couverture représentative des microhabitats favorables. Les surfaces ainsi obtenues sont récapitulées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Surfaces utilisées dans le calcul d'extrapolation

	MC4	MC5	OLD
Surface favorable à <i>Buxbaumia viridis</i> (ha)	19,3	4,3	17,02
Surface défavorable à <i>Buxbaumia viridis</i> (ha)	14,8	2,6	0
Surface réellement prospectée (ha)	3,4	1,4	1,8

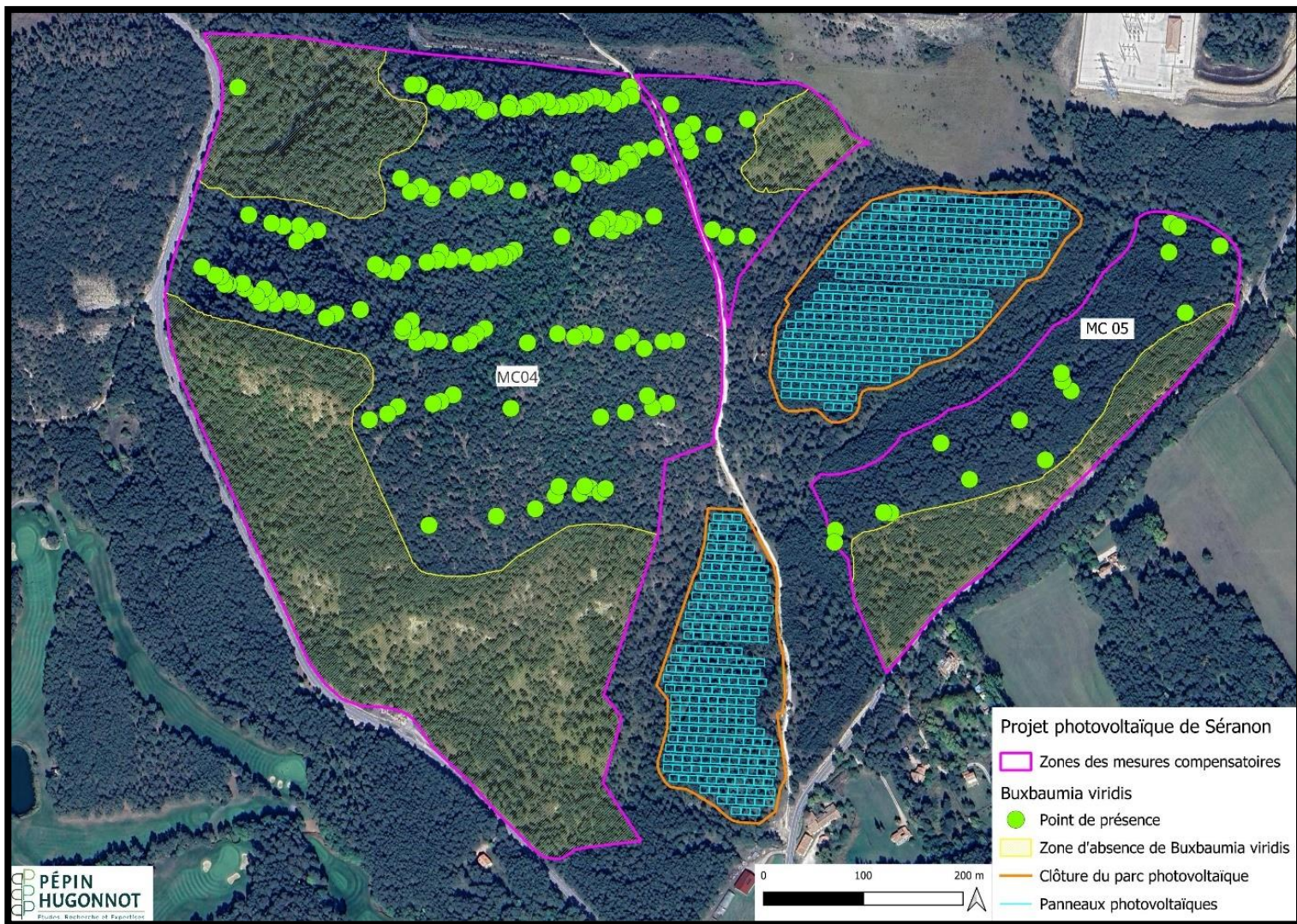


Figure 9 : Localisation de *Buxbaumia viridis* au sein de MC04 et MC05 (le secteur à l'extrême NW est considéré comme défavorable malgré la présence d'un individu isolé)

