

Année 2021-2022

MASTER Biodiversité Ecologie et Evolution (BEE TE)

Finalité : Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes (BioEffect)

Mémoire de 1^{ère} année de Master

**Différenciation morphologique
de *Teucrium polium* subsp. *purpurascens*
des autres germandrées du Parc National des Calanques**

présenté par : TRANCHAT CASSARD Stéphanie



Germandrée, Mont Rose (Marseille), photographie A. Baumel

Responsables du TC3 TE : B. Talon, V. Baldy, C. Fernandez

Structure d'accueil : Institut Méditerranéen de Biodiversité et Ecologie marine et continentale (IMBE)

Tuteur universitaire : Alex Baumel

Année 2021-2022

MASTER Biodiversité Ecologie et Evolution (BEE, téléenseignement)

Finalité : Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes (BioEffect)

Mémoire de 1^{ère} année

(article de recherche)

**Différenciation morphologique
de *Teucrium polium* subsp. *purpurascens*
des autres germandrées du Parc National des Calanques**

présenté par : TRANCHAT CASSARD Stéphanie

Structure d'accueil : Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie Marine et Continentale (IMBE) Station Marine d'Endoume, Marseille.

Encadrant et tuteur universitaire : Alex Baumel, Maître de conférences à Aix-Marseille Université, enseignant chercheur, équipe Origine et Evolution de la Biodiversité de l'IMBE.

Charte relative à la lutte contre le plagiat de l'Université d'Aix-Marseille

Approuvée par le Conseil des Etudes et de la Vie Universitaire de l'Université d'Aix-Marseille en date du 4 octobre 2012,

Approuvée par le Conseil Scientifique de l'Université d'Aix-Marseille en date du 16 octobre 2012,
Approuvée par le Conseil d'Administration de l'Université d'Aix-Marseille en date du 27 novembre 2012,

Préambule

Afin de garantir la qualité des diplômes délivrés à ses usagers, l'originalité des publications pédagogiques et scientifiques de ses personnels enseignants et/ou chercheurs, et faire respecter les droits de propriété intellectuelle des auteurs, l'Université d'Aix-Marseille est engagée dans la lutte contre le plagiat.

Les travaux réalisés par les usagers et par les personnels de l'Université doivent répondre à l'ambition de produire un savoir inédit et d'offrir une lecture nouvelle et personnelle d'un sujet.

Les travaux concernés par cette obligation sont notamment : les thèses, les mémoires, les articles, les supports de cours, sans que cette liste soit exhaustive.

Article 1

Le plagiat consiste à reproduire un texte, une partie d'un texte, toute production littéraire ou graphique, ou les idées originales d'un auteur, sans lui en reconnaître la paternité

Tout plagiat, quel qu'en soit le support, constitue une faute.

Le plagiat constitue à la fois la violation la plus grave de l'éthique universitaire et un acte de contrefaçon. C'est un délit au sens de l'article L 335-2 du code de la propriété intellectuelle.

En outre, le fait de commettre un plagiat dans un document destiné à être publié constitue une circonstance aggravante.

Article 2

Les usagers et les personnels de l'Université ne doivent pas commettre de plagiat dans leurs travaux.

Article 3

Les reproductions de courts extraits de travaux préexistants en vue d'illustration ou à des fins didactiques sont admises sans nécessité de demander le consentement de l'auteur, uniquement dans le strict respect de l'exception de courte citation.

Dans ce cadre, les usagers et les personnels de l'Université s'engagent, lorsqu'ils reproduisent de courts extraits de tels travaux, à identifier clairement qu'il s'agit d'un emprunt, en apposant des guillemets, et en indiquant le nom de l'auteur et la source de l'extrait.

Article 4

L'Université d'Aix-Marseille est attachée au respect des droits de propriété intellectuelle et se réserve la possibilité de rechercher les tentatives de plagiat, notamment par l'utilisation d'un logiciel adapté.

Article 5

Les cas présumés de plagiat feront l'objet de poursuites engagées par l'Université devant les instances compétentes, et leurs auteurs seront passibles de sanctions disciplinaires.

Ces violations des droits de propriété intellectuelle pourront également donner lieu à des poursuites judiciaires.

