



RAPPORT • 2026



**CONSERVATOIRE
BOTANIQUE NATIONAL
MÉDITERRANÉEN**

CARACTERISATION DES PELOUSES CALAMINAIRES (6130)

**CANTU Lise, ANDRIEU Frédéric & ARGAGNON
Olivier**



- 1 -



Sommaire

PARTIE 01	4
INTRODUCTION	4
LES PELOUSES CALAMINAIRES	5
REPARTITION DES PELOUSES CALAMINAIRES.....	6
RATTACHEMENT AUX TYPOLOGIES	8
LES ASSOCIATIONS FRANÇAISES DANS LES CAHIERS D’HABITAT	12
UNE VISION CONTEMPORAINE	12
DYNAMIQUE ET CONSERVATION	14
ÉTAT DE CONSERVATION DES PELOUSES CALAMINAIRE EN EUROPE	15
PARTIE 02	17
MATERIEL ET METHODE	17
ZONE D'ETUDE ET PLAN D’ECHANTILLONNAGE	17
PLAN DE PROSPECTION.....	17
RELEVES PHYTOSOCIOLOGIQUES.....	19
PARTIE 03	21
RESULTATS.....	21
PARTIE 04	29
DISCUSSION ET PERSPECTIVES	29
PARTIE 05	32
BIBLIOGRAPHIE.....	32
PARTIE 06	36
ANNEXES.....	36

Table des figures

Figure 1 : Répartition géographique de l'ordre des <i>Violetalia calaminariae</i> en Europe telle que décrite par Ernst dans son ouvrage de 1974.	10
Figure 2 : Répartition française de l' <i>Armerion halleri</i> et du <i>Festucion supinae</i> d'après Lafon et al. (2024). Légende des cartes : vert foncé, syntaxon présent ; vert clair, syntaxon potentiellement présent ; gris : syntaxon (préssumé) absent ou sans information.....	13
Figure 3: Grille d'évaluation de l'état de conservation des pelouses calaminaire en Allemagne (Lanuv NRW, 2025).	15
Figure 4 : État de conservation de l'HIC 6130 au niveau européen. Légende : vert, habitat en bon état de conservation ; orange, habitat nécessitant un changement de gestion ou de politique pour retrouver un état favorable de conservation ; rouge, habitat en mauvais état de conservation.	16
Figure 5: Délimitation de la zone d'étude	17
Figure 6 : Symbologie de la carte géologique. A gauche, la présence d'un terril est représentée par un polygone blanc rayé avec une croix à l'intérieur ; à droite, la localisation d'un site d'extraction minière est indiquée, précisant les métaux extraits.	19
Figure 7 : Représentation des surfaces de recouvrements pour chaque valeur	20
Figure 8 : Localisation des mines sur la zone d'étude ainsi que des zones de présence de certains minerais.....	21
Figure 9 : Localisation de trois espèces pouvant se retrouver sur des pelouses calaminaire.	22
Figure 10 : Localisation des relevés phytosociologiques et zones à fort potentiel.....	23
Figure 12 : Pelouse calaminaire aux alentours de l'ancienne mine du Mazel	25
Figure 13 : Pelouse calaminaire aux Avinières	25
Figure 14 : Pelouses calaminaire sur le site d'extraction de la mine des Malines	26
Figure 15 : Pelouse calaminaire aux alentours d'une mine sur la commune de Montdardier.....	26
Figure 16 : Pelouse calaminaire sur un ancien terril de la Bourbouille.....	27
Figure 17 : Pelouse calaminaire sur un terril de l'ancienne mine Puymorens	27

Table des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des sites échantillonnés, ayant fait l'objet d'un relevé phytosociologique	24
---	----

INTRODUCTION

Le réseau Natura 2000 constitue le principal dispositif mis en place par l'Union européenne pour préserver la biodiversité. Il repose sur un ensemble de sites sélectionnés afin de protéger des habitats et des espèces représentatifs de la diversité écologique européenne. En France, chaque site est piloté par une structure animatrice, généralement portée par une collectivité territoriale, chargée de mettre en œuvre les actions de gestion et de conservation. Le cadre réglementaire de ce réseau est défini par deux directives européennes : la directive « Oiseaux » 2009/147/CE et la directive « Habitats, faune, flore » 92/43/CEE. Cette dernière recense, dans son annexe I, 233 habitats d'intérêt communautaire (HIC), pour lesquels les États membres doivent assurer le maintien dans un état de conservation favorable. À ce titre, l'état de conservation de ces habitats est évalué tous les six ans et transmis à la Commission européenne. Afin de préciser la définition de ces habitats, des descriptions succinctes sont proposées dans le Manuel d'interprétation de la Commission européenne (European commission 2013). En complément, la France a élaboré entre 2001 et 2005 une interprétation nationale détaillée à travers les Cahiers d'habitats (Bensettiti et al. 2001, 2002, 2004a, 2004b, 2005a, 2005b). Ce travail a ensuite été affiné et révisé par un groupe d'experts (Gaudillat et al., 2018). Les critères de définition des habitats reposent le plus souvent sur la classification phytosociologique (Rodwell et al., 2018), garantissant une approche scientifique homogène à l'échelle française.

La mise en œuvre efficace de la directive « Habitats, faune, flore » repose avant tout sur une connaissance précise des habitats naturels : leur répartition, leurs caractéristiques écologiques et leur état de conservation. Cette connaissance constitue un préalable indispensable pour identifier les enjeux, définir des priorités d'action pertinentes et adapter les mesures de gestion, assurant ainsi une conservation efficace des habitats d'intérêt communautaire à différentes échelles. Dans ce contexte, et face à la dégradation des habitats et à l'érosion de la biodiversité, la DREAL Occitanie a engagé une démarche visant à hiérarchiser les actions de conservation des habitats d'intérêt communautaire (HIC) dans le cadre du réseau Natura 2000. Cette mission, confiée au Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées (CBNPMP) et au Conservatoire botanique national méditerranéen (CBNMed), repose sur trois objectifs complémentaires : la préservation des habitats en bon état, le maintien de leur équilibre par une gestion adaptée et la restauration des milieux dégradés. Pour définir les priorités, plusieurs critères ont été mobilisés, tels que l'intérêt écologique et patrimonial, le niveau de menace, la responsabilité régionale, la dépendance aux pratiques humaines, la capacité de restauration et l'état de conservation. Cette analyse a permis d'établir trois catégories d'action (préservation, gestion active, restauration), associées à un système de notation facilitant la priorisation des interventions. Sur la base de cette hiérarchisation et du niveau de connaissance de ces habitats d'intérêt communautaire, les conservatoires de la région Occitanie mènent chaque année un suivi ciblé sur un habitat prioritaire, sélectionné au regard de cette hiérarchisation, afin d'améliorer les connaissances et d'adapter les stratégies de gestion.

Pour l'année 2025, l'habitat 6130 - pelouses calaminaires du *Violetalia calaminariae* a été retenu, en raison de son positionnement dans plusieurs catégories de priorisation, traduisant des enjeux à la fois de maintien, de gestion et de restauration. Ce choix est également motivé par un déficit

de connaissance, particulièrement marqué dans l'ancienne région Languedoc-Roussillon. Bien que d'un grand intérêt écologique, ces pelouses demeurent encore largement méconnues à l'échelle nationale et pour la région Occitanie les Cahiers d'habitats précisent qu'elles restent « encore très peu connues à ce jour » (Bensettiti *et al.*, 2002). À l'inverse, les pelouses calaminaires du nord de la France ont fait l'objet d'études depuis plusieurs décennies, bénéficiant d'un corpus de données floristiques et écologiques conséquent. Dans la région Occitanie, les connaissances sont relativement plus avancées dans les Pyrénées centrales et occidentales, grâce aux travaux du CBNPMP, mais demeurent fragmentaires dans les Pyrénées orientales et en zone méditerranéenne. Dans l'ancienne région Languedoc-Roussillon, bien que leur présence potentielle soit mentionnée, aucun inventaire spécifique n'a été réalisé et leur localisation reste incertaine, traduisant un déficit notable de connaissance.

Dans ce contexte, la présente étude vise à améliorer la compréhension et la valorisation des pelouses calaminaires de la région Occitanie, en proposant une synthèse des connaissances existantes, complétée par un travail de terrain et une analyse des données sur l'ancienne région Languedoc-Roussillon. L'objectif final est de fournir des outils et des critères clairs pour reconnaître l'habitat 6130 sur le terrain, en s'appuyant sur ses caractéristiques floristiques, écologiques et paysagères, afin de faciliter son identification et sa gestion par les acteurs locaux et les gestionnaires d'espaces naturels.

LES PELOUSES CALAMINAIRES

Les pelouses calaminaires s'installent sur des affleurements naturels serpentiniques ou métallifères ainsi que sur des substrats anthropiques tels que les terrils et haldes minières, où la forte teneur en métaux lourds favorise des cortèges spécialisés constitués de petites plantes herbacées et inhibe le développement des autres, bloquant ainsi la succession végétale à un stade pionnier de type pelouse. Les pelouses calaminaires abritent une flore vasculaire adaptée aux sols enrichis en métaux lourds (Bizoux, 2006). Parmi les espèces indicatrices figurent *Armeria muelleri*, *Armeria arenaria* (anciennement *A. plantaginea*), *Pritzelago alpina* (= *Hornungia alpina*), *Agrostis capillaris*, *Silene vulgaris* subsp. *humilis*, *Minuartia verna* var. *hercynica*, *Galium mollugo*, des fétuques du groupe *Festuca* sect. *Festuca*, des *Thymus* du groupe *serpyllum*, *Noccaea caerulea* subsp. *calaminare*, *Holcus lanatus* et *Rumex acetosa* (Bensettiti *et al.*, 2002). Il est important de noter que, pour la plupart de ces taxons, les variétés, écotypes et sous-espèces ont été historiquement décrits à partir de populations présentes sur substrats métallifères, sans distinction morphologique nette (Prud'homme, 2005). Seule la flore de Belgique (Lambinon *et al.*, 1992) propose une différenciation détaillée pour certains d'entre eux. Bien que les distinctions écotypiques ne soient plus reconnues dans la taxonomie actuelle et que les espèces mentionnées dans la littérature ne soient pas strictement confinées aux pelouses calaminaires, certaines d'entre elles restent de forts indicateurs écologiques des sols métallifères sur lesquelles les pelouses calaminaires évoluent. Leur présence, ou leur association inhabituelle, peut révéler la présence de sols métallifères. C'est le cas, par exemple, de *Noccaea caerulea*, qui se développe préférentiellement sur des substrats riches en zinc et en plomb, colonisant des déblais miniers mais aussi des éboulis (Prud'homme, 2005). De même, *Armeria muelleri*, endémique des Pyrénées orientales et typiquement associée aux pelouses alpines et subalpines métallifères (Donadille, 1969, 1980), illustre cette dynamique : bien que non exclusive aux pelouses calaminaires, leur présence ou leur abondance anormale dans un secteur donné peut signaler un contexte métallifère. Ces taxons, bien que non strictement exclusifs à ces milieux, témoignent de la

présence de métaux lourds dans le sol. D'autres espèces présentent une tolérance plus large, occupant aussi bien des substrats métallifères que siliceux, sablonneux ou rocailleux : *Armeria arenaria* et *Pritzelago alpina* en sont des exemples (Tutin *et al.*, 1964 ; Donadille, 1985). De même, *Agrostis capillaris*, *Silene vulgaris* et *Minuartia verna* se rencontrent également sur des pelouses alpines ou subalpines pauvres, non métallifères (Tutin *et al.*, 1964 ; Lambinon *et al.*, 1992). Dans ce contexte, *Silene vulgaris* est intéressante : bien qu'espèce commune, sa présence dominante ou exubérante sur substrat calaminaire constitue un indicateur diagnostique de la contamination métallique, car elle y remplace souvent les espèces concurrentes absentes des sols enrichis en zinc ou en plomb. Enfin, des taxons ubiquistes comme *Galium mollugo*, *Holcus lanatus*, *Rumex acetosa*, les fétuques du groupe *Festuca* et les *Thymus* du groupe *serpyllium* tolèrent ponctuellement les métaux lourds, mais demeurent des espèces peu spécifiques, observables dans une grande variété de milieux (Lambinon *et al.*, 1992 ; Tutin *et al.*, 1964).

Les lichens et bryophytes métallotolérants, bien que relativement peu étudiés, constituent de bons indicateurs écologiques du potentiel métallifère de leur substrat. Leur tolérance aux conditions abiotiques extrêmes, aux fortes concentrations en métaux lourds, à la faible disponibilité en nutriments, à la dessiccation, ainsi que leur capacité à accumuler et stocker les métaux dans leurs tissus, en font des bioindicateurs précieux pour évaluer le degré de contamination et l'état écologique des milieux (Bensettiti *et al.*, 2002 ; Prieto *et al.*, 2017). Plusieurs espèces de lichens et de bryophytes métallotolérantes sont d'ailleurs mentionnées dans les Cahiers d'habitats comme espèces indicatrices caractéristiques de ces communautés végétales (Bensettiti *et al.*, 2002). Cependant, en l'état actuel des connaissances, leur présence isolée ne suffit pas à diagnostiquer un habitat calaminaire, car beaucoup présentent une amplitude écologique relativement large et peuvent coloniser d'autres substrats pauvres ou perturbés.

REPARTITION DES PELOUSES CALAMINAIRES

Une cartographie continentale récente des alliances végétales (Preislerová *et al.*, 2022) montre que la répartition des communautés végétales de l'ordre des *Violetalia calaminariae* dont relèvent les pelouses calaminaires est fortement fragmentée en Europe, concentrée dans quelques foyers principaux : le massif schisteux Rhénan, la Wallonie, les Cévennes, les Pyrénées, les Alpes, le Royaume-Uni et les Balkans. Cette répartition éclatée traduit la dépendance de ces communautés à des conditions édaphiques extrêmes et confirme leur statut d'habitats rares et patrimoniaux. À l'échelle européenne, 94 sites Natura 2000 mentionnent la présence de pelouses calaminaires (European Environment Agency, 2025). Ils sont répartis comme suit : 7 sites en Autriche, 5 en Belgique, 37 en Allemagne, 6 en France, 5 en Irlande, 29 en Italie, 1 aux Pays-Bas, 4 en Pologne et 1 en Slovénie (European Environment Agency, 2025a). Aucun site Natura 2000 ne référence cette végétation au Royaume-Uni, mais de nombreuses occurrences situées en dehors du réseau Natura 2000 sont connues dans ce pays, le Royaume-Unis compterait approximativement 29% des pelouses calaminaires européennes. Au Royaume-Uni, les pelouses métallifères se rencontrent principalement dans les Highlands écossais, au Pays de Galles et dans le nord de l'Angleterre, sur des sites non retenus par Natura 2000, tels que Caenlochan, Coyles of Muick et Gang Mine (JNCC, 2025a, 2025b). En Italie, elles sont présentes sur plusieurs massifs du Piémont, de Ligurie et d'Émilie-Romagne, (EUNIS, 2025). Aux Pays-Bas, les pelouses calaminaires se situent principalement dans la vallée du Geuldal, le long des versants anciennement minéralisés de la province du Limbourg (EUNIS, 2025). En Pologne, elles sont bien représentées dans la région de Silésie-Cracovie, autour de Tarnowskie Góry, Bytom, Zawiercie, Olkusz et Chrzanów, où elles

colonisent d'anciens sites miniers et déblais métallifères (EUNIS, 2025). En Slovénie, elles sont connues notamment dans la région de Žerjav, également appelée *Dolina smrti* ("vallée de la mort"), zone historiquement marquée par l'exploitation du plomb et du zinc. En Allemagne, les pelouses métallifères se répartissent en Rhénanie-Palatinat, Rhénanie-du-Nord–Westphalie, Basse-Saxe, Saxe-Anhalt et Saxe, où elles couvrent des sols enrichis en zinc et plomb, souvent liés à d'anciennes zones minières (European Environment Agency, 2025). En Belgique, les haldes calaminaires de Plombières et de la vallée de la Gueule constituent les principaux sites historiques et écologiques de ce type d'habitat (OFB, 2022 ; EUNIS, 2025). En Autriche, de nombreuses pelouses métallifères sont présentes dans la partie nord-est du pays, notamment dans les zones de Styrie et de Basse-Autriche, tandis qu'en Irlande, elles se rencontrent principalement dans le sud du territoire, sur des sols naturellement riches en métaux lourds (JNCC, 2025).