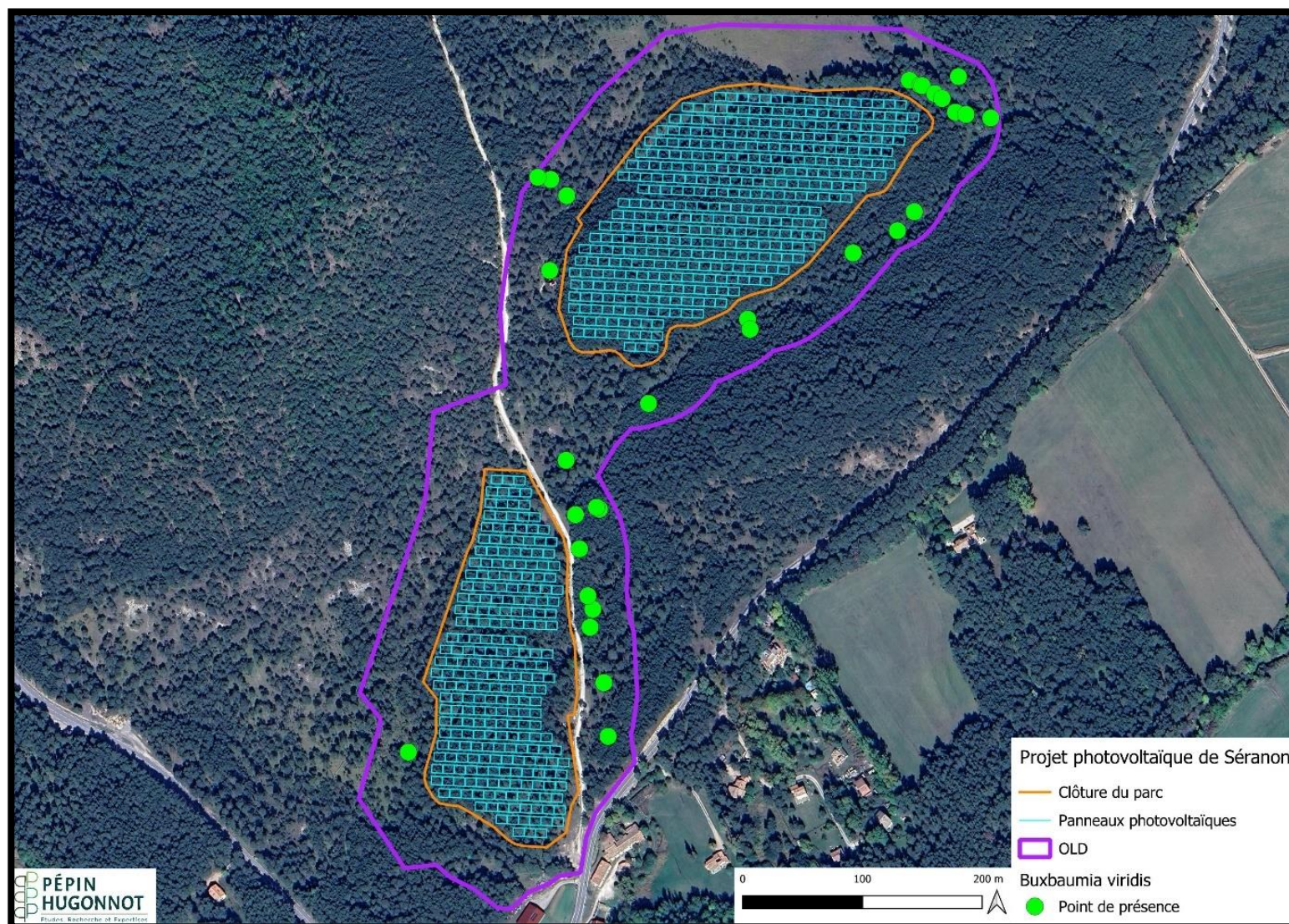


Figure 10 : Localisation de *Buxbaumia viridis* au sein des OLD

Les résultats de l'extrapolation sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Effectifs extrapolés de *Buxbaumia viridis* dans MC04, MC05 et les OLD