Je, soussignée, Stéphanie Trachat Cassard certifie avoir pris connaissance de la présente charte et l'avoir respectée

Fait à Les Valayans, le 28 juillet 2022

Signature :



Remerciements

Je remercie Alex Baumel pour sa disponibilité et la qualité de son encadrement. J'ai pu profiter de nombreux apports pratiques et théoriques ainsi que d'échanges enrichissants autour des nombreuses questions soulevées par la problématique de ce stage. Ce fut passionnant.

Je remercie aussi les équipes de la station d'Endoume pour leur accueil, en particulier Sandrine Chenesseau pour la visite sécurité et toute son aide au laboratoire ainsi que Virgile Calvert pour sa bienveillance.

J'en profite aussi pour remercier les enseignants d'Aix-Marseille Université de m'avoir donné la chance de suivre ce Master. Vos enseignements m'ont ouvert les portes de domaines que j'ai hâte de continuer à explorer l'année prochaine.

RESUME

Les plantes du genre *Teucrium* L. sont communément appelées germandrées. Leur systématique est complexe. Plusieurs taxons sont présents dans le Parc National des Calanques, or seule la sous-espèce endémique des Bouches du Rhône, *Teucrium polium* subsp. *purpurascens* (Benth.) S. Puech, 1976 bénéficie d'un statut de protection. Puech l'a décrite en 1976 sur les Iles du Frioul et sur la côte, à Montredon. Depuis, aucune recherche n'a porté sur les germandrées de la région marseillaise. Il est donc nécessaire de parvenir à différencier la germandrée purpurine, aux fleurs le plus souvent roses, des autres germandrées du parc et d'en délimiter la distribution pour la protéger au mieux. Une étude exploratoire menée en 2021 a montré qu'un grand nombre d'individus du parc possédaient certaines caractéristiques morphologiques des 3 types, *T. polium* subsp. *polium*, *T. polium* subsp. *purpurascens* et *T. aureum*. Ces premières observations n'ont pas permis de délimiter clairement les 3 taxons. La couleur des fleurs n'est pas un critère morphologique suffisant pour les différencier. Un nouveau recueil de données a eu lieu lors de la floraison 2022 avec une liste de caractéristiques morphologiques plus exhaustive et l'intégration d'individus du Massif de la Sainte Baume. En effet, des individus considérés comme typiques de *T. polium* subsp. *polium* se trouvent sur les versants et les *T. aureum* sont sur les crêtes du massif. Cette fois, l'analyse montre que les individus des îles du Frioul partagent un ensemble de caractères morphologiques correspondant au type *T. polium* subsp. *purpurascens*. Cependant, ces résultats ne nous permettent pas de restreindre la sous-espèce protégée à ces îles. Et la zone d'hybridation qui expliquerait le fort polymorphisme observé sur la zone côtière au sud de Marseille reste à explorer plus avant.

Mots clés : endémisme, conservation, polymorphisme, hybridation

SUMMARY

Species of the genus *Teucrium* (*Lamiaceae*) are commonly known as germanders. Their systematics are complex. Several taxa are present in the Calanques National Park. *Teucrium polium* subsp. *purpurascens* (Benth.) S. Puech, 1976 is an endemic subspecies of the Bouches du Rhône and it's the only taxon with a protected status. Puech described it on the Frioul islands and in Montredon, on the coast, in 1976. Since then, no research has been carried out on the germanders of the Marseilles region. It is therefore necessary to differentiate the purpurine germander, with flowers usually pink, from the other germanders and to delimit its distribution to best protect it. In 2021, a first study showed that many individuals mix some of the morphological characteristics of the 3 types: *T. polium* subsp. *polium*, *T. polium* subsp. *purascens* and *T. aureum*. Observations did not clearly delineate the 3 taxa. Flower colour is not a sufficient morphological criterion. A new data collection took then place during blooming 2022 with a more exhaustive list of morphological criteria. Individuals from the Sainte Baume massif have been also integrated. In fact, plants considered typical of *T. polium* subsp. *polium* are on the slopes and *T. aureum* are on the tops of this massif. This time, the analysis shows that individuals from the Frioul Islands share a set of morphological characters corresponding to the type *T. polium* subsp. *purpurascens*. However, these results do not allow us to restrict the protected subspecies to these islands. And the hybridization zone generating the strong polymorphism observed on the coastal zone south of Marseille remains to be explored further.