En France, trois principaux foyers de présence des végétations calaminaires sont identifiés à l'heure actuelle. Le premier se situe dans le Nord–Pas-de-Calais, notamment à Mortagne-du-Nord et dans la plaine de la Scarpe et de l'Escaut, où les pelouses se développent aujourd'hui sur d'anciens terrils et haldes issus de l'exploitation du plomb et du zinc. Le second foyer est localisé dans les Cévennes (Mont Lozère, gorges de la Vis et de la Virenque), également sur d'anciens sites miniers où la végétation métallotolérante s'est installée sur les déblais et substrats enrichis en métaux lourds. Enfin, les Pyrénées constituent le troisième secteur d'importance : les pelouses montagnardes et subalpines y colonisent d'anciens affleurements métallifères naturels exploités dès l'époque moderne. Ces zones, historiquement connues pour leurs filons de minerais localisés grâce à la végétation indicatrice, témoignent d'un continuum entre stations naturelles et substrats anthropisés. Aujourd'hui, les pelouses calaminaires connues se développent sur des sols anciennement exploités. Les Alpes comportent des sols métallifères (notamment enrichis en zinc et en plomb) liés à l'ancienneté des exploitations minières. Ces substrats peuvent potentiellement héberger des pelouses calaminaires comme elles semblent être mentionnées sur le site Natura 2000 des Contamines-Montjoie en Haute-Savoie. Les Alpes constituerait alors un quatrième foyer, encore très peu étudié, qu'il conviendrait de mieux documenter.

En France, ces pelouses sont mentionnées sur 6 sites Natura 2000 :

- FR3100504 – Pelouses métallifères de la plaine de la Scarpe (Nord).
- FR3100504 – Pelouses métallifères de Mortagne-du-Nord (Nord).
- FR3100504 – Vallée de l'Isard (Ariège).
- FR7300923 – Moun Né de Cauterets, pic de Cabaliros (Hautes-Pyrénées)
- FR8201698 – Contamines-Montjoie – Miage – Tré-la-Tête (Haute-Savoie).
- FR910013 – Gorges de la Vis et de la Virenque (Gard)

Dans les Pyrénées centrales, deux grands types de minéralisations ont été identifiés : d'une part, les gisements d'origine ordovicienne, riches en zinc sous forme de bandes de blende exploitables, et d'autre part, ceux d'origine dévonienne, plus pauvres et donc moins exploités. De nombreux sites situés dans les départements de l'Ariège, de la Haute-Garonne et des Hautes-Pyrénées témoignent encore aujourd'hui de cette histoire minière. Certains de ces sites abritent des amas formés par les résidus de tri et de lavage des mines métalliques, appelés haldes, ainsi que d'autres substrats contaminés propices à l'émergence de pelouses métallifères. Des stations confirmées de végétation calaminaire sont connues dans plusieurs vallées des Pyrénées centrales : en Haute-Garonne et en Ariège, les anciennes exploitations du Mail de Bulard, du Mail de Cristal et de la

vallée d'Araing hébergent encore ces pelouses rares. Dans les Hautes-Pyrénées, les secteurs de Pierrefitte et d'Estaing présentent également des communautés similaires (Prud'homme, 2005). Du côté des Pyrénées-Orientales, aucune étude ni prospection ciblée ne semble avoir été menée sur ces milieux à ce jour. Cependant, l'importance du passé minier de ce département, notamment dans les massifs des Aspres, du Canigou et de la vallée du Tech, laisse supposer un fort potentiel pour la présence de végétations métallophytes, voire de pelouses calaminaires relictuelles. Plus largement, l'ensemble de l'ancienne région Languedoc-Roussillon présente un potentiel élevé pour l'expression de ce type d'habitat, en raison d'une combinaison de facteurs favorables : richesse floristique incluant plusieurs taxons métallophytes connus, traces d'anciennes exploitations de métaux lourds (plomb, zinc, cuivre) et sols localement contaminés par ces éléments. Dans les Cévennes, des pelouses calaminaires sont connues, car recensées soit dans la littérature scientifique, soit dans des documents de gestion de sites Natura 2000. Dans le Gard, elles sont mentionnées sur le site Natura 2000 « Gorges de la Vis et de la Virenque », ainsi que dans les *Cahiers d'habitats*. En Lozère, ces pelouses ne sont signalées que dans la littérature, notamment dans les *Cahiers d'habitats* et dans l'ouvrage d'Ernst (1974). Toutefois, aucune étude récente n'a été menée et leur présence actuelle n'est pas confirmée.

RATTACHEMENT AUX TYPOLOGIES

Dans la typologie EUNIS de 2013 (Louvel et al., 2013), les pelouses calaminaires sont classées au sein de l'unité E1.B, correspondant aux Heavy-metal grasslands (Pelouses sur sols riches en métaux lourds) et référencées sous le code R1S dans la typologie de 2025 (Gayet et al., 2025), qui décrit des prairies rases ouvertes à forte composante métallophyte. Dans le Manuel d'interprétation des habitats de l'Union européenne (European commission 2013), cet habitat est mis en correspondance avec les habitats paléarctiques, codes 34.2 (Heavy metal grasslands), 34.22 (Calaminarian grasslands), ainsi que 34.25 (Alpine heavy metal communities). Il établit également des correspondances avec des classifications nationales. Ainsi au Royaume-Uni, la végétation calaminaire est intégrée au National Vegetation Classification (NVC) sous le code OV37, correspondant à la communauté à *Festuca ovina*–*Minuartia verna* (Rodwell, 1992). La NVC est un système normalisé permettant de décrire, classer et cartographier tous les types de végétation du Royaume-Uni (Angleterre, Écosse, Pays de Galles et Irlande du Nord). Elle a été développée dans les années 1970–1990 dans le cadre du National Vegetation Survey et publiée dans la série d'ouvrages British Plant Communities (Rodwell, 1991–2000). Elle est aujourd'hui gérée et mise à jour par le Joint Nature Conservation Committee (JNCC). En Allemagne, les pelouses calaminaires sont désignées sous l'appellation Natürliche und halbnatürliche Schwermetallrasen (Pelouses naturelles et semi-naturelles sur sols riches en métaux lourds) code 3405a. Le code 3405a correspond à un code de la typologie allemande des habitats (BfN), c'est-à-dire la Bundesamt für Naturschutz - Lebensraumtypen-Klassifikation (Office fédéral pour la protection de la nature - Classification des types d'habitats) (European Environment Agency, 2025a, 2025b).

Sur le plan phytosociologique, historiquement, à l'échelle européenne, l'habitat d'intérêt communautaire 6130 est rattaché à l'ordre des *Violetalia calaminariae* Braun-Blanq. & Tüxen ex V. Westh., Dijk & Passchier (1946), inclus dans la classe des *Violetea calaminariae* (Ernst, 1965). Cet ensemble regroupe les associations végétales spécialisées des sols métallifères d'Europe occidentale et centrale. Au niveau national, d'après les *Cahiers d'habitats* (Bensettiti *et al.*, 2002), les pelouses calaminaires sont rattachées à trois associations principales des *Violetalia calaminariae*. Il s'agit de l'*Armerietum muelleri*, correspondant aux pelouses à Armérie de Müller des Pyrénées centrales, du *Thlaspio calaminaris*–*Armerietum elongatae* (cf paragraphe « les

associations françaises du cahier d'habitat » p.13), regroupant les pelouses à Tabouret calaminaire et Armérie des sables des Cévennes, et de l'*Armerietum halleri*, correspondant aux pelouses à Armerie de Haller (*Armeria maritima* subsp. *halleri*) et Cardaminopside de Haller (*Cardaminopsis halleri*) du nord de la France. Ces associations traduisent la diversité des faciès français, depuis les stations subalpines et alpines jusqu'aux formations planitiaires et collinéennes (Bensettiti *et al.*, 2002). La classe des *Violetea calaminariae* n'est plus à l'ordre du jour dans le Catalogue des végétations de France (Lafon *et al.*, 2024) (voir également le paragraphe « une vision contemporaine » p.13 du présent rapport).

LA CLASSE DES VIOLETEA CALAMINARIAE

Les pelouses métallifères d'Europe centrale ont d'abord été caractérisées par la présence de *Viola calaminaria* en 1943 par Braun-Blanquet et Tüxen et regroupées dans la classe de végétation *Violetea calaminariae* (Ernst, 1974). L'extension des recherches à l'ensemble de la zone européenne a révélé que la végétation des sols métallifères n'était pas seulement caractérisée par *Viola calaminaria*, mais aussi par des écotypes métallifères de *Minuartia verna* et *Silene cucubalus* (Ernst, 1974). L'appartenance des *Violetea calaminariae* à la classe des *Festuco-Brometea* a été questionné dans l'ouvrage d'Ernst (1965) et finalement écartée en raison de la présence de ces deux espèces caractéristiques. Dans *Schwermetallvegetation der Erde* (1974), Ernst propose une synthèse à l'échelle mondiale, notamment en Europe, de la classe. Cette dernière est composée de deux grands ordres :

- Les végétations métallifères d'Europe du Sud-Est se trouvent principalement sur des sols serpentiniques riches en métaux lourds et sont rattachées à l'ordre des *Halacsyetalia sendtneri* par Ritter-Studnicka en 1970.
- Les végétations sur les sols riches en métaux lourds d'Europe occidentale et centrale sont rattachées aux *Violetalia calaminariae* ; elles se distinguent de celles d'Europe du Sud-Est, positivement par la présence d'écotypes métallifères de *Festuca ovina* et *Agrostis capillaris* (= *A. tenuis*), et surtout négativement par l'absence de *Notholaena marantae*, *Stachys recta* subsp. *baldacci* et *Alyssum murale* (Ernst, 1974).

Dans l'ordre des *Violetalia calaminariae*, trois unités sont distinguées comme des alliances : la végétation des sols métallifères calcaires alpins du *Galio anisophylli–Minuartion verna*, les pelouses métallifères de l'Europe centrale et occidentale du *Thlaspion calaminare*, et les pelouses métallifères du reste de l'Europe centrale (est de l'Allemagne au-delà de la Weser), de l'*Armerion halleri* (Ernst, 1974). Les syntaxons ont des espèces et des chorologies distinctes.

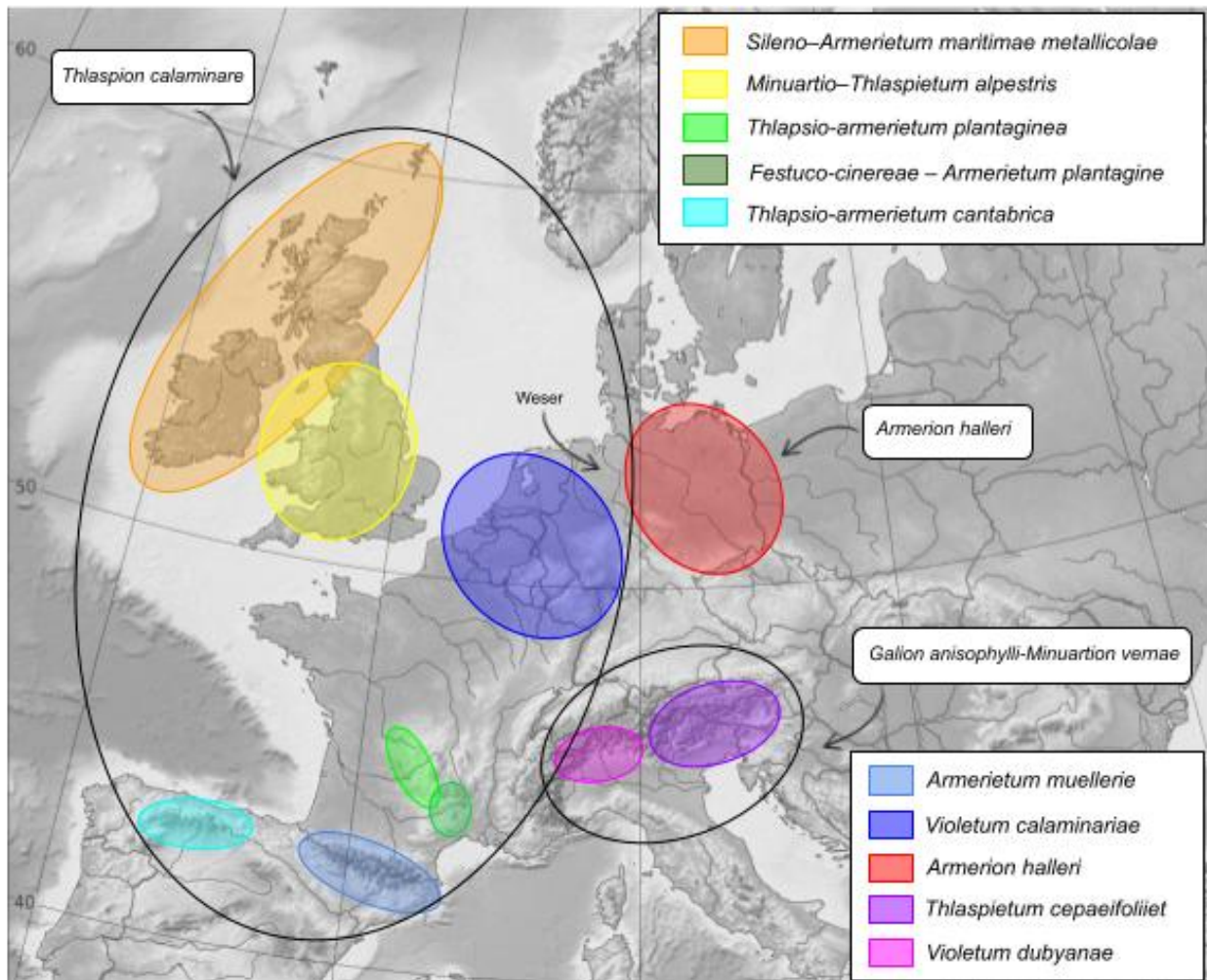


Figure 1 : Répartition géographique de l'ordre des *Violetalia calaminariae* en Europe telle que décrite par Ernst dans son ouvrage de 1974.