	Nombre de sporophytes extrapolés	Surface protonéma extrapolée (cm ²)
MC4	582	33 715
MC5	103	1 524
OLD	239	20 330

Ces résultats mettent en évidence des différences notables d'effectifs entre les trois unités étudiées :

- MC4 ressort nettement comme la zone la plus favorable. L'extrapolation conduit à une estimation d'environ 582 sporophytes et une surface protonématique avoisinant 34 000 cm². Cette abondance suggère un potentiel de régénération particulièrement élevé, conférant à cette unité un rôle central dans le maintien local de la population ;
- MC5, en revanche, apparaît plus marginale. L'extrapolation aboutit à environ 100 sporophytes et seulement 1 500 cm² de protonéma, ce qui traduit un potentiel nettement limité par la petite taille de la surface favorable ;
- OLD occupe une position intermédiaire. Bien que la densité observée y soit plus faible que dans MC4, la grande surface favorable permet d'extrapoler à près de 240 sporophytes et plus de 20 000 cm² de protonéma. Cette unité constitue donc un réservoir significatif, susceptible de contribuer à la stabilité de la population dans la durée.

Sur la base des extrapolations réalisées, les densités de *Buxbaumia viridis* dans les trois zones prospectées sont synthétisées dans la figure 11.

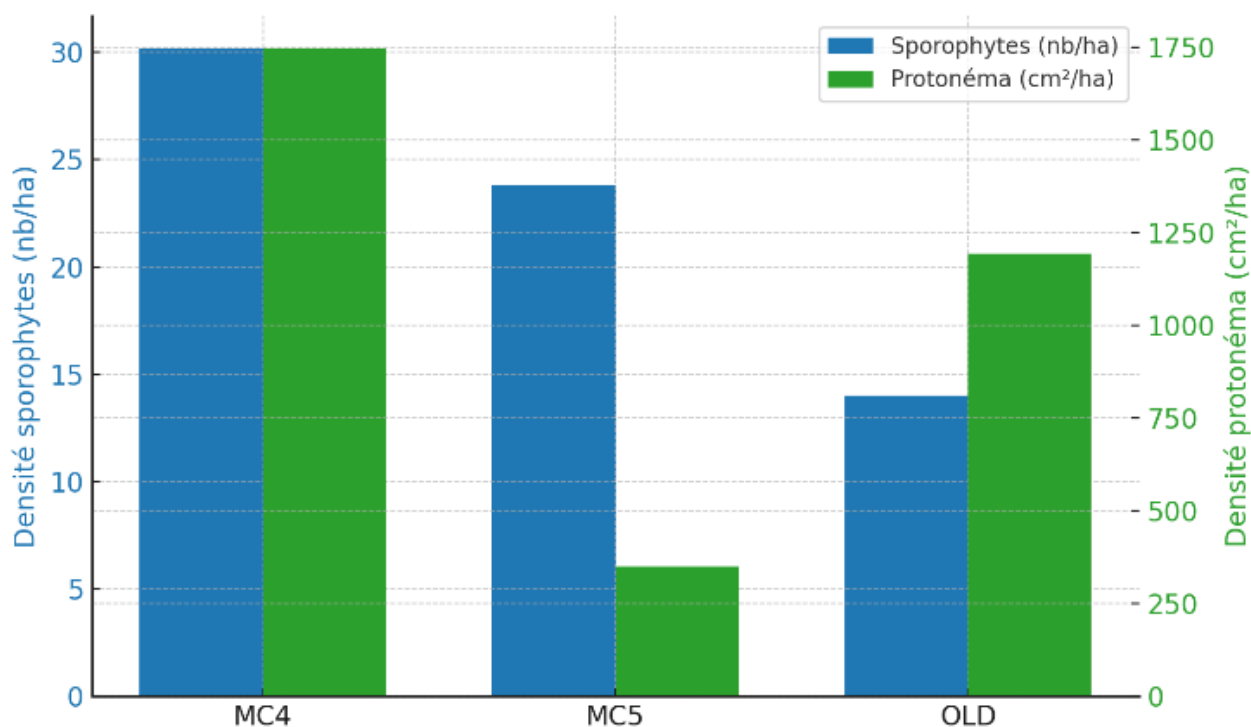


Figure 11 : Comparaison des densités extrapolées de sporophytes et de protonéma de *Buxbaumia viridis*

En moyenne, à l'échelle des trois unités prospectées, la densité extrapolée s'établit autour de 23 sporophytes/ha et 1 367 cm²/ha de protonéma. Ces valeurs moyennes traduisent une situation globalement très favorable, témoignant d'une forte densité de *Buxbaumia viridis* dans l'ensemble des unités étudiées. Les différences observées entre zones restent secondaires au regard de ce constat général.