Key words: endemism, conservation, polymorphism, hybridization

Table des matières

INTRODUCTION	1
MATERIEL ET METHODES	3
DONNEES 2021.....	3
RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES.....	5
DONNEES 2022.....	5
RESULTATS	8
DONNEES 2021.....	8
RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES.....	11
DONNEES 2022.....	14
DISCUSSION	17
CONCLUSION.....	19
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	19

Liste des figures

- Figure 1** Carte des 234 individus *Teucrium* observés en 2021 sur 36 sites (points rouges) par les agents du PNCaI et des 50 individus échantillonnés en 2022 sur 14 sites (points bleus). Distribution des individus de couleur de corolle unie blanche, jaune et rose (données 2021). En noir, les 7 zones choisies pour analyser géographiquement les données. Codage des sites 2021 en minuscules et 2022 en MAJUSCULES. 4
- Figure 2** Graphiques issus de l'analyse en correspondances multiples, selon les axes 1 (18.97% d'inertie) et 3 (10.23% d'inertie), de 234 germandrées dans le PNCaI, prenant en compte les données morphologiques : couleur de fleur, couleur de la pilosité de l'inflorescence (tomentum), abondance de la pilosité, présence d'une odeur, port et taille des corolles..... 8
- Figure 3** Graphe de l'ACM avec le zonage géographique en variable supplémentaire. Les zones sont celles indiquées Figure 1. Les caractères morphologiques encadrés contribuent le plus aux axes..... 10
- Figure 4** Distribution des modalités morphologiques dans le plan d'axes 1 (acm1, inertie : 20.8 %) et 3 (acm3, inertie : 9.6 %) de l'ACM réalisée sur les données 2022. Les modalités aux contributions les plus importantes (valeurs dans le tableau en ANNEXE III) apparaissent dans les encadrés jaune, grisé et rose et correspondent aux trois types aureum, polium et purpurascens. 14
- Figure 5** Différenciation des 49 individus *Teucrium* sur la base de leur différences morphologiques (voir Figure 4) analysés en ACM illustrée selon la couleur des fleurs et selon les résultats d'une troncature de la CAH (figure du bas) en 5 groupes. Observations de 2022 dans le PNCaI..... 16

Liste des tableaux

Tableau 1 Critères morphologiques observés chez les 234 individus *Teucrium* en 2021. Description des variables et de leurs modalités utilisées dans les analyses..... 5

Tableau 2 Critères morphologiques retenus pour l'étude des individus *Teucrium* échantillonnés en 2022. Description des variables et de leurs modalités utilisées dans les analyses statistiques..... 6

Liste des annexes

ANNEXE I : Documents issus de la recherche bibliographique

- Tableau des caractéristiques morphologiques distinguant *T. aureum*, *T. polium* subsp. *polium* et *T. polium* subsp. *purpurascens* d'après la recherche bibliographique
- Dessin schématique de la conformation générale d'une fleur de *Teucrium*
- Photographie de l'inflorescence ramifiée d'une germandrée
- Répartition géographique sur la bordure occidentale de la Méditerranée des *Teucrium* de la section *Polium* (Puech, 1984)

ANNEXE II : Fiche de terrain utilisée pour l'observation des *Teucrium* en 2022.

ANNEXE III : Photographies des 3 types de germandrées présents dans le PNCaI

ANNEXE IV : Graphes des ACM

- Graphe de l'ACM réalisée sur les données 2021
- Graphes de l'ACM réalisée sur les données 2022

ANNEXE V : Scripts de l'analyse des données 2021 et 2022 avec le logiciel R

- Script analyse des données 2021
- Script analyse des données 2022
- Script carte des individus 2021 et 2022