Le schéma syntaxonomique de la classe est le suivant :

Classe : *Violetea calaminariae* Braun-Blanquet & Tüxen 1952

Espèces indicatrices : *Minuartia verna*, *Silene cucubalus*

Ordre : *Violetalia calaminariae* Braun-Blanquet & Tüxen 1952

Espèces indicatrices : *Agrostis tenuis* (=A. *capillaris*), *Festuca ovina*

Alliance : *Thlaspion calaminariae* Tüxen 1952 (ou *Violion calaminariae* Braun-Blanquet & Tüxen 1952)

Espèces indicatrices : *Thlaspi alpestre*

Associations :

Violetum calaminariae Tüxen 1952

Espèces indicatrices : *Thlaspi alpestre*, *Viola calaminea*

Localisation : Belgique, Allemagne, Pays-Bas

Thlapsio-armerietum cantabricae Rivas-Martínez 1963

Espèces indicatrices : *Armeria maritima* var. *cantabrica*, *Silene ciliata*

Localisation : Picos de Europa, Espagne

Armerietum muelleri Braun-Blanquet & Tüxen 1952

Espèces indicatrices : *Armeria maritima* var. *muelleri*

Localisation : Pyrénées

Festuco-cinereae – *Armerietum plantaginea* Rivas-Martínez 1963

Espèces indicatrices : *Armeria plantaginea*

Localisation : Haute-Vienne et Aveyron, France

Thlapsio-armerietum plantaginea Ernst 1966

Espèces indicatrices : *Thlaspi alpestre*, *Silene cucubalus*, *Armeria plantaginea* et absence de *Minuartia verna*

Localisation : Mont Lozère, Saint Laurent le Minier, Cévennes, France

Minuartio-Thlaspietum alpestris Tüxen 1952

Espèces indicatrices : *Thlaspi alpestre*, *Minuartia verna*

Localisation : Royaume-Uni

Sileno-Armerietum maritimae metallicolae Braun-Blanquet 1952

Espèces indicatrices : *Silene maritima*, *Armeria maritima*

Localisation : Irlande, Royaume-Uni, Écosse

Alliance : *Galio anisophylli-Minuartion vernae* Tüxen 1952

Associations :

Violetum dubyanae Tüxen 1952

Espèces indicatrices : *Viola dubyana*

Localisation : Alpes bergamasques, Italie

Thlaspietum cepaeifolii Tüxen 1952

Espèces indicatrices : *Thlaspi rotundifolium* subsp. *cepaeifolium*

Localisation : Alpes du Sud-Est : Autriche, Italie, Slovénie

Alliance : *Armerion halleri* Braun-Blanquet & Tüxen 1952

Espèces indicatrices : *Armeria maritima* var. *halleri* et absence de *Thlaspi alpestre*

Associations

Armerietum halleri Braun-Blanquet & Tüxen 1952

Armerietum bottendorfensis Tüxen 1952

LES ASSOCIATIONS FRANÇAISES DANS LES CAHIERS D'HABITAT

L'*Armerion halleri* décrit par Ernst en 1965, décrit les pelouses métallifères d'Europe centrale situées à l'est de la Weser. Drude (1902) fut le premier à identifier un groupement sur les sols métallifères du Harz, qu'il décrivit sous le nom de « *Armeria halleri*-Matte ». Cette unité phytosociologique, considérée initialement comme une formation végétale, a été décrite phytosociologiquement par Libbert (1930) en tant qu'association sous le nom d'*Armerietum halleri*. En France, les Cahiers d'habitats rattachent les pelouses métallifères planitiaires correspondant aux pelouses calaminaires du nord de la France à l'*Armerietum halleri* et dans l'alliance de l'*Armerion halleri*. Cet habitat est décrit comme une pelouse à *Armeria halleri* et *Cardaminopsis halleri*, et concerne notamment des sites artificiels du nord de la France, tels que les terrils et espaces miniers des départements du Nord et du Pas-de-Calais (Montagne du Nord, Auby, Noyelles-Godault), ainsi qu'un site industriel des Ardennes.

Concernant les pelouses métallifères montagnardes, les Cahiers d'habitats rattachent les pelouses à *Armeria muelleri* des Pyrénées centrales à l'*Armerietum muelleri*, et les pelouses à *Thlaspi calaminare* et *Armeria arenaria* des Cévennes au *Thlapsio-Armerietum elongatae* Ernst (1966) 1974. Le *Thlapsio-Armerietum elongatae* ne semble pas être mentionné dans les ouvrages de Ernst de 1966 et 1974, cependant il y décrit le *Thlapsio-Armerietum plantaginea* qu'il décrit du Mont-Lozère et des Cévennes. Une erreur a peut-être été faite lors de la rédaction des Cahiers d'habitats.

UNE VISION CONTEMPORAINE

Le Catalogue de la végétation de France métropolitaine, élaboré par les Conservatoires botaniques nationaux (CBN) en collaboration avec l'Office français de la biodiversité (OFB) et Patrinat, présente un synsystème harmonisé qui classe les végétations françaises jusqu'au niveau de la sous-alliance, incluant une liste indicative des associations végétales présentes ou potentielles sur le territoire (Lafon *et al.*, 2024). Le catalogue comprend également un atlas de répartition à l'échelle départementale des alliances et sous-alliances de France métropolitaine. Dans ce catalogue en tête de la classe des *Koelerio-Corynepheretea Canescentis* Klika in Klika et V. Novák 194,1 il est indiqué que « La classe des *Violetea calaminariae* est très peu adoptée à l'échelle européenne. A la vue du tableau de Ernst (1965), une partie significative des associations de cette classe pourrait être affiliée aux *Koelerio-Corynepheretea canescentis* par la présence d'*Agrostis capillaris*, *Campanula rotundifolia*, *Festuca ovina*, *Thymus serpyllum*, *T. pulegioides*, *Pilosella officinarum*, *Sedum acre* et *Rumex acetosella*. Cette position est également celle de Julve (Catminat, 1998-2016) tandis que Mucina *et al.* (2016) placent l'ordre des *Violetalia calaminariae* au sein des *Thlaspietea rotundifolii*. Selon Mucina *et al.* (2016), le *Thlaspietea calaminarii* Ernst 1965 (syn. du *Violion calaminariae* selon Bardat *et al.* 2004) est l'alliance d'Europe de l'Ouest tandis que l'*Armerion halleri* est l'alliance d'Europe centrale. Au contraire, selon Bardat *et al.* (2004), le *Violion calaminariae* est l'alliance montagnarde des Alpes et des Pyrénées, tandis que l'*Armerion halleri* est l'alliance des sites industriels du Nord. L'examen du tableau de Ernst ne permet pas de dégager plusieurs alliances. Dans l'attente d'approfondissements nomenclaturaux et synsystématiques, nous ne retenons pour la France que l'*Armerion halleri*. Nous plaçons ainsi cette alliance au sein des *Koelerio-Corynepheretea*. ».

Ainsi l'*Armerion halleri*, seule alliance des *Violetea Calaminariae* retenue dans le catalogue pour la

France parmi les *Violetea calaminariae* n'est connu à l'heure actuelle en France que dans les départements suivants : Pas de Calais (62), Nord (59), Pyrénées Atlantiques (64), Hautes Pyrénées (65), Haute Garonne (31), Ariège (09) et est classé dans la classe des *Koelerio-Corynephoretea Canescentis* (Fig. 2).

Corriol *et al.* (2022) décrivent une association de pelouses calaminaires propres aux Pyrénées : le *Noccaeo caerulescentis–Arenarietum multicaulis* Laigneau et Corriol in Corriol *et al.* 2022. Il est caractérisé par la présence d'*Arenaria multicaulis*, *Minuartia verna*, *Festuca nigrescens*, *Noccaea caerulescens*, *Leontodon pyrenaicus*, *Agrostis capillaris* et *Silene vulgaris*. Les auteurs ne proposent pas de classification définitive pour cette association, mais relèvent une proximité entre ses espèces orophiles et les *Caricetea curvulae* (Braun-Blanquet 1948), les *Elyno-Seslerietea caeruleae* (Braun-Blanquet 1948) ainsi que les *Nardetea strictae* (Rivas Goday ex Rivas Martínez 1963). Ils observent également des similitudes avec les espèces d'éboulis rattachées aux *Thlaspietea rotundifolii* (Braun-Blanquet 1948). Dans le Catalogue de la végétation de France métropolitaine, cette association est intégrée au *Caricetea curvulae*, dans l'ordre des *Caricetalia curvulae* Braun-Blanquet in Braun-Blanquet et H. Jenny 1926, et au sein de l'alliance du *Festucion supinae* Braun-Blanquet 1948. Il est précisé qu'elle y est placée provisoirement sans pouvoir être incluse dans une sous-alliance existante (Lafon *et al.*, 2024). Ainsi le *Noccaeo caerulescentis–Arenarietum multicaulis*, deuxième association retenue pour la France de pelouses calaminaires, n'est connu à l'heure actuelle en France que des Pyrénées (Fig. 3).

Armerion halleri



Classe : *Koelerio-Corynephoretea Canescentis*

Ordre : *Corynephoretalia canescentis*

Alliance : *Armerion halleri*

Association : *Armerietum halleri*

Festucion supinae



Classe : *Caricetalia curvulae*

Ordre : *Caricion curvulae*

Alliance : *Festucion supinae*

Association : *Noccaeo caerulescentis–Arenarietum multicaulis*

Figure 2 : Répartition française de l'*Armerion halleri* et du *Festucion supinae* d'après Lafon *et al.* (2024). Légende des cartes : vert foncé, syntaxon présent ; vert clair, syntaxon potentiellement présent ; gris : syntaxon (préssumé) absent ou sans information

DYNAMIQUE ET CONSERVATION

Les pelouses calaminaires restent peu étudiées, et cette faible connaissance scientifique s'explique par la difficulté d'étude de ces milieux (conditions extrêmes, faible couverture végétale) ainsi que par une perception erronée qui les assimile à des habitats dégradés. En effet, leur existence en situation secondaire résulte d'une activité humaine passée et de la pollution des sols par cette dernière. Cependant, d'un point de vue écologique, ces pelouses jouent un rôle en tant que refuge pour des certaines espèces et participent à la stabilisation des sols, ainsi qu'à la régénération des écosystèmes pollués (Twardowska, 2004, Hanus-Fajerska et al., 2019).

Ces milieux évoluent naturellement vers une recolonisation végétale, pouvant conduire à la formation de pelouses plus classiques ou à une fermeture progressive du milieu. Les mesures de gestion recommandées dans les Cahiers d'habitats (Bensettiti *et al.*, 2002) visent à conserver les sites métallifères et à valoriser les anciennes zones minières, tout en évitant des dépollutions radicales. Elles préconisent de maintenir une dynamique ouverte (en limitant l'embroussaillage et la prolifération d'espèces nitrophiles), de préserver la diversité floristique et d'assurer le suivi des espèces rares et protégées.

Leur gestion peut également contribuer à la réhabilitation écologique de sites contaminés, en favorisant l'installation d'espèces capables de restaurer durablement les sols (Hanus-Fajerska et al., 2019). Paradoxalement, certaines actions de dépollution peuvent menacer ces habitats en supprimant les conditions écologiques nécessaires à la survie des espèces métallophytes. La reconquête par la végétation naturelle constitue ainsi une forme de dégradation pour cet habitat d'intérêt communautaire. Enfin, les pelouses calaminaires représentent un véritable laboratoire naturel pour la recherche sur la phytoextraction et la gestion durable des sols pollués. Elles offrent des perspectives prometteuses pour développer des stratégies innovantes de restauration écologique (Schwartz, 1997).

En Allemagne, une pelouse calaminaire est considérée comme telle si au moins une espèce tolérante aux métaux lourds est présente. Les zones voisines ou internes dépourvues de végétation en raison d'un fort taux de métaux sont également incluses dans la délimitation de l'habitat (Lanuv NRW, 2025). L'état de conservation de l'habitat est évalué en fonction de la structure et de la composition de la végétation, ainsi que des perturbations (Fig. 4).

La qualité de la structure est classée en trois catégories : A (« excellent ») correspond à des structures typiques bien définies, avec une couverture du sol comprise entre 50 et 100 %. B (« bon ») désigne une structure altérée ou appauvrie, due à la disparition d'une strate typique ou à l'apparition d'éléments non caractéristiques. Enfin, C (« moyen à mauvais ») correspond à la présence d'une ou plusieurs strates additionnelles provenant d'espèces indicatrices de perturbation.

L'évaluation de la composition floristique prend en compte le nombre d'espèces diagnostiques présentes : la catégorie A correspond à trois espèces caractéristiques ou plus, B à deux espèces caractéristiques, et C à une seule espèce ou uniquement à des mousses et lichens.

Les perturbations sont évaluées selon trois critères principaux :

- Le recouvrement par les broussailles ou l'ombrage doit être inférieur à 5 % pour la catégorie A, compris entre 5 et 10 % pour la catégorie B, et compris entre 10 et 70 % pour la catégorie C.
- La proportion d'espèces indicatrices de perturbation ou d'eutrophisation doit être

inférieure à 5 % pour A, comprise entre 5 et 10 % pour B, et comprise entre 10 et 50 % pour C.

- Les dommages directs à la végétation, tels que ceux causés par le motocross, le remaniement du sol ou les travaux de restauration, doivent être non détectables ou affecter moins de 5 % de la surface originelle pour la catégorie A, modérés (5–20 %) pour B et importants (plus de 20 %) pour C.

La note finale de l'état de conservation est déterminée par le paramètre présentant la valeur la plus faible, ce qui signifie que le critère le plus défavorable conditionne la classification globale du site. Ce système permet ainsi d'évaluer de manière synthétique la qualité écologique des pelouses calaminaires en intégrant la structure, la composition floristique et les impacts anthropiques.

Kriterien für die Bewertung des Erhaltungszustandes LRT Schwermetallrasen (6130)			
LR-typische Strukturen	A – hervorragend	B – gut	C- mittel bis schlecht
	Feld 1: Vegetationsstrukturelemente		
a) typische Rasen: zwei- bis dreischichtig (Flechten-, 1. und ggf. 2. Krautschicht), Deckungsgrad 50% bis 80%			
b) Wiesen-Typ: zweischichtig (Kraut-, Grasschicht), Deckungsgrad 80%-100%			
c) Calluna-Typ: zwei- bis dreischichtig (Flechten-, Kraut-, Zwergstrauchschicht), Deckungsgrad 50% bis 100%			
d) reine Schwermetall-Flechtengesellschaften: einschichtig, z.T sehr lückige Substratbedeckung			
typische Schichtung und Bodenbedeckungsgrad entsprechend eines Typs oder mehrerer Typen a-d	strukturell verarmt oder verfälscht, da entweder eine typische Schicht fehlt oder untypische hinzukommen	zusätzliche Vegetationsschicht(en) aus Störzeigern	
Vollständigkeit des LR-typischen Arteninventars	Feld 1: Diagnostisch relevante Pflanzenarten		
	≥ 3 Arten	2 Arten	1 Art oder nur Moose, Flechten
Beeinträchtigungen*	Feld 1: Deckungsgrad Verbuschung bzw. Beschattung [%]		
	< 5	5 – 10	>10 - 70
	Feld 2: Deckungsgrad Störzeiger [%] (z. B. Eutrophierungszeiger, Neophyten)		
	< 5	5– 10	>10 - 50
	Feld 3: direkte Schädigung der Vegetation (z. B. durch Motocross, Übererdung, „Sanierungen“)		
	nicht erkennbar bzw. max. punktuell, < 5 % der ursprünglichen Schwermetall-Rasenfläche	deutliche Schädigung erkennbar 5- 20 % der ursprünglichen Schwermetall-Rasenfläche	erhebliche Schädigung >20 % der ursprünglichen Schwermetall-Rasenfläche
*Die Gesamtbewertung der Beeinträchtigungen wird durch die niedrigste Bewertung eines Teilparameters bestimmt			

Figure 3 : Grille d'évaluation de l'état de conservation des pelouses calaminaire en Allemagne (Lanuv NRW, 2025).