4.2 Objectif 2 : importance régionale

4.2.1 Résultats concernant les données nouvellement acquises dans le cadre de la présente étude

L'interprétation des données concernant l'importance régionale doit être nuancée par plusieurs biais de sous-évaluation. En premier lieu, les cartes de prospection renseignent uniquement des présences et absences, sans information sur l'abondance (nombre de sporophytes, surface occupée par le protonéma). Or, compte tenu du caractère cryptique de l'espèce, les absences doivent être considérées comme des non-détections probables plutôt que comme de véritables absences. À cela s'ajoutent d'autres facteurs minimisant la fréquence apparente : un temps de prospection limité et, surtout, un décalage d'échelle entre la taille des mailles (4 km²) et la surface effectivement prospectée (quelques centaines de m²).

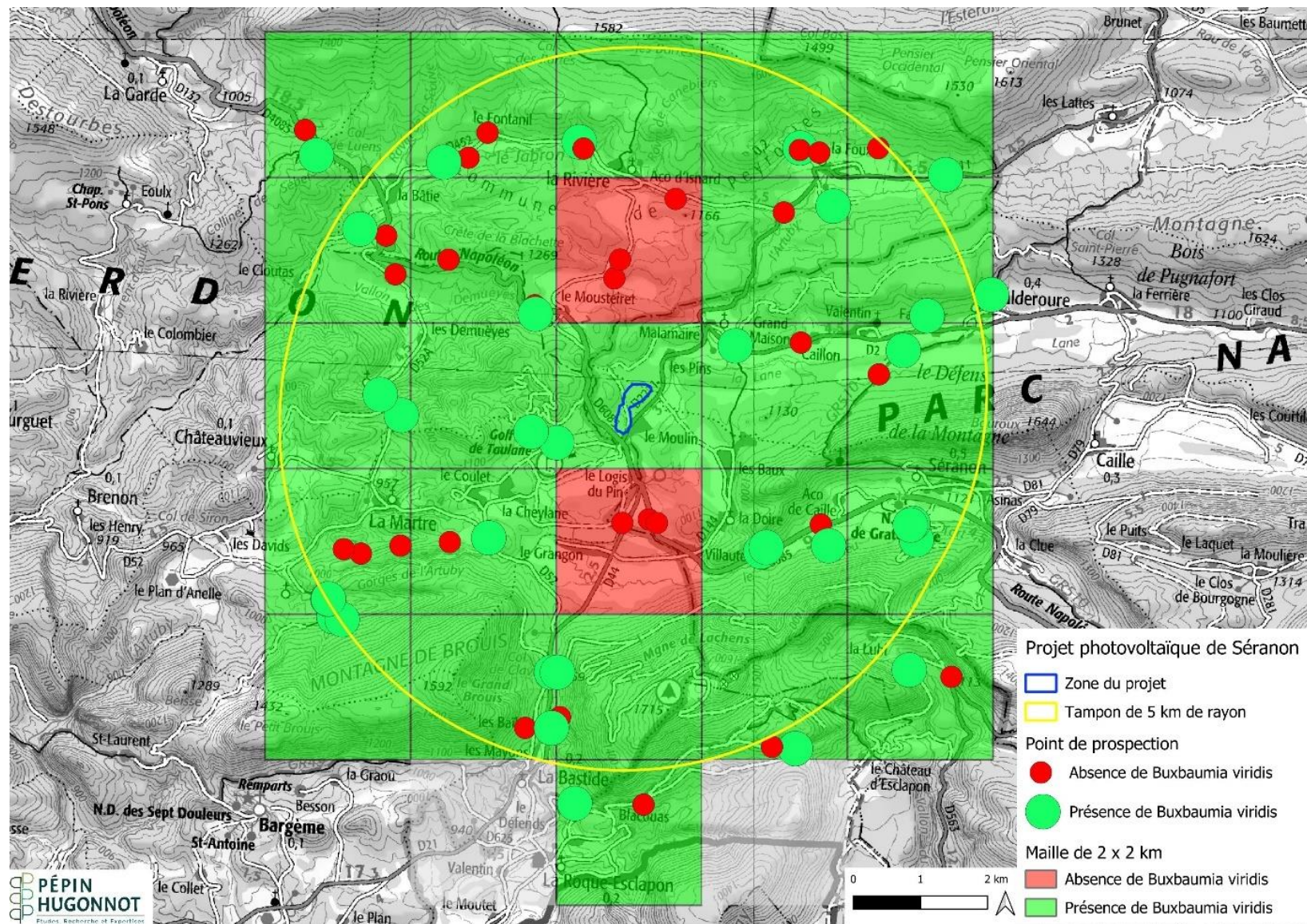


Figure 12 : Présence de *Buxbaumia viridis* dans un rayon de 5 km autour du projet photovoltaïque de Séranon

Malgré ces biais défavorables, les résultats obtenus révèlent une représentation très large de *Buxbaumia viridis* dans le secteur (Figure 12). Dans un rayon de 5 km autour du projet photovoltaïque de Séranon, 24 mailles sur 26 (92 %) se sont révélées positives, seules deux apparaissant négatives. Au total, 33 observations ont été recueillies, dont 28 de gamétophytes, une de sporophytes et quatre combinant les deux phases.

À l'échelle des mailles prospectées, les présences surpassent donc très nettement les absences, avec une distribution homogène sur l'ensemble du secteur. L'emprise du projet se situe ainsi au cœur d'un noyau de présence bien établi, avec plusieurs stations confirmées dans un rayon inférieur à 5 km.

4.2.2 Résultats concernant les données acquises précédemment

L'étude menée en 2019 par le CBNMed avait pour objectif d'améliorer la connaissance de la répartition de *Buxbaumia viridis* sur le territoire du Parc naturel régional des Préalpes d'Azur.