INTRODUCTION

Les espèces du genre *Teucrium* L., les germandrées, forment le plus vaste genre des *Lamiaceae*, famille dont de nombreuses espèces comme la lavande (*Lavandula*) ou le thym (*Thymus*) synthétisent une grande diversité de métabolites secondaires (Nazar *et al.*, 2022). « *Teucrium* » vient d'ailleurs de Teucer, grand archer lors de la guerre de Troie, qui aurait été le premier à avoir utilisé les propriétés médicinales de ces plantes. 90% des 434 taxons du genre *Teucrium* sont présents autour de la Méditerranée en raison de la grande hétérogénéité topographique et climatique de ces régions (Navarro, 2020b). Mais, l'étendue géographique occupée par les germandrées, le nombre important d'espèces, la grande variation des phénotypes exprimés et des caryotypes (polyploïdie) ainsi que la récurrence des phénomènes d'hybridations et d'introgessions rendent extrêmement complexe la compréhension de la systématique de ce genre (Salmaki *et al.*, 2016 ; Ranjbar *et al.*, 2018). De Bentham en 1833 à Kästner en 1989, plusieurs classifications se sont succédées. Selon Salmaki (2016), le genre *Teucrium*, paraphylétique, se divise en 9 sections. L'une d'elle, la section *Polium* est monophylétique. D'après Navarro (2020a), la section *Polium* est un groupe d'espèces à la systématique particulièrement difficile, avec des radiations adaptatives par polyploïdie et qui sont particulièrement communes dans les zones exposées et perturbées de la région méditerranéenne. La sous-section *Polium* regroupe des herbacées pérennes, des arbrisseaux et arbustes. Elle comprend notamment les espèces *T. polium* L. (1753), *T. aureum* Schreb. (1774) et *T. capitatum* L. (1753). L'espèce *Teucrium polium*, la germandrée tomenteuse, est utilisée dans la médecine traditionnelle de nombreux pays, notamment pour ses propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antibactériennes. Ses activités biologiques et chimiques intéressent les industries pharmaceutiques, agro-alimentaires (Sharifi-Rad *et al.*, 2022) et chimiques (Rakhshan *et al.*, 2022). La différenciation morphologique des germandrées a aussi fait l'objet de nombreuses recherches. Celles-ci ont porté sur la morphologie des grains de pollen, des graines, des trichomes et des fleurs ainsi que sur les formes de croissances et ont été complétées par des analyses chimiques et génétiques (Puech 1984 ; El Oualidi & Puech 1993; Navarro, 2020a ; Pavlova & Vasileva, 2010). Cependant, la systématique phylogénétique et la délimitation des espèces n'ont pas encore été étudiées à l'échelle méditerranéenne. Il n'est donc pas certain qu'entre l'Ouest et l'Est ou entre le Nord et le Sud, il n'y ait pas des espèces différentes mais portant le même nom.

Dans le Parc National des Calanques (PNCal), l'identification difficile de *Teucrium polium* subsp. *purpurascens* (Benth.) S.Puech (1976) implique une problématique de conservation. En

effet, seule la germandrée purpurine bénéficie d'un statut de protection car cette sous-espèce est un taxon endémique des Bouches du Rhône (Pires et Pavon, 2018). Suzette Puech l'a décrite pour la première fois en 1976 dans les îles du Frioul et à Montredon, sur la côte marseillaise, zones incluses au PNCal. Mais aucune analyse des *Teucrium polium* présentes sur le Parc National n'a eu lieu depuis les travaux de Puech. Les germandrées à fleurs pourpres, blanches, jaunes et bigarrées sont toutes incluses dans *T. polium* subsp. *purpurascens* « sensu lato » dans les Flores locales (Tison *et al.*, 2014 ; Pires & Pavon, 2018 ; Pavon & Pires, 2020). De ce fait, l'identification des sous-espèces de *T. polium* et la délimitation de leur distribution à Marseille et dans les Calanques sont actuellement impossibles.