ÉTAT DE CONSERVATION DES PELOUSES CALAMINAIRE EN EUROPE

Le statut de conservation des pelouses calaminaires, évalué par la Commission européenne pour la période 2013-2018, varie selon les localisations, allant d'un état favorable à défavorable (European Environment Agency, 2025). Globalement, les seules pelouses calaminaires considérées en bon état de conservation se situent dans le sud de la France et en Slovénie, tandis que celles jugées en danger de disparition se trouvent principalement

en Pologne, en Autriche au Royaume-Uni, au nord de la France et à l'ouest de l'Italie (Fig. 5). Cette disparité dans l'évaluation de l'état de conservation peut résulter des différences d'interprétation et de méthodologie employées suivant les secteurs, comme d'une réelle différence dans l'état de conservation de ces pelouses.

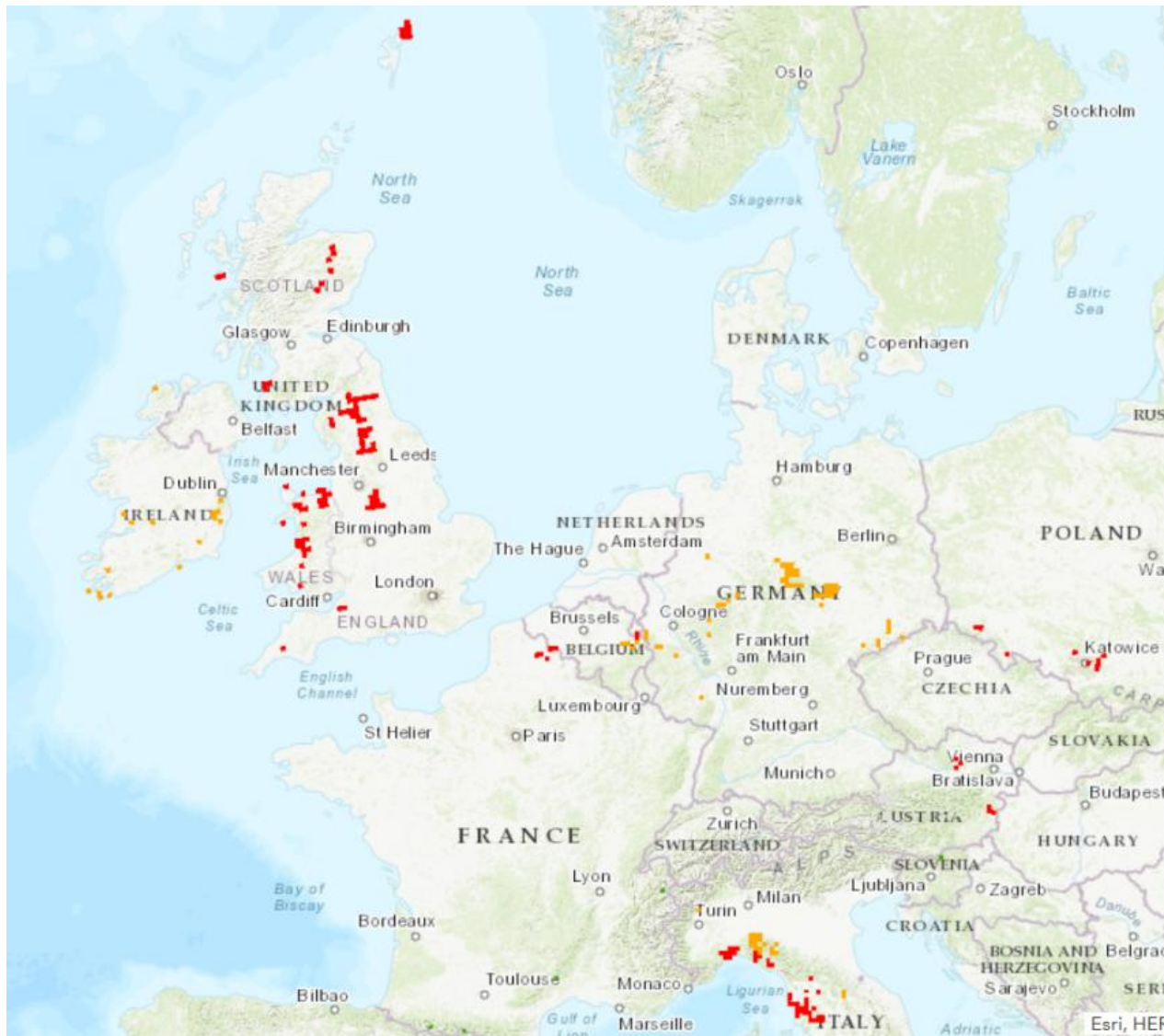


Figure 4 : État de conservation de l'HIC 6130 au niveau européen. Légende : vert, habitat en bon état de conservation ; orange, habitat nécessitant un changement de gestion ou de politique pour retrouver un état favorable de conservation ; rouge, habitat en mauvais état de conservation.

MATERIEL ET METHODE

ZONE D'ETUDE ET PLAN D'ECHANTILLONNAGE

La zone d'étude comprend une partie du territoire d'agrément du CBNMed, l'ex-région Languedoc-Roussillon correspondant aux départements suivants : Lozère, Gard, Hérault, Aude, Pyrénées-Orientales (Fig. 6).

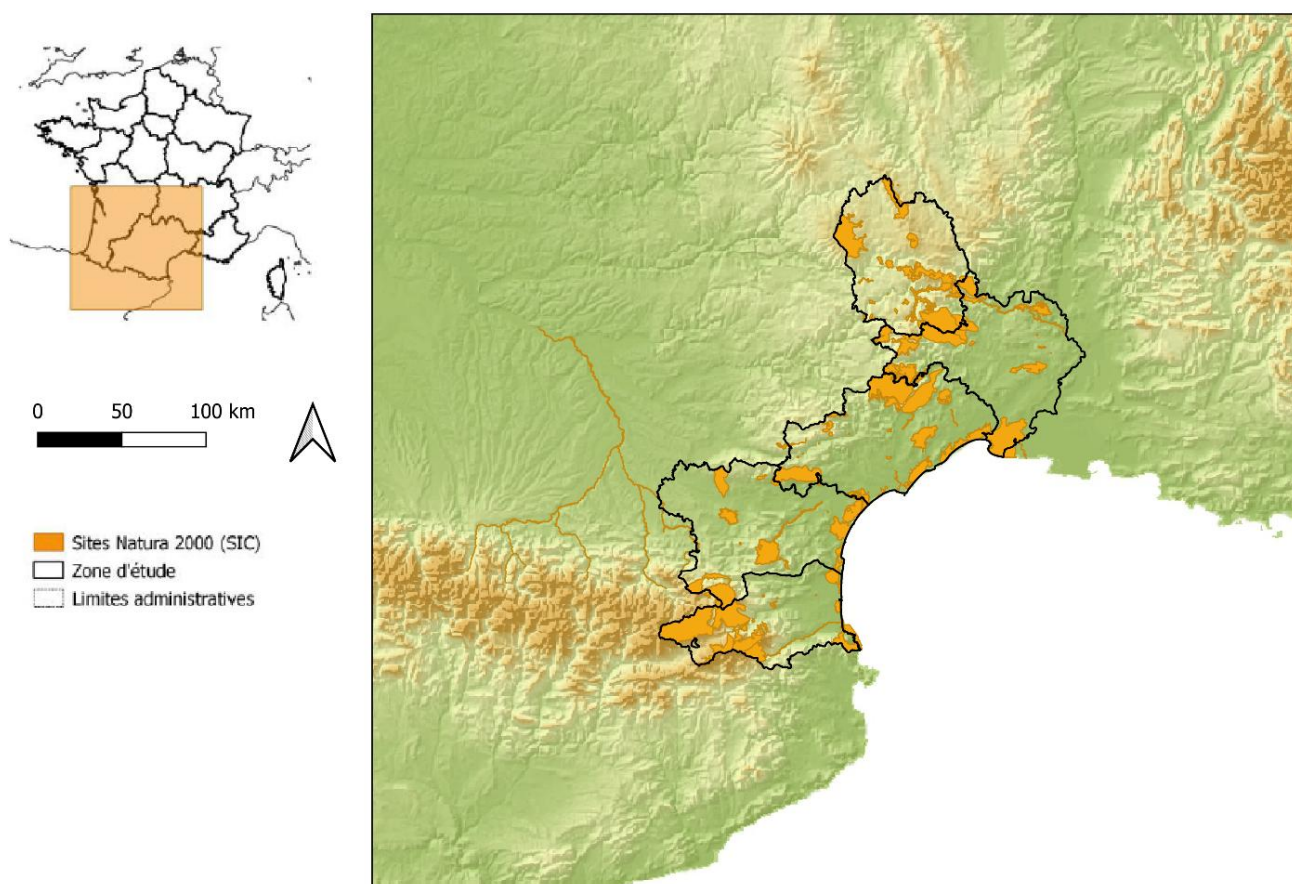


Figure 5: Délimitation de la zone d'étude

PLAN DE PROSPECTION

La zone d'étude compte de nombreuses anciennes mines susceptibles d'abriter des pelouses calaminaires d'intérêt communautaire, mais également de nombreuses espèces à large répartition pouvant être indicatrices de gisements naturels. Le plan d'échantillonnage repose sur la prospection des zones connues mentionnées dans la littérature, mais aussi de sites non spécifiés identifiés par la présence d'espèces métallophytes, de minerais spécifiques et d'anciennes mines. La sélection des sites à prospector s'est appuyée sur plusieurs sources

de données :

- Données bibliographiques : notamment les Cahiers d'habitats (Bensettiti *et al.* 2001) et l'ouvrage « Schwermetallvegetation der Erde » (Ernst, 1974) mentionnant la localisation de sites accueillant des pelouses comme Saint-Laurent-le-Minier et Montdardier, ainsi qu'à la mine du Mazel, au nord du Mont Lozère.
- Cartes géologiques et des sites miniers du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) permettant de localiser les anciens terrils et les sites miniers en fonction des minerais extraits, tels que le plomb, le zinc le manganèse et le fer.
- Flore : en utilisant les données floristiques disponibles, avec un accent particulier sur certaines espèces, notamment *Armeria arenaria*, *Armeria muelleri* et *Noccaea caerulea*. Ces espèces, en raison de leur adaptation aux sols riches en métaux lourds, ont servi de marqueurs pour affiner le choix des secteurs à prospecter. Les données floristiques proviennent de la base du CBNMed, également intégrée au Système d'Information sur la Nature et les Paysages (SINP).

Les informations relatives aux minerais aux mine, à la lithologie et la géologie ayant permis d'identifier les zones à prospecter proviennent de plusieurs couches associées à différentes bases de données disponibles sur le site du BRGM (<https://www.brgm.fr/fr>). Pour ce qui concerne les anciennes exploitations minières, les données sont issues de la base « Carrières et matériaux de France », qui constitue un inventaire national des exploitations de substances minérales et de matériaux de carrières en France métropolitaine et dans les départements et collectivités d'Outre-mer. Les carrières en activité ou récemment fermées sont géoréférencées sous forme de polygones correspondant à l'emprise des sites d'extraction, tandis que les anciennes carrières sont localisées par un point. À l'échelle nationale comme communale, une visualisation interactive permet d'associer chaque exploitation à des informations descriptives, quantitatives et synthétiques sur les substances extraites et les produits livrés. Pour les données relatives à la présence de certains minerais (plomb, fer, zinc et manganèse notamment), les informations proviennent de l'« Inventaire minier du territoire métropolitain », base recensant les analyses réalisées dans les sols, sédiments et eaux de ruisseaux collectées sur l'ensemble du territoire métropolitain. Seules les exploitations situées à proximité immédiate ou à l'intérieur des secteurs présentant une présence confirmée de minerais ciblés (plomb, fer zinc et manganèse) ont été retenues. Cette approche permet d'établir une première corrélation spatiale entre la localisation des anciennes activités minières et la distribution potentielle des substrats métallifères, contribuant ainsi à l'identification des secteurs à fort potentiel pour le développement des pelouses calaminaires.

Enfin, les données géologiques ont été extraites des bases Scan-Géol, qui constituent des bases de données géoréférencées regroupant les cartes géologiques sous forme d'images à différentes échelles, adaptées aux besoins de prospection et d'analyse spatiale. Ces informations, également accessibles via le site du BRGM, ont permis, à une échelle plus fine, de localiser précisément certains anciens terrils ainsi que les emplacements exacts des anciennes zones d'extraction minière et des minerais extraits (Fig. 6). Un terril ou une halde est constitué par l'accumulation des stériles, sous-produits de l'exploitation minière composés. Il peut être de forme conique et constituer alors un signal fort dans le paysage, ou bien plat et s'y fondre complètement, surtout si la végétation s'y est installée ;

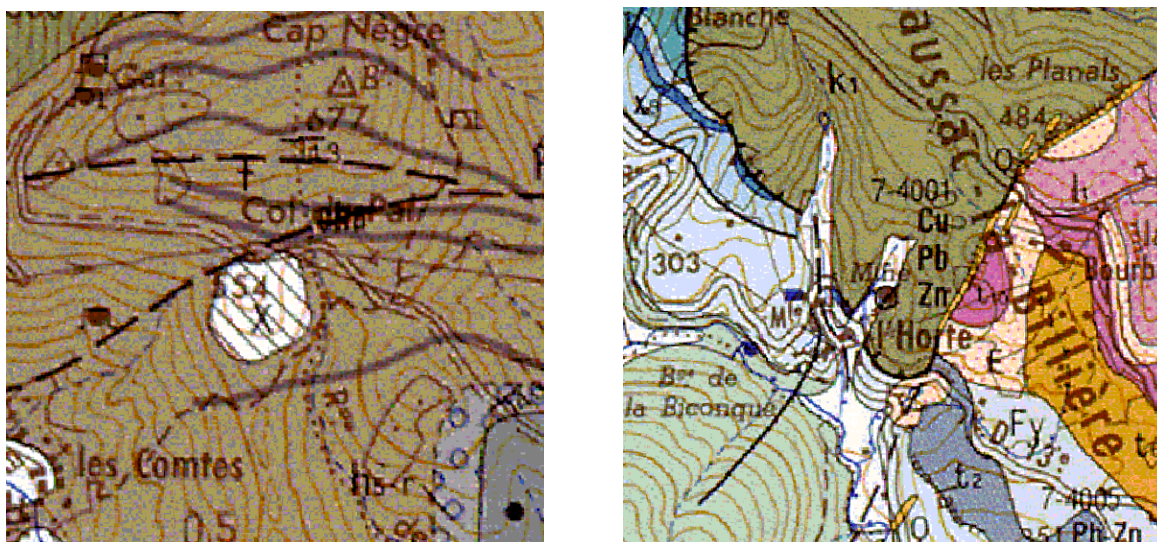


Figure 6 : Symbologie de la carte géologique. A gauche, la présence d'un terril est représentée par un polygone blanc rayé avec une croix à l'intérieur ; à droite, la localisation d'un site d'extraction minière est indiquée, précisant les métaux extraits.