L'étude a porté sur un maillage de 536 mailles de 500 × 500 m définies comme favorables (ZD3). Parmi celles-ci, 52 ont été effectivement prospectées en 2019 lors de sept journées de terrain, en ciblant prioritairement les forêts riches en nécromasse. L'identification reposait exclusivement sur la recherche des sporophytes visibles, le stade protonématique n'ayant pas été pris en compte.

Les résultats montrent que 35 mailles sur 52 (soit 67 %) se sont révélées positives. En ajoutant les données antérieures, 62 mailles de présence avérée ont ainsi été recensées, représentant environ 1 500 ha et un total de 95 pointages (dont 48 nouveaux en 2019). Les stations s'échelonnent entre 467 et 1 510 m d'altitude, avec une moyenne de 1 265 m. Les effectifs stationnels apparaissent très variables : de 1 à 155 sporophytes selon les sites, avec une moyenne de 14,5 sporophytes par station.

Sur le plan écologique, *Buxbaumia viridis* est retrouvée principalement dans des forêts mixtes de résineux en ubac, sur des pentes d'environ 20° et sous un couvert arboré modéré (64 % en moyenne). L'espèce se montre fortement dépendante de la nécromasse en stade avancé de décomposition (troncs couchés, souches, grosses branches), souvent colonisée en partie par d'autres bryophytes. Les habitats les plus représentés sont les pinèdes de pin sylvestre (30 % des stations) et les sapinières ou hêtraies-sapinières mésophiles (45 %).

L'état de conservation est globalement favorable : 97,5 % des mailles visitées présentent des habitats jugés en bon état. Aucune menace directe n'a été identifiée. L'exploitation forestière, dès lors qu'elle ne s'accompagne pas de coupes rases et que les rémanents sont laissés sur place, semble même favoriser la disponibilité en bois mort et donc la présence de l'espèce.