L'objectif est donc ici de trouver une combinaison de caractères fixée permettant de discriminer morphologiquement *Teucrium polium* subsp. *purpurascens* des autres germandrées présentes dans la région Marseillaise. Les statuts d'espèces et de sous-espèces, leur interfécondité et leur délimitation concrète pour la conservation sont par conséquent au cœur de cette problématique. Or la notion d'espèce est encore aujourd'hui source de débats. Frankham *et al.* dans « Implications of Different Species Concepts for Conserving Biodiversity » (2012) présentent 26 définitions de ce terme. Comment délimiter deux sous-ensembles d'individus ? Est-ce par leurs différences, leurs ressemblances, par leur niche écologique ou bien par quelques variations morphologiques ou moléculaires ? D'après Lherminier dans *De l'espèce* (Lherminier & Solignac, 2008), la fixité arbitraire de la classification des êtres vivants s'oppose à la réalité dynamique de leur évolution continue. Cependant, ce choix a des intérêts, notamment en termes de conservation, mais un découpage trop fin ou trop large peut avoir l'un comme l'autre des conséquences graves pour les populations concernées (Frankham *et al.* 2012 ; Hamilton & Miller, 2016). L'isolement reproductif et donc un flux de gènes nul ou faible sont considérés comme une frontière entre deux espèces, même si l'interfécondité reste toujours potentielle, et cela d'autant plus entre sous-espèces. Pour Lherminier (Lherminier & Solignac, 2008), le découpage de l'espèce en sous-espèces correspond à « une structuration spatiale et adaptative ». Se pose alors la question du maintien de deux sous-espèces en contact, alors qu'aucune barrière reproductrice ne s'oppose au flux de gènes. C'est bien la morphologie qui en théorie devrait permettre de différencier les espèces. Or, d'après la littérature (e.g. Puech, 1984), la couleur des fleurs diffère entre les taxons, rose ou blanche pour *Teucrium polium* subsp. *purpurascens*, uniquement blanche pour *Teucrium polium* subsp. *polium* et jaune pour *Teucrium aureum*. Ce sera donc un premier critère important à observer.

Cette étude, réalisée dans le cadre d'une collaboration entre le PNCal, le CBNMed et l'IMBE, a donc pour but de trouver des critères morphologiques utilisables par les agents du parc pour différencier *T. polium* subsp. *purpurascens* des autres taxons. Sa différenciation, indispensable à sa délimitation géographique, devrait permettre de mieux protéger ce taxon endémique. Ce travail s'est déroulé en trois temps. Dans une première phase, les données recueillies en juin 2021 sur un grand nombre d'individus répartis dans le PNCal ont été analysées. Cela a permis d'établir un premier zonage géographique des caractères morphologiques observés. Une deuxième phase de recherche bibliographique est venue compléter la liste des critères utiles à la différenciation des germandrées. Enfin, sur la base de ces résultats, nous avons réalisé une nouvelle étude sur le terrain et au laboratoire lors de la floraison 2022, afin de tester l'hypothèse selon laquelle l'ensemble des individus observés se structure en taxons morphologiquement distincts.

MATERIEL ET METHODES

DONNEES 2021

Les observations ont été réalisées en juin 2021 par les agents du PNCal sur 36 sites : sur les îles du Frioul, sur le littoral de Mont Rose à Morgiou et sur la côte ouest de La Ciotat ainsi que sur des zones plus continentales autour du sommet de Marseilleveyre (Figure 1). Des données morphologiques ont été récoltées sur 234 individus et accompagnées d'au moins deux photographies, de la localisation GPS et du type de substrat pour chaque individu. Les caractères morphologiques observés avaient été choisis dans une étape antérieure au stage : couleur de fleur, couleur de la pilosité de l'inflorescence, présence d'une pilosité abondante, port, odeur et taille de la corolle. Au début de ce stage, j'ai rassemblé, codé les données et vérifié celles-ci sur les photographies. Les mesures de longueurs des corolles, seules données quantitatives, ont été classées en 3 catégories : petite, moyenne et grande taille (Tableau 1).

J'ai groupé les sites proches géographiquement et ainsi constitué 7 zones afin de mieux visualiser et analyser la répartition géographique du polymorphisme. Les zones 1 à 5 se trouvent sur la côte, du Frioul (ouest) à La Ciotat (est). Les zones 6 et 7 sont plus continentales (Figure 1).

Sites 2021	ZONES	codage
frioul_ferme_se	1	fse
frioul_st_esteve_n		stn
frioul_st_esteve_w		stw
froul_ferme_piste_acces		fpa
callelongue	2	cal
cap_croisette		cro
capelan		cap
delavigne		del
escalette		esc
fortin_napoleon		for
mont_rose_nord		ron
mont_rose_w		row
poulidette		pou
samena		sam
marseilleveyre_pentes_w_batt	3	maw
marseilleveyre_rochers-est		mae
mounine		mou
plan_des_cailles_amont		cam
plan_des_cailles_aval	cav	
queyrons	que	
cap-morgiou_pointe_trioperie	4	mpt
cap_morgiou_est		mes
cap_morgiou_vallon_large		mvl
morgiou