RELEVES PHYTOSOCIOLOGIQUES

Sur les zones prospectées, des relevés phytosociologiques ont été réalisés chaque fois que la présence de l'habitat 6130 était suspectée. Ces relevés ont été effectués selon la méthode sigmatiste de Braun-Blanquet (1952, 1964). Cette méthode consiste à réaliser un relevé au sein d'une végétation homogène, tant sur le plan topographique que des paramètres abiotiques, en excluant les zones de transition entre deux communautés végétales.

Seuls quatre jours ont été alloués à cette campagne de terrain. Les relevés ont été effectués à la période d'expression optimale de la végétation. Pour cette étude ils ont été réalisés entre le 23 juin et le 23 juillet 2025. Pour chaque relevé, la liste exhaustive des espèces présentes a été établie. Les relevés ont été effectués sur une surface comprise entre 9 m² et 16 m², car ce type de végétation a été rencontré sur des surfaces assez limités et fragmentés. Cette surface a été déterminée sur le terrain en essayant de respecter les surfaces minimales définies dans la littérature pour les végétations herbacées, qu'elles soient ponctuelles ou plus étendues. La détermination des espèces a été réalisée à l'aide de flores de référence, notamment Tison *et al.* (2014) et Tison & Foucault (2014). Le référentiel taxonomique utilisé est TAXREF 18. Chaque espèce a été accompagnée d'un coefficient d'abondance-dominance, estimant la surface projetée au sol occupée par l'ensemble des individus d'une même espèce. Ce coefficient prend la valeur + lorsque le recouvrement est inférieur à 1 %, 1 lorsque le recouvrement est compris entre 1 et 5 %, 2 lorsque le recouvrement est compris entre 5 et 25 %, 3 lorsque le recouvrement est compris entre 25 et 50 %, 4 lorsque le recouvrement est compris entre 50 et 75 % et 5 lorsque le recouvrement est compris entre 75 et 100 % (Fig. 7).

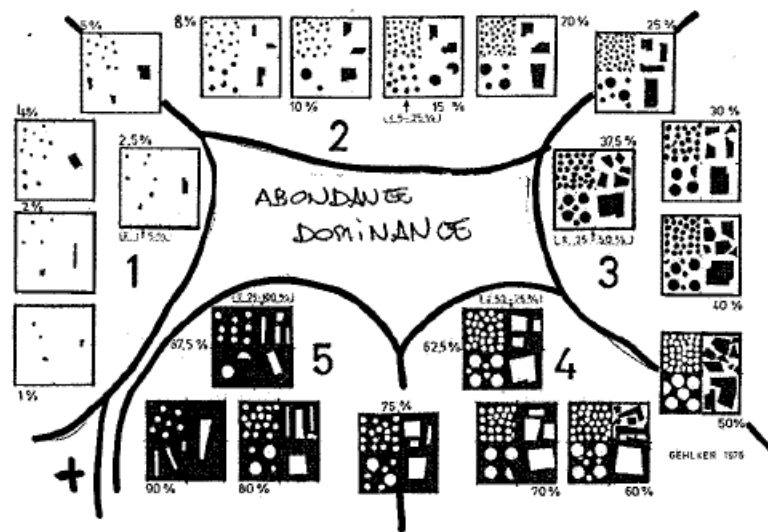


Figure 7 : Représentation des surfaces de recouvrements pour chaque valeur

D'autres informations accompagnant le relevé floristique ont également été enregistrées, telles que le recouvrement total et la hauteur moyenne de la végétation, le nom et le prénom de l'opérateur, la date, les coordonnées GPS, de préférence au centre du relevé, et la surface totale du relevé. Des informations additionnelles sur les conditions abiotiques sont aussi consignées comme le substrat, l'altitude, l'exposition, la pente, la description de la végétation et les perturbations observées. Toutes ces données ont été saisies directement sur le terrain de manière standardisée via l'application Open Data Kit Collect (ODK Collect, 2010), puis importées dans la base de données Simethis du CBNMed et validées.

RESULTATS

La Figure 8 présente une projection des données minières à l'échelle de la zone d'étude, révélant la répartition des gisements de plomb, zinc, fer et manganèse, ainsi que la localisation des anciennes exploitations minières, désormais fermées. Ces gisements, typiquement associés à des massifs anciens, se concentrent principalement dans les zones montagneuses et de piémont de la région, notamment dans le nord-ouest et le sud-ouest du territoire, correspondant au Massif Central et aux Pyrénées. Les anciennes exploitations, représentées par des triangles, sont très nombreuses et réparties sur l'ensemble de la zone étudiée, tous minéraux confondus.

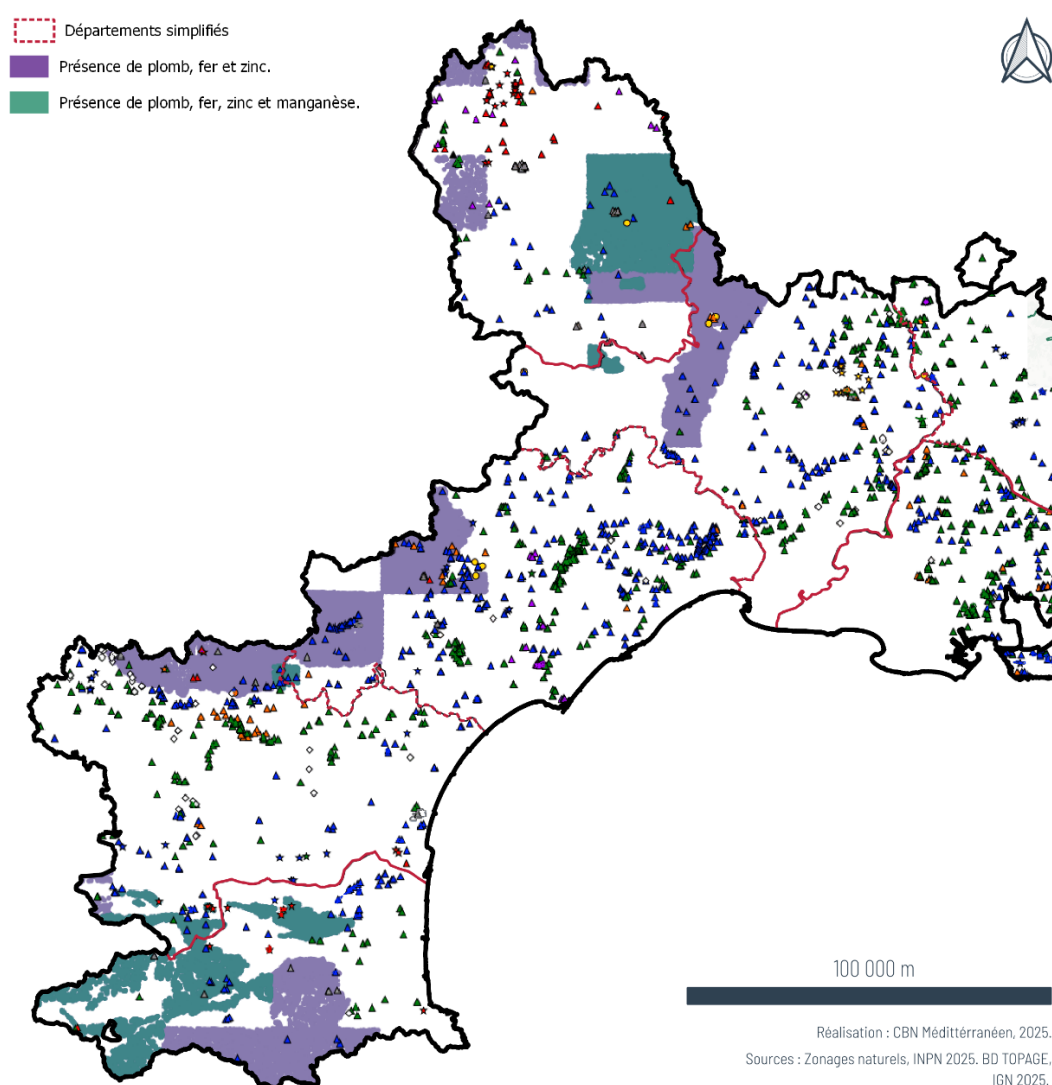


Figure 8 : Localisation des mines sur la zone d'étude ainsi que des zones de présence de certains minerais

Trois espèces métallophytes, *Armeria muelleri*, *Armeria arenaria* et *Noccaea caerulescens*, ont été sélectionnées comme marqueurs biologiques. Ces espèces, indicatrices de substrats métallifères, sont caractéristiques des pelouses calaminaires. Leur distribution (Fig. 9) a permis d'identifier des zones de recoupement potentiel, notamment dans le Massif Central (Cévennes et Haut-Languedoc) et les Pyrénées Catalanes.

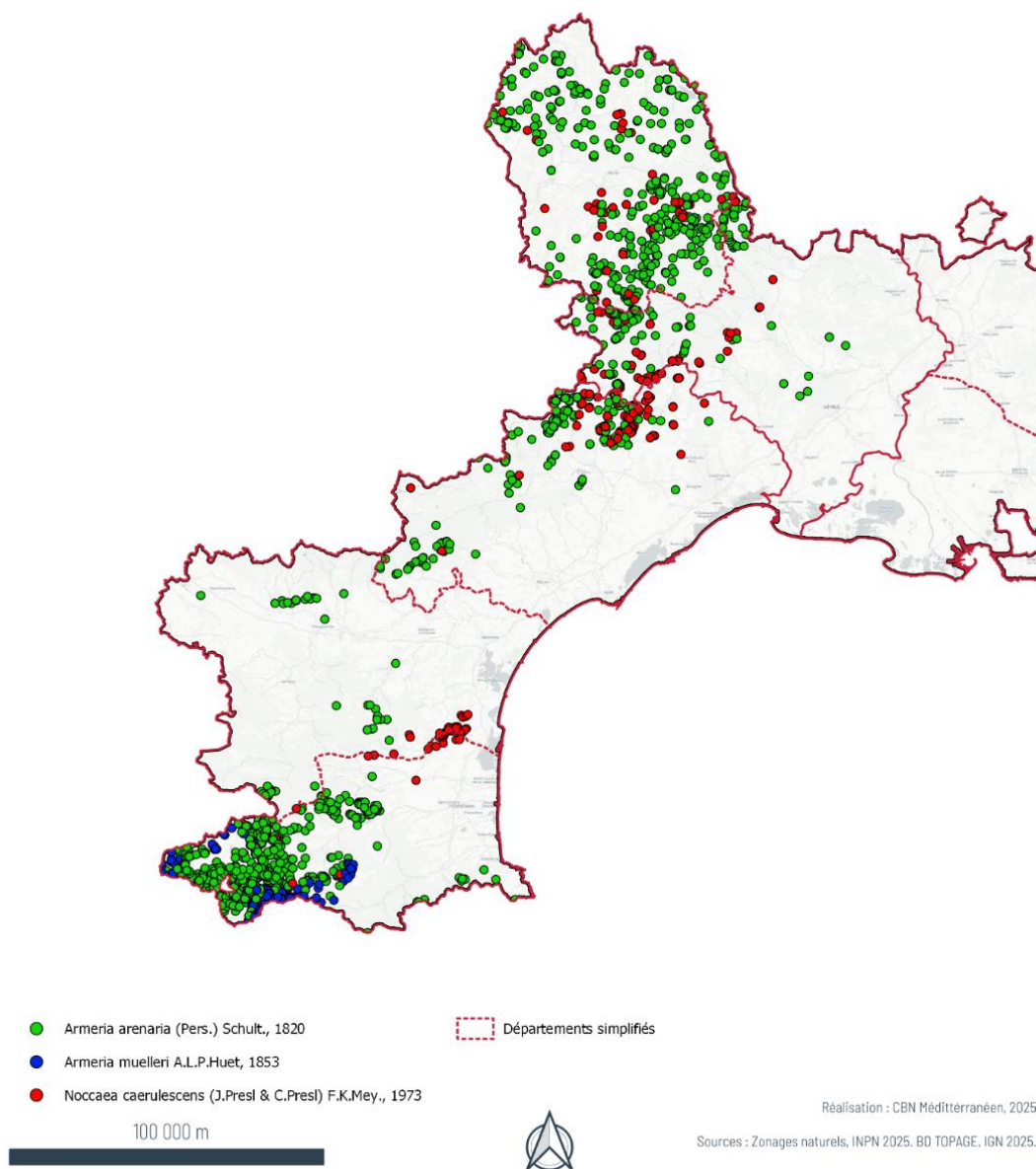


Figure 9 : Localisation de trois espèces pouvant se retrouver sur des pelouses calaminaire.

La superposition des données des Figures 8 et 9 a permis de cibler des zones à fort potentiel pour la présence de pelouses calaminaires. Ce potentiel repose à la fois sur la présence d'espèces indicatrices et sur la localisation d'anciennes mines et de gisements métallifères. Cette approche biogéographique s'est révélée efficace pour affiner la délimitation des zones d'intérêt écologique et orienter les prospections sur le terrain.

Grâce à cette méthodologie, huit secteurs ont été prospectés dans les départements de la Lozère, du Gard, de

l'Hérault et des Pyrénées-Orientales, avec une journée dédiée à chaque département, à l'exception de l'Aude, jugée moins prioritaire. Tous les sites mentionnés dans la littérature ont été visités. Parmi eux, quatre secteurs abritant des pelouses calaminaires ont fait l'objet de six relevés phytosociologiques. Bien que ces investigations aient permis d'identifier plusieurs zones prometteuses, de nombreux secteurs restent encore peu explorés. La Figure 10 illustre les localisations prospectées et ayant fait l'objet de relevés phytosociologiques, synthétisant ainsi les résultats de cette étude exploratoire.