Le rapport repose exclusivement sur l'observation des sporophytes, stade spectaculaire mais éphémère et très variable d'une année à l'autre. Les populations protonématiques propagulifères (gamétophyte) n'ont pas été recherchées, ce qui entraîne :

- une forte sous-estimation de la fréquence réelle de l'espèce ;
- une vision artificiellement fragmentée de sa distribution ;
- une absence de prise en compte du potentiel de régénération assuré par le protonéma ;
- une sous-estimation de sa niche écologique (en particulier sa niche altitudinale, l'espèce étant capable de coloniser des sites de moindre altitude que ceux échantillonnés dans le cadre de l'étude du CBN).

Malgré ces limites, l'étude a permis de doubler le nombre de données connues dans le PNR Préalpes d'Azur et de confirmer que *Buxbaumia viridis* y est abondante et largement répartie. Toutefois, en raison de la non prise en compte du protonéma, les effectifs réels et la dynamique locale de l'espèce sont probablement bien plus importants que ne le laissent supposer les chiffres basés uniquement sur les sporophytes.

5 DISCUSSION

5.1 Rappel des objectifs et limites d'interprétation

L'expertise devait :

- quantifier l'impact local potentiel du projet photovoltaïque dans l'emprise et les unités de compensation (Objectif 1) ;
- situer la population locale dans son contexte régional (Objectif 2), afin d'éclairer la nécessité d'une dérogation (art. L.411-2).

Deux limites structurantes encadrent l'interprétation :

- les prospections ne sont pas exhaustives ;
- la détection du protonéma reste difficile. Même si nos relevés intègrent les deux stades (gamétophytique et sporophytique), la sous-détection demeure possible ; en parallèle, l'étude régionale antérieure (CBNMed, 2019) ne considérait que les sporophytes, entraînant un biais de sous-estimation de l'occupation réelle.

L'analyse de l'effort de prospection met en évidence un contraste extrême entre les deux échelles étudiées. À l'échelle locale, l'investissement est de l'ordre de **1,38 heure par hectare**, soit environ **138 heures par km²**. À l'échelle régionale, en revanche, le temps accordé chute à seulement **0,00085 heure par hectare** (soit moins de quatre secondes) ou **0,085 heure par km²** (environ cinq minutes). L'effort par unité de surface est donc près de **1 600 fois plus élevé localement** qu'à l'échelle régionale. Ce déséquilibre conduit nécessairement à une **sous-estimation majeure des résultats régionaux**, les absences observées reflétant avant tout un déficit de prospection plutôt qu'une véritable absence de *Buxbaumia viridis*.

5.2 Objectif 1 — Impact local : une population abondante mais spatialement hétérogène

Les prospections montrent des populations abondantes dans les trois unités (MC4, MC5, OLD ; Tableau 1) et, après extrapolation à partir des surfaces favorables :

- MC4 = noyau principal (≈ 582 sporophytes extrapolés ; $\approx 33\,700$ cm² de protonéma).
- OLD = relais important (≈ 239 sporophytes ; $\approx 20\,300$ cm² de protonéma).
- MC5 = noyau secondaire (≈ 103 sporophytes ; $\approx 1\,500$ cm² de protonéma).

En densité, la moyenne s'établit autour de ≈ 23 sporophytes/ha et $\approx 1\,367$ cm²/ha de protonéma, ce qui traduit une situation globalement très favorable. Les différences entre zones existent (MC4 > OLD >> MC5 pour le protonéma), mais n'altèrent pas le

constat d'ensemble : l'emprise du projet s'inscrit dans un tissu local riche en habitats favorables.

5.3 Objectif 2 — Importance régionale : un noyau inscrit dans une métapopulation

Les données nouvellement acquises autour du projet (rayon 5 km) montrent 24/26 mailles positives (92 %), pour 33 observations (28 gamétophytes, 1 sporophytes, 4 mixtes). Malgré le biais de présence/absence (sans abondance) et l'effort de prospection limité par maille, la prépondérance des présences et leur répartition homogène indiquent que l'emprise du projet se situe au cœur d'un noyau de présence.

Les résultats antérieurs (CBNMed, 2019) — 67 % de mailles positives parmi 52 visitées, ≈ 1 500 ha de présence avérée dans le PNR —, bien que sous-estimant l'occupation (sporophytes seuls), convergent avec nos constats : dans le secteur, *Buxbaumia viridis* est abondante et largement répartie. L'ensemble soutient l'hypothèse d'une métapopulation fonctionnelle.

6 CONCLUSION GÉNÉRALE

Tant à l'échelle locale qu'à l'échelle régionale, l'ensemble des résultats converge vers le même constat : *Buxbaumia viridis* est abondante, largement répartie et intégrée au cœur d'une métapopulation fonctionnelle en excellent état de conservation. Les unités étudiées (MC4, MC5, OLD) participent pleinement à ce noyau, et les données régionales (MC2 et mailles étudiées) confirment la continuité et la robustesse des populations.

Il convient toutefois de rappeler que les deux zones d'emprise du parc ont déjà été totalement défrichées. Ces interventions ont nécessairement entraîné une réduction des effectifs observables et constituent un facteur de minimisation de la population locale, qui devait être initialement encore plus abondante.

Dans ce contexte, et malgré ces pertes, le risque d'atteinte à l'espèce *Buxbaumia viridis* ne peut être considéré comme caractérisé.

7 RÉFÉRENCES

Références spécifiques à *Buxbaumia viridis*

Advocat, A., Stoeher, BUXBAUMIA, & Untereiner, A. (1997). *Buxbaumia* Hedw. (Musci, Buxbaumiaceae), genre méconnu mais sans doute relativement bien représenté dans les Vosges. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Colmar*, 63, 89–93.

Bailly, G., & Gourvil, J. (2012). *Buxbaumia viridis* (DC.) Moug. & Nestl. *Fédération des Conservatoires botaniques nationaux*.

Guillet, A., Hugonnot, V., & Pépin, F. (2021). The habitat of the neglected independent protonemal stage of *Buxbaumia viridis*. *Plants*, 10(1), 83. <https://doi.org/10.3390/plants10010083>

Hugonnot, V., Pépin, F., & Bichon, V. (2023). Révision chorologique et écologique de *Buxbaumia viridis*, espèce protégée en France. *Carnets botaniques*, (128), 1–9. <https://doi.org/10.34971/aeqf-9m56>

Offerhaus, BUXBAUMIA, Bravet, P., & Le Berre, M. (2019). Inventaire et cartographie sur le territoire du Parc naturel régional des Préalpes d'Azur de l'espèce *Buxbaumia viridis*. Rapport inédit. Conservatoire botanique national méditerranéen de Porquerolles & Parc naturel régional des Préalpes d'Azur, 23 p.

Philippe, M. (2004). Rareté et écologie de *Buxbaumia viridis* (Bryophytes, Buxbaumiaceae) en Rhône-Alpes. *Le Monde des Plantes*, 482, 26–28.

Philippe, M. (2006). Un cas de rareté paradoxale : *Buxbaumia viridis* (Musci, Bryales) en Franche-Comté. *Nouvelles Archives de la Flore Jurassienne*, 3, 23–28.

Philippe, M. (2007). Actualisation des données sur la distribution de la mousse *Buxbaumia viridis* (Moug. ex Lam. & DC.) Brid. ex Moug. & Nestl. (Bryophyta, Bryales, Buxbaumiaceae) en France. *Journal de Botanique de la Société Botanique de France*, 38, 3–10.

Wiklund, K. (2004). Ecology of *Buxbaumia viridis*, a moss species of conservation concern (Doctoral dissertation). Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå. Retrieved from <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:164883/FULLTEXT01.pdf>

Références générales sur métapopulations et dispersion (cryptogames)

Bergamini, A., Scheidegger, C., Stofer, S., Carvalho, P., Davey, S., Dietrich, M., ... Watt, A. (2009). Towards a standardised protocol for monitoring regional trends of red-listed lichen species. *Biodiversity and Conservation*, 18, 3545–3560. <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9650-9>

Scheidegger, C., & Werth, S. (2009). Conservation strategies for lichens: insights from population biology. *Fungal Biology Reviews*, 23(3), 55–66. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2009.10.003>

Sérgio, C., Figueira, R., Draper, D., Menezes, R., & Sousa, A. J. (2013). Modelling bryophyte distribution based on ecological information for extent of occurrence assessment. *Biodiversity and Conservation*, 22, 1537–1551. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0480-4>

Wagner, H. H., Werth, S., Kalwij, J. M., Bolli, J. C., & Scheidegger, C. (2014). Modelling forest recolonization by an epiphytic lichen using a landscape genetic approach. *Ecological Applications*, 24(6), 1208–1216. <https://doi.org/10.1890/13-0417.1>