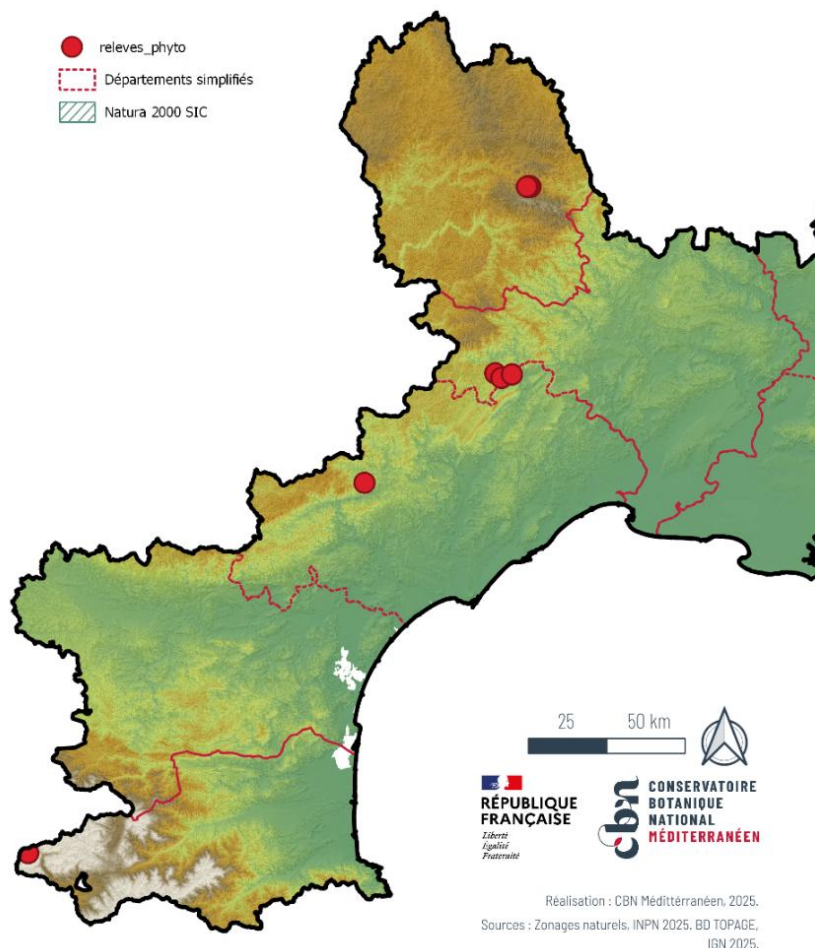


Figure 10 : Localisation des relevés phytosociologiques et zones à fort potentiel

Les sites prospectés où des pelouses calaminaires ont été identifiées par des relevés phytosociologique sont : les anciennes mines du Mazel (48), les terrils et anciens sites miniers de Montdardier et de Saint-Laurent-le-Minier (30), l'ancien terril de la mine de Tausac-la-Billièrre (34), ainsi qu'un terril de l'ancienne mine de Puymorens (66). Le tableau 1 recense les relevés phytosociologiques effectués. Chaque ligne décrit sa localisation (département, commune, coordonnées, altitude, exposition), le type d'exploitation minière, la forme du terril, le relevé SIMETHIS associé et les espèces indicatrices présentes. Chaque localisation ayant fait l'objet d'un relevé phytosociologique est documenté dans un tableau détaillé, avec la liste des espèces observées, leur abondance estimée et les caractéristiques écologiques par relevé (Annexe 1, Tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques des sites échantillonnés, ayant fait l'objet d'un relevé phytosociologique

Nom du site	Département	Zone géographique / contexte	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Altitude	Exposition	Géologie / type d'exploitation	Caractéristiques du terril/halde	Relevé SIMETHIS	Espèces indicatrices
Ancienne mine du Mazel	Lozère (48)	Cevennes, commune du Bleynard	3.730139	44.471452	1149	nord-ouest	Anciennes mines de plomb et zinc	Haldes en terrasse à proximité immédiate de l'ancienne mine	15039942	<i>Silene vulgaris</i> , <i>Noccea caerulescens</i> , <i>Armeria arenaria</i>
Ancienne mine des Malignes (Mines des Malignes)	Gard (30)	Sud Cévennes, commune de Montdardier	3.621189	43.922346	425	nord-est		Ancienne carrière	14989267	<i>Armeria arenaria</i>
Ancien site minier de Montdardier (Les Cèdres)	Gard (30)	Sud Cévennes, commune de Montdardier	3.597229	43.93581	409	nord-ouest	Filons plomb-zinc, sphalérite, galène, barytine	Haldes en terrasse à proximité immédiate de l'ancienne mine	15038243	<i>Armeria arenaria</i>
Terril de Saint-Laurent-le-Minier (Mines des Malines)	Gard (30)	Vallée de la Vis, piémont cévenol	3.663416	43.931985	234	sud-est		Terril conique en dôme.	14989266	<i>Armeria arenaria</i> , <i>Silene vulgaris</i>
Terril de Taussac-la-Billièrre	Hérault (34)	Hauts Cantons, vallée de la Mare	3.076478	43.622474	294	sud-ouest	Ancienne exploitation polymétallique ancienne	Terril conique en dôme.	14984313	<i>Noccea caerulescens</i> , <i>Armeria arenaria</i> , <i>Agrostis capillaris</i>
Terril de l'ancienne mine de Puymorens	Pyrénées-Orientales (66)	Commune de Porté-Puymorens, Pyrénées	1.769596	42.551132	2133	sud	Gisement de fer dans schistes du Silurien	Terril conique en dôme. A proximité immédiate de l'ancienne mine	15129914	<i>Silene vulgaris</i> , <i>Agrostis capillaris</i>

ANCIENNE MINE DU MAZEL :

L'ancienne mine du Mazel, située dans le hameau du même nom sur la commune du Bleynard en Lozère, correspond à un ancien site d'extraction de plomb et de zinc dont subsistent aujourd'hui plusieurs haldes et zones de dépôts miniers. Les travaux miniers sur le site du Bleynard, attestés dès l'époque gallo-romaine pour le plomb argentifère, ont été poursuivis jusqu'au XX^e siècle, avec une concession accordée en 1903 à la SA des Mines du Bleynard. L'exploitation a surtout porté sur le zinc, avec des périodes d'activité jusqu'en 1953. Ces stériles, fortement contaminés en métaux, présentent une très faible couverture végétale, ce qui crée des conditions favorables au développement ponctuel de pelouses calaminaires spécialisées. Ces dernières ont été retrouvées au-dessus des bâtiments l'ancienne mine, sur la partie qui semblait accueillir un terril et être utilisée comme secteur de stockage des déchets miniers. Des relevés phytosociologique ont été fait par Ernst sur cette mine, il les a rattachés au *Thlapsio-Armerietum plantaginea*. Le relevé actuel du Mazel présente une faible diversité floristique. Il comprend trois espèces caractéristiques des pelouses calaminaires : *Armeria arenaria*, *Silene vulgaris* et *Noccea caerulescens*. L'ensemble révèle une dominance d'espèces appartenant à la classe

des *Arrhenatheretea elatioris*, typiques des prairies et pelouses mésophiles à méso-hygrophiles, généralement d'origine secondaire à la suite de défrichements forestiers. Cela pourrait traduire un enrichissement du sol lié à des pratiques de gestion anthropique, en particulier la fauche ou le pâturage, encore présents dans le paysage environnant. La comparaison des relevés de la littérature produits par Ernst sur le site du Mazel montre quelques similarités avec le relevé actuel du Mazel.

Les taxons qui diffèrent appartiennent majoritairement à la classe des *Arrhenatheretea elatioris*, ce qui indique une tendance à la mésophilisation du milieu, traduisant une évolution vers des conditions plus humides et plus riches en nutriments.



Figure 11 : Pelouse calaminaire aux alentours de l'ancienne mine du Mazel

L'EXPLOITATION DES MINES DES MALINES :

L'exploitation des Mines des Malines, autour de Saint-Laurent-le-Minier et Montdardier, constitue un véritable complexe minier comprenant plusieurs sites distincts. Le district des Malines ne correspond pas à une seule mine, mais à un ensemble de concessions et de secteurs exploités à différentes périodes.

Les Avinières (Saint Laurent le Minier) :

Le terril de Saint-Laurent-le-Minier, plus exactement le secteur dit des Haldes des Avinières, correspond à l'une des anciennes exploitations de zinc, de plomb et de métaux associés. La concession a été accordée le 9 mars 1875 à la Société des Mines des Malines. Le secteur des Avinières a surtout été exploité en surface, à ciel ouvert. Les stériles issus de l'extraction ont été déversés à flanc de coteau, formant aujourd'hui les haldes visibles autour de la vallée de la Vis. Après l'arrêt des activités minières, les haldes des Avinières sont restées comme vestiges d'un passé industriel, mais aussi comme zones contaminées : des études ont mis en évidence des teneurs élevées en plomb et en zinc dans les stériles. En conséquence, le site fait l'objet d'un plan de gestion et de réhabilitation, incluant des mesures de mise en sécurité et de reconquête écologique, pour limiter l'exposition des riverains et stabiliser les haldes. Ces haldes sont situées sur le site Natura 2000 des Gorges de la Vis et de la Virenque. Sur ce secteur les pelouses calaminaire ont été retrouvés sur le secteur en cours de restauration. Le relevé associé se caractérise par un fort recouvrement et une prédominance d'espèces des *Lygeo-*



Figure 12 : Pelouse calaminaire aux Avinières

Stipetea, et secondairement des *Rosmarinetea* et *Agropyretea*, confirmant le caractère méditerranéen franc de ce groupement. Il s'agit de garrigues ouvertes à graminées vivaces, typiques des substrats secs, en conditions thermophiles et forte luminosité. Cette végétation bien qu'à proximité des deux autres sites diffère considérablement de celle de ces derniers, cela peut s'expliquer par les travaux de restauration menés (ouverture, ensemencement, phytostabilisation et renaturation). Cette pelouse calaminaire semble correspondre à celle étudiée et présente les caractéristiques d'un habitat en mauvais état de conservation, ce qui pourrait être une conséquence des interventions de restauration.

Mine des Malines (Montdardier) :

Au-dessus des bâtiments de l'ancienne mine des Malines, située sur la commune de Montdardier, s'étendait une zone d'extraction à ciel ouvert couvrant tout un flanc de montagne. En contrebas de la mine se trouve un vaste site de traitement des déchets miniers, interdit au public et donc inaccessible. Un relevé a été réalisé sur un replat du flanc de montagne, en amont de la mine, au sein d'une pelouse calaminaire. Cette pelouse a été identifiée grâce à la présence très localisée d'*Armeria arenaria*, à son faible recouvrement et à sa faible diversité floristique. Cependant, elle a été progressivement recolonisée par des ligneux et est en voie de fermeture. La présence d'espèces typiques des ourlets et lisières forestières (*Trifolium medii* - *Geranietea sanguinei*, *Rhamno catharticae* - *Prunetea spinosae*, *Quercetea pubescentis*) en témoigne.



Figure 13 : Pelouses calaminaire sur le site d'extraction de la mine des Malines

ANCIENNE MINE DE MONTDARDIER :

Dans le même secteur à proximité de ce qui semblait être d'anciens bâtiments ou espaces aménagés liés à l'activité minière, une autre pelouse calaminaire a été observée en lisière forestière, sur un replat situé en aval du site d'extraction. Aucune information historique n'a été trouvée concernant ces installations, qui paraissent avoir accueilli un ancien site d'extraction. La présence de pelouses calaminaires a été confirmée et le relevé semble montrer une composition floristique dominé par des espèces de la classe des *Festuco-Brometea*.



Figure 14 : Pelouse calaminaire aux alentours d'une mine sur la commune de Montdardier

TERRIL DE TAUSSAC LA BILLIERE :

La commune de Taussac-la-Billière, située dans le parc naturel régional du Haut-Languedoc dans le département de l'Hérault, possède une histoire minière très ancienne liée à la richesse de son sous-sol. Dès l'époque gallo-romaine, une mine de plomb argentifère était exploitée au lieu-dit La Bourbouille. Après l'Antiquité, il n'existe pas de sources précises détaillant une exploitation continue jusqu'à la période moderne ; cependant, la présence durable de vestiges miniers autour de La Bourbouille indique une activité étalée sur plusieurs siècles, avec des phases d'exploitation plus ou moins intenses selon les besoins locaux et les techniques disponibles. Sur la carte des risques miniers et des anciens travaux du BRGM, le secteur de La Bourbouille est encore identifié comme zone d'activité minière historique, ce qui montre que ces travaux ont été suffisamment étendus pour laisser des traces géologiques et topographiques visibles aujourd'hui. C'est sur un ancien terril de ce site qu'a été trouvée une pelouse calaminaire. Le relevé montre la présence de trois espèces caractéristiques des pelouses calaminaires *Noccea caerulescens*, *Armeria arenaria* et *Agrostis capillaris*, un faible recouvrement et une faible diversité floristique et la balance floristique montre une proximité avec les *Festuco-Brometea*. Cette pelouse calaminaire semble être celle de l'étude qui a été le moins affectée par la dynamique du milieu, et qui semble se conformer aux descriptions de l'habitat dans un bon état de conservation.



Figure 15 : Pelouse calaminaire sur un ancien terril de la Bourbouille

TERRIL DE L'ANCIENNE MINE DE PUYMORENS :

La mine de Puymorens est une ancienne mine de fer située dans les Pyrénées-Orientales, sur la commune de Porté-Puymorens, à proximité du col du même nom. Exploitée depuis le Moyen Âge, elle a connu une exploitation continue jusqu'au 1^{er} mai 1966, lorsqu'elle a définitivement fermé ses activités. Installée entre environ 2 080 et 2 200 m d'altitude, sur le versant nord du Pic de Font Negra, cette mine se distingue comme la plus haute exploitation de fer des Pyrénées françaises. C'est sur le versant sud d'un terril à proximité immédiate de cette mine qu'a été trouvé une végétation calaminaires. La présence de *Silene vulgaris*, absente dans les environs immédiates, a constitué un indicateur majeur pour localiser cette pelouse calaminaire. Cette pelouse n'accueillait pas d'espèces d'*Armeria* mais le reste du cortège et la diversité floristique correspondaient toutefois à ces végétations. Le relevé se distingue par une composition floristique marquée par les taxons des *Caricetea curvulae*, *Nardetea strictae* et *Thlaspietea rotundifolii*,



Figure 16 : Pelouse calaminaire sur un terril de l'ancienne mine Puymorens

confirmant l'appartenance du groupement à des pelouses orophiles montagnardes à subalpines, associées à des éboulis stabilisés, soumises à un climat froid et à une forte influence nivale. Les relevés produits par le Conservatoire botanique national des Pyrénées Midi-Pyrénées sur la chaîne des Pyrénées, au-delà des espèces indicatrices, ne semblent pas avoir beaucoup d'espèces en commun avec le relevé des Pyrénées-Orientales mis à part *Silene ciliata* qui est cité dans l'ouvrage de Ernst comme indicatrice du *Thlapsio-Armerietum cantabricae*.

Les résultats de cette étude mettent en lumière la complexité de la reconnaissance des pelouses calaminaires. Bien qu'il existe un noyau d'espèces végétales récurrentes sur la zone d'étude, telles que *Silene vulgaris*, *Armeria arenaria*, *Noccaea caerulescens* et *Agrostis capillaris*, la composition globale de la communauté végétale varie en fonction des conditions environnementales locales. Ainsi, si ces espèces indicatrices constituent un premier critère d'identification, elles ne suffisent pas à elles seules à caractériser cet habitat.

Sur le terrain, l'identification de ces pelouses s'appuie avant tout sur la présence d'espèces caractéristiques qui, bien que non absentes des milieux environnants, y sont rares ou localisées. Par exemple, *Silene vulgaris* n'est pas courante en pelouse subalpine classique, mais est présente sur tout le territoire de la zone d'étude. Or, si un patch de *Silene vulgaris* est observé au milieu d'une pelouse subalpine, cela peut indiquer un micro-habitat métallifère ou une influence édaphique particulière, typique des pelouses calaminaires. Ces espèces, bien que non exclusives, forment un signal fort lorsqu'elles sont associées à un cortège végétal clairsemé et peu diversifié, reflétant des conditions édaphiques extrêmes (sols riches en métaux lourds, oligotrophie).

DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Cette étude a permis d'enrichir de manière significative les connaissances sur les pelouses calaminaires de l'habitat 6130 dans l'ancienne région Languedoc-Roussillon. Elle a confirmé leur présence dans quatre départements tout en précisant leurs caractéristiques écologiques et phytosociologiques. Les pelouses calaminaires identifiées se situent fréquemment à proximité de sols issus du Cambrien, suggérant une corrélation entre la nature géologique du substrat et la présence de ce type d'habitat. Cette observation renforce l'idée que leur répartition n'est pas aléatoire, mais liée à des conditions géologiques spécifiques favorisant l'accumulation de métaux lourds.

La classification des pelouses calaminaires reste complexe. Historiquement associées à la classe des *Violetea calaminariae* (Ernst, 1965), définie à partir de communautés végétales d'Europe centrale, cette classification présente des limites notables. Elle repose en effet sur des espèces qui s'avèrent davantage être des écomorphoses d'espèces à large amplitude écologique que des taxons distincts. De plus, les unités internes à cette classe partagent peu d'espèces entre elles et sont souvent caractérisées par des micro-endémiques ou des microtaxons aujourd'hui non reconnus dans les référentiels actuels (Corriol et al., 2022).

Les relevés réalisés mettent en évidence un recouvrement en espèces faible à modéré, une diversité floristique globalement faible (entre 12 et 17 espèces par relevé) et confirment une composition spécifique dominée par des taxons indicateurs mais pourtant à large répartition, tels que *Noccaea caerulea*, *Armeria arenaria*, *Silene vulgaris* et *Agrostis capillaris*. Ces pelouses se distinguent par la présence d'associations végétales particulières, rarement observées ailleurs, et par une structure floristique simplifiée, qui constitue un critère d'identification majeur de ces milieux.

L'analyse phytosociologique des relevés réalisés met en évidence une forte hétérogénéité floristique et écologique des pelouses calaminaires étudiées, reflet direct de la diversité géologique, climatique et altitudinale du territoire. Ces communautés végétales, bien que partageant certaines espèces indicatrices de sols métallifères, se rattachent à des ensembles phytosociologiques variés selon les contextes locaux. Ce gradient, allant des pelouses montagnardes froides aux garrigues méditerranéennes sèches, illustre la plasticité écologique des communautés métalphytes et leur capacité à se structurer en fonction des conditions locales (substrat, altitude, gestion, climat). Ces résultats confirment que les pelouses calaminaires ne forment pas un ensemble homogène relevant d'une seule classe phytosociologique, mais regroupent au contraire des communautés variées. Ces communautés métallophiles semblent souvent résulter de convergences écologiques sur substrats métallifères, représentant ainsi des formes particulières de groupements déjà présents à proximité sur des zones non métallifères. Elles nécessiteraient une analyse fine et localisée pour être correctement intégrées aux politiques de gestion et de conservation.

Les pelouses calaminaires observées dans le cadre de cette étude ont toutes été recensées en situation secondaire, résultant de l'exploitation ou du remaniement d'anciens sites miniers. Il n'a pas été identifié d'habitat naturel métalphyte sur la zone d'étude, cela montre l'absence de tel habitat sur le territoire, en l'état des connaissances. Au-delà de leur caractérisation, la question de l'évaluation de leur état de conservation, de leurs perspectives d'évolution et des modalités de gestion adaptées demeure.

Les sites miniers constituent des habitats secondaires, issus de l'anthropisation du milieu naturel et de l'impact direct des activités minières. Bien que les pelouses calaminaires qui s'y trouvent soient visées par la directive habitat, elles ne peuvent être considérées comme des écosystèmes naturels au sens strict : leur existence dépend

directement de la pollution anthropique et de la persistance de conditions édaphiques toxiques. Ces pelouses calaminaires peuvent néanmoins être interprétées, dans une perspective écologique plus large, comme des systèmes pionniers en cours de régénération naturelle.

Trois facteurs principaux de transformation de ces milieux ont été identifiés. Le premier est la fermeture progressive du milieu, liée à la dynamique naturelle de recolonisation végétale par des espèces non métalrophytes et à la diminution des perturbations. Le second facteur est la dépollution biologique des sols par les espèces métalrophytes elles-mêmes, qui absorbent et immobilisent les métaux lourds dans leurs tissus, favorisant ainsi une amélioration progressive des conditions édaphiques (Baker & Brooks, 1989). Enfin, un troisième facteur joue un rôle clé : l'enrichissement des sols par le pâturage, qui peut modifier la composition chimique et la structure des sols, favorisant parfois l'installation d'espèces non métalrophytes ou modifiant la dynamique des communautés végétales existantes.

Les espèces métalrophytes telles que *Noccaea caerulescens*, *Armeria arenaria* ou *Agrostis capillaris* sont alors progressivement remplacées par des plantes moins tolérantes aux métaux, entraînant une augmentation de la diversité floristique. Ce processus de transition, souvent interprété comme une dégradation des pelouses métallifères, correspond en réalité à un retour vers un équilibre écologique plus stable (Antonovics *et al.*, 1971). La phytostabilisation et la phytoextraction naturelle par ces communautés contribuent à la réduction des concentrations de métaux lourds dans le sol (Macnair, 1993 ; Mendez & Maier, 2008). À mesure que la toxicité des substrats diminue, le milieu devient plus propice à l'installation de communautés végétales plus diversifiées, incluant des espèces non métalrophytes et, à terme, des formations herbacées, arbustives ou forestières plus complexes. Ainsi, pour les habitats secondaires marqué par une exploitation minière ancienne, la réduction progressive de la pollution métallifère marque une transition écologique : le site cesse d'être un habitat secondaire strictement anthropique et tend vers un écosystème semi-naturel stable, capable d'abriter une biodiversité plus riche. Ce processus s'inscrit dans une dynamique comparable à celle observée lors de la régénération naturelle d'autres milieux perturbés, où la végétation pionnière prépare le substrat pour des communautés plus matures (Bradshaw, 1997 ; Prach & Walker, 2011).

Néanmoins, ces habitats conservent une valeur patrimoniale élevée, notamment en raison de la rareté locale des espèces métalrophytes strictes qu'ils abritent. Il importe donc de concilier objectifs de restauration écologique et préservation de la spécificité floristique de ces milieux. En définitive, les pelouses calaminaires secondaires illustrent un paradoxe écologique : elles résultent d'une perturbation anthropique majeure, mais incarnent aussi un exemple de résilience et de coévolution sol-plante dans des environnements extrêmes. Leur "dégradation" apparente correspond souvent à une succession écologique positive, traduisant la capacité des écosystèmes à se restaurer et à retrouver un fonctionnement plus équilibré.

Certaines zones mentionnées dans la bibliographie, ciblées par le plan d'échantillonnage présenté précédemment, ou signalées par les agents du Parc national des Cévennes comme étant potentiellement riches en espèces métalrophiles, n'ont pas fait l'objet d'une prospection suffisante. En effet, seuls quatre jours de terrain ont pu être consacrés à la prospection, ce qui n'a pas permis de couvrir l'ensemble des sites de manière satisfaisante. C'est notamment le cas des secteurs autour de Saint-Laurent-le-Minier (massif de l'Aigoual), du Mazel (Mont Lozère), du Trévezel (secteur de Villemagne), ainsi que de sites proches de Rousson. De même, les sites situés entre le col du Mas de l'Ayre et Malarce, ou encore les remblais miniers de Bédouès-Cocurès et de Florac, présentent une flore métalrophile intéressante mais encore mal connue. Les sites communiqués par les agents du Parc national des Cévennes n'ont été signalés qu'après le début de l'étude, ils n'ont donc pas pu être intégrés au plan d'échantillonnage. Ces zones constituent des milieux à fort potentiel floristique, qui mériteraient une attention particulière dans le cadre de recherches futures.

Le secteur de Graissessac, bien connu pour ses anciennes exploitations minières de plomb et de zinc, illustre bien ces lacunes. Bien qu'un site à végétation métalrophile y ait été identifié lors des prospections (Taussac la

Billière), les prospections initiales n'ont pas permis d'explorer l'ensemble du secteur de manière exhaustive. En effet le secteur est vaste - des centaines d'hectares - et avec des zones à potentiel variable et des difficultés d'accès. Les remblais miniers et terrils, souvent difficiles d'accès, n'ont pas été suffisamment investigués alors qu'ils pourraient abriter des espèces présentes sur ces habitats, telles que *Noccaea caerulea* ou *Armeria arenaria*. L'absence de prospection approfondie dans ces zones représente ainsi une lacune importante, compte tenu du fort potentiel écologique qu'elles présentent.

Par ailleurs, le département des Pyrénées-Orientales n'a fait l'objet que d'une journée de terrain, limitant la connaissance de ce secteur pourtant prometteur. Les conditions de relief et d'accès y sont particulièrement contraignantes, mais il est probable que d'autres anciens sites miniers, notamment autour de Prats-de-Mollo et du Canigou, recèlent des communautés floristiques d'intérêt. Ces zones, bien que difficiles d'accès, devraient donc faire l'objet de futures explorations ciblées.

Enfin, le département de l'Aude n'a pu être exploré dans le cadre de cette étude, faute de temps. Même si le potentiel métallophyte y est considéré comme plus modéré, certaines zones - notamment autour des anciens sites miniers d'Axat et des environs de Quillan - mériteraient d'être visitées afin d'affiner la connaissance de la flore calaminaire dans ce secteur.

En conclusion, le potentiel de découverte de nouvelles pelouses calaminaires et d'espèces métallophiles est réel en Languedoc-Roussillon. Une exploration plus systématique des zones encore peu étudiées permettrait non seulement d'enrichir la compréhension des écosystèmes métallophytes régionaux, mais aussi de fournir des données essentielles pour la gestion et la conservation de ces habitats rares et sensibles. À terme, la mise en place de suivis écologiques sur les sites les plus représentatifs contribuerait à mieux évaluer l'évolution de la végétation métallophile dans le temps et à affiner les stratégies de préservation à l'échelle régionale.

BIBLIOGRAPHIE

Antonovics, J., Bradshaw, A. D., & Turner, R. G. (1971). Heavy metal tolerance in plants. *Advances in Ecological Research*, 7, 1–85.

Baker, A. J. M., & Brooks, R. R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements: A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 1, 81-126

Bardat, J., Bioret, F., Botineau, M., Boulet, V., Delpech, R., Géhu, J.-M., Haury, J., Lacoste, A., Rameau, J.-C., Royer, J.-M., Roux, G., & Touffet, J. (2004). *Prodrome des végétations de France*. Publications scientifiques du Muséum national d'Histoire naturelle, Patrimoines Naturels 61

Bensettiti, F., Rameau, J.-C., Chevallier, H., Bartoli, M., & Gourc, J. (2001). « Cahiers d'habitats » *Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 1 - Habitats forestiers*. Cahiers d'habitats. MATE/MAP/MNHN. Documentation française, Paris.

Bensettiti, F., Barbier, B., Bioret, F., Bellan-Santini, D., Botté, F., Boulet, V., Clainche, N., Cornier, T., Delahaye, T., Dupieux, N., Foucault (de), B., Gaudillat, V., Grillas, P., Guerlesquin, M., Guyot, I., Lacoste, A., Lambert, E., Lazare, J.-J., Peschadour, F., Plaige, V., Rameau, J.-C., & Yavercovski, N. (2002). « Cahiers d'habitats » *Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 3 - Habitats humides*. Cahiers d'habitats. MATE/MAP/MNHN. La Documentation française, Paris.

Bensettiti, F., Bioret, F., Roland, J., Lacoste, J.-P., Géhu, J.-M., Glémarec, M., Bellan-Santini, D., Salaün, M., & Giraudet, J. (2004a). « Cahiers d'habitats » *Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 2 - Habitats côtiers*. Cahiers d'habitats. MEDD/MAAPAR/MNHN. Documentation française, Paris.

Bensettiti, F., Herard-Logereau, K., Van Es, J., Balmain, C., Bardat, J., Boulet, V., Foucault (de), B., Guyot, I., Hardegen, M., Juberthie, C., Kessler, P., Lazare, J.-J., Loisel, R., Médail, F., Molina, J., Rameau, J.-C., & Reynaud, L. (2004b). « Cahiers d'habitats » *Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 5 - Habitats rocheux*. Cahiers d'habitats. MATE/MAP/MNHN. Documentation française, Paris.

Bensettiti, F., Boulet, V., Chavaudret-Laborie, C., Deniaud, J., Alard, D., Botineau, M., Clément, B., Van Es, J., Foucault (de), B., Gamisans, J., Gaultier, C., Géhu, J.-M., Lacoste, A., Largier, G., Lazare, J.-J., Loisel, R., Médail, F., Muller, S., Pages, J.-P., Paradis, G., Penin, D., Rameau, J.-C., & Royer, J.-M. (2005a). « Cahiers d'habitats » *Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 4 - Vol 1 - Habitats agropastoraux*. Cahiers d'habitats. MEDD/MAAPAR/MNHN. La Documentation française, Paris.

Bensettiti, F., Boulet, V., Chavaudret-Laborie, C., Deniaud, J., Alard, D., Botineau, M., Clément, B., Van Es, J., Foucault (de), B., Gamisans, J., Gaultier, C., Géhu, J.-M., Lacoste, A., Largier, G., Lazare, J.-J., Loisel, R., Médail, F., Muller, S., Pages, J.-P., Paradis, G., Penin, D., Rameau, J.-C., & Royer, J.-M. (2005b). « Cahiers d'habitats » *Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 4 - Vol 2 - Habitats agropastoraux*. Cahiers d'habitats. MEDD/MAAPAR/MNHN. La Documentation française, Paris.

Bizoux, J.-P. (2006). *Biologie de la conservation d'une métallophyte endémique : Viola calaminaria*. Thèse, Université de Liège-Gembloux.

- Bradshaw, A. D. (1997). Restoration of mined lands — using natural processes. *Ecological Engineering*, 8(1–2), 255–269.
- Braun-Blanquet, J. (1964). *Pflanzensoziologie: Grundzüge der Vegetationskunde* (3^e éd.). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-7091-8110-2>
- Braun-Blanquet, J., Roussine, N., & Nègre, R. (1952). *Les groupements végétaux de la France méditerranéenne*. Centre National de la Recherche Scientifique, Montpellier.
- Chytrý, M., & Otýpková, Z. (2003). Plot sizes used for phytosociological sampling of European vegetation. *Journal of Vegetation Science*, 14(4), 563–570.
- Corriol, G., Prud'homme, F., Laigneau, F., & Kessler, F. (2022). Validation de quelques associations végétales inédites des Pyrénées et de Midi-Pyrénées. *Le Monde des Plantes*, 519, 3–19.
- Donadille, P. (1969). Études écologiques et phytosociologiques sur la végétation des pelouses métallifères des Pyrénées. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 116, 221–235.
- Donadille, P. (1980). Les pelouses métallifères des Pyrénées orientales : écologie et phytosociologie. *Acta Botanica Gallica*, 127(4), 275–289.
- Donadille, P. (1985). *Flore et végétation des substrats métallifères des Alpes et des Pyrénées*. CNRS Éditions, Paris.
- Drude, O. (1902). Der hercynische Florenbezirk. In A. Engler & O. Drude (Eds.), *Die Vegetation der Erde: Sammlung pflanzengeographischer Monographien* (Vol. 6). Leipzig: W. Engelmann.
- Ernst, W. (1965). *Ökologisch-soziologische Untersuchungen der Schwermetall-Pflanzengesellschaften Mitteleuropas unter Einschluß der Alpen* (Abhandlungen aus dem Landesmuseum für Naturkunde zu Münster in Westfalen, 27(1), 1–54). Landesmuseum für Naturkunde zu Münster in Westfalen.
- Ernst, W. (1966). *Ökologisch-soziologische Untersuchungen an Schwermetallpflanzengesellschaften Mitteleuropas* (Flora 156 (3), 237–372). *Flora – Allgemeine botanische Zeitung*.
- Ernst, W. (1974). *Schwermetallvegetation der Erde*. Stuttgart.
- Ernst, W. (1976). *Prodrome of the European Plant-Communities, 3: Violetea calaminariae*. Vaduz.
- EUNIS (European Nature Information System). (2025a). Habitat Type 34.2 – Heavy Metal Grasslands. European Environment Agency. <https://eunis.eea.europa.eu>
- EUNIS (European Nature Information System). (2025b). E1.B Heavy-metal grasslands / R1S Heavy-metal grassland in Western and Central Europe.
- European Commission. (2013). *Interpretation manual of European Union habitats - EUR28*. Commission Européenne DG Environnement.
- European Environment Agency (EEA). (2025a). *EUNIS habitat classification 2025*. Copenhagen : EEA.
- European Environment Agency (EEA). (2025b). EUNIS habitat type E1.B – Heavy-metal grasslands. European Environment Agency. <https://eunis.eea.europa.eu>
- de Foucault, B. (2021). *Miscellanées phytosociologiques II : syntaxons nouveaux, validés, complétés ou corrigés. Carnets botaniques* (n° 70), 1–22. Société botanique d'Occitanie.
- Gayet G., Baptist F., Maciejewski L., Poncet R., Bensettiti F., 2025. *Guide de détermination des habitats terrestres et marins de la typologie EUNIS*. Guides et protocoles, Office français de la biodiversité (OFB), Paris, 2025, 120 p.

Gaudillat, V., Argagnon, O., Bensettiti, F., Bioret, F., Boulet, V., Causse, G., Choynet, G., Coignon, B., Foucault, B. D., Delassus, L., Duhamel, F., Fernez, T., Herard, K., Lafon, P., Foulter, A. L., Panaïotis, C., Poncet, R., Prud'homme, F., Rouveyrol, P., & Villaret, J.-C. (2018). *Habitats d'intérêt communautaire : actualisation des interprétations des Cahiers d'habitats*. UMS PATRINAT/FCBN/MTES.

Hanus-Fajerska, E., Ciarkowska, K. & Muszyńska, E. Long-term field study on stabilization of contaminated wastes by growing clonally reproduced *Silene vulgaris* calamine ecotype. *Plant Soil* **439**, 431–445 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04043-8>

JNCC (Joint Nature Conservation Committee). (2025a). *Natura 2000 and Calaminarian Grasslands in the United Kingdom*. UK Government / JNCC. <https://jncc.gov.uk>

JNCC (Joint Nature Conservation Committee). (2025b). 6130 Calaminarian grasslands of the *Violetalia calaminariae* (Special Areas of Conservation). <https://sac.jncc.gov.uk/habitat/H6130/>

Julve, P. (1998-2016). *Baseveg : Répertoire synonymique des unités phytosociologiques de France*. eVeg. <https://www.e-veg.net/>

Koch, W. (1932). Beiträge zur Kenntnis der Vegetation der Erzberge. *Botanische Jahrbücher*, **65**, 123–170.

Lafon, P., Argagnon, O., Belaud, A., Catteau, E., Causse, G., Corriol, G., ... Soucanyé de Landevoisin, C.-A. (2024). *Catalogue de la végétation de France métropolitaine (CatVeg). Harmonisation jusqu'au rang de la sous-alliance et répartition départementale*. Bulletin de la Société Botanique du Nord de la France, numéro spécial, 372 p.

Lambinon, J., Delvosalle, L., & Duvigneaud, J. (1992). *Nouvelle Flore de la Belgique, du Grand-Duché de Luxembourg, du Nord de la France et des régions voisines* (4^e éd.). Meise : Jardin Botanique National de Belgique.

Lanuv NRW. (2025). *Schwermetallrasen (6130)*. Methoden der Biotopkartierung und Naturschutzinformationen. <https://methoden.naturschutzinformationen.nrw.de/methoden/de/anleitung/6130>

Libbert, W. (1930). *Mitteilungen der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft in Niedersachsen*, **2** (pp. 1–66). Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft.

Louvel J., Gaudillat V. & Poncet L., 2013. *EUNIS. Correspondances entre les classifications EUNIS et CORINE Biotopes. Habitats terrestres et d'eau douce. Version 1*. MNHN-DIREV-SPN, MEDDE, Paris, 43 p.

Macnair, M. R. (1993). The genetics of metal tolerance in vascular plants. *New Phytologist*, **124**(4), 541–559.

Mendez, M. O., & Maier, R. M. (2008). Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments — an emerging remediation technology. *Environmental Health Perspectives*, **116**(3), 278–283. <https://doi.org/10.1289/ehp.10608>

Mucina, L., Bültmann, H., Dierßen, K., Theurillat, J.-P., Raus, T., Čarni, A., Šumberová, K., Willner, W., Dengler, J., García, R. G., Chytrý, M., Hájek, M., Di Pietro, R., Iakushenko, D., Pallas, J., Daniëls, F. J. A., Bergmeier, E., Santos-Guerra, A., Ermakov, N., Valachovič, M., Schaminée, J. H. J., Lysenko, T., Didukh, Y. P., Pignatti, S., Rodwell, J. S., Capelo, J., Weber, H. E., Solomeshch, A., Dimopoulos, P., Aguiar, C., Hennekens, S. M., & Tichý, L. (2016). Vegetation of Europe: Hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. *Applied Vegetation Science*, **19**(Suppl. 1), 3–264. <https://doi.org/10.1111/avsc.12257>

OFB (Office Français de la Biodiversité). (2022). *Typologie et répartition des habitats Natura 2000 en France*. Office Français de la Biodiversité / INPN. <https://inpn.mnhn.fr>

Open Data Kit Collect [logiciel]. (2010). Versions ODK Collect v2021.3.4. <https://getodk.org/>

Prach, K., & Walker, L. R. (2011). Four opportunities for studies of ecological succession. *Trends in Ecology & Evolution*, **26**(3), 119–123.

- Preislerová, Z., Jiménez-Alfaro, B., Mucina, L., Berg, C., Bonari, G., Kuzemko, A., Landucci, F., Marcenò, C., Monteiro-Henriques, T., ... & Dengler, J. (2022). Distribution maps of vegetation alliances in Europe. *Applied Vegetation Science*, 25(1), e12642. <https://doi.org/10.1111/avsc.12642>
- Prieto, M., Martínez, I., Aragón, G., & Otálora, M. A. G. (2017). Lichens as indicators of environmental quality in metal-rich habitats: Bioaccumulation and tolerance mechanisms. *Environmental Pollution*, 228, 243–252. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.05.029>
- Prud'homme, F. (2005). Les pelouses métallicoles du *Violion calaminariae* (Schwick.1933) V.Westh., Dijk & Passchier 1946 dans les Pyrénées. *Isatis*, n°5.
- Rodwell, J. S. (1992). *British Plant Communities, Vol. 5: Maritime Communities and Vegetation of Open Habitats*. Cambridge University Press.
- Rodwell, J. S., Evans, D., & Schaminée, J. H. J. (2018). Phytosociological relationships in European Union policy-related habitat classifications. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 29, 237–249.
- Schwartz, C. Phytoextraction des métaux des sols pollués par la plante hyperaccumulatrice *Thlaspi caerulescens*. Sciences de l'ingénieur. Institut National Polytechnique de Lorraine, 1997. Français.
- Tison, J. M., & de Foucault, B. (2014). *Flora gallica: flore de France*. Biotope.
- Tison, J. M., Jauzein, P., & Michaud, H. (2014). *Flore de la France méditerranéenne continentale*. Turriers : Naturalia publications.
- Tutin, T. G., Heywood, V. H., Burges, N. A., Valentine, D. H., Walters, S. M., & Webb, D. A. (1964). *Flora Europaea – Volume 1: Lycopodiaceae to Platanaceae*. Cambridge University Press.
- Twardowska, I. (2004). Ecotoxicology, environmental safety, and sustainable development—challenges of the third millennium. *Ecological economics*, 58(1), 0–6. doi:10.1016/j.ecoenv.2004.03.008

ANNEXES

Tableau 2 : Relevés phytosociologiques

Localisation (Identifiant relevé)	Porté Puymorens (15129914)	Le Mazel (15039942)	Montardier (15038243)	Montardier (14989267)	Taussac la Billière (14984313)	Saint Laurent le Minier (14989266)	
Recouvrement cailloux (%)	80	0	0	30	80	0	
Recouvrement végétation (%)	20	95	70	45	20	90	
Pente (°)	42	7	2	5	42	5	
Altitude (m)	2133	1149	443	425	363	234	
Département	66	48	30	30	34	30	
<i>C - Violetea calaminarea</i>							
<i>Silene vulgaris</i>	1	1				1	III
<i>O - Violetalia calaminariae</i>							
<i>Agrostis capillaris</i>	1				1		II
<i>Festuca sp.</i>	1	2	1		1	1	V
<i>Al - Thlaspion calaminariae</i>							
<i>Noccaea caerulea</i>		1			1		II
<i>Ass - Thlaspio-armerietum plantaginea</i>							
<i>Armeria arenaria</i>		1	1	1	1	1	V
<i>Ass - Thlaspio-armerietum cantabricae</i>							
<i>Silene ciliata</i>	1						I
<i>Thlaspietea rotundifolii</i>							
<i>Carduus carlinoides</i>	1						I
<i>Rumex scutatus</i>	1						I
<i>Nardetea stricta et Caricetea curvulae</i>							
<i>Lotus corniculatus subsp. alpinus</i>	1						I
<i>Thymus nervosus</i>	1						I
<i>Festuco-Brometea</i>							
<i>Dianthus hyssopifolius</i>	1						I
<i>Achillea millefolium</i>	1						I
<i>Rumex acetosa subsp. acetosa</i>		1					I
<i>Lotus corniculatus</i>		1	1			1	III
<i>Euphorbia cyparissias</i>			1				I
<i>Poterium sanguisorba</i>			1				I
<i>Dianthus carthusianorum subsp. carthusianorum</i>			1				I
<i>Scabiosa columbaria</i>			1	1			II

<i>Leucanthemum graminifolium</i>				1			I
<i>Galium corrudifolium</i>					1		I
<i>Leontodon crispus</i>					1		I
<i>Galium album</i>					1		I
<i>Helianthemum nummularium</i>						1	I
<i>Arrhenatheretea elatioris</i>							
<i>Galium verum subsp. verum</i>	1						I
<i>Galium mollugo</i>		1					I
<i>Rhinanthus minor</i>		1					I
<i>Trifolium pratense</i>		1					I
<i>Dactylis glomerata</i>			1	1			II
<i>Trifolio medii-Geranietea sanguinei</i>							
<i>Cervaria rivini</i>			1				I
<i>Hypericum perforatum</i>				1			I
<i>Solidago virgaurea</i>				1			I
<i>Centaurea pectinata</i>					1		I
<i>Quercetea pubescentis</i>							
<i>Amelanchier ovalis</i>				1			I
<i>Buxus sempervirens</i>				1			I
<i>Pinus nigra subsp nigra</i>				1			I
<i>Quercus pubescent</i>			1				
<i>Lygeo sparti-Stipetea tenacissimae</i>							
<i>Thymus vulgaris</i>			1	1		1	III
<i>Reichardia picroides</i>						1	I
<i>Anthyllis vulneraria subsp. rubriflora</i>						1	I
<i>Dactylis glomerata subsp. hispanica</i>						1	I
<i>Petrorhagia prolifera</i>			1			1	II
<i>Agropyretea intermedio-repentis</i>							
<i>Plantago lanceolata</i>			1			1	III
<i>Silene latifolia</i>						1	I
<i>Sedo albi-Scleranthetalia biennis</i>							
<i>Jasione montana</i>			1		1	1	III
<i>Scleranthus perennis subsp. polycnemoides</i>	1						I
<i>Autres espèces</i>							
<i>Thymus Sect. Serpyllum</i>		1					I
<i>Galium lucidum</i>		1		1		1	III
<i>Blackstonia perfoliata subsp. perfoliata</i>			1	1			II
<i>Cistus salviifolius</i>					1		I
<i>Linaria repens</i>	1						I
<i>Cerastium arvense</i>		1					I
<i>Genista pilosa</i>			1				I
<i>Arenaria hispida</i>				1			I
<i>Arenaria serpyllifolia</i>		1					I
<i>Trifolium campestre</i>			1				I
<i>Echium vulgare</i>						1	I
<i>Brachypodium sylvaticum</i>				1			I
<i>Molinia arundinacea</i>				1			I
<i>Biscutella lima</i>				1		1	II
<i>Cerastium glutinosum</i>			1				I
<i>Carex muricata</i>		1					I

<i>Chamaenerion angustifolium</i>	1						1
<i>Myosotis sp.</i>	1						1
Nombre total de taxons	15	16	17	16	12	16	



**CONSERVATOIRE
BOTANIQUE NATIONAL
MÉDITERRANÉEN**

Contact

Siège

34 avenue Gambetta
83400 Hyères
04 94 16 61 40
contact@cbnmed.fr

**Antenne Occitanie -
Languedoc-Roussillon**
Agropolis International
1000 Avenue Agropolis
34090 MONTPELLIER

Antenne Alpes-Maritimes
Villa Thuret
90 chemin Raymond
06 160 Antibes
04 92 38 64 74

04 94 16 61 40

SUIVEZ-NOUS



POUR EN SAVOIR PLUS

www.cbnmed.fr
www.reseda-flore.eu
www.invmed.fr

Rédaction : Lise CANTU – Chargée de mission connaissance – Expertise végétations Occitanie – Appui Natura 2000
Frédéric ANDRIEU – Chargé de mission connaissance – Expert et référent flore Occitanie
Olivier ARGAGNON – Chargé de mission connaissance – Expert et référent végétation Occitanie

Mots-clés :

Pelouses calaminaire ; HIC 6130 ; *Violeteae calaminariae*

Référence bibliographique :

Cantu, L., Andrieu, F., & Argagnon, O. (2026). *Caractérisation des pelouses calaminaires (6130)*. Conservatoire botanique national méditerranéen.

Date de réalisation : Avril 2026

Photographie de couverture : Lise CANTU – *Pelouse calaminaire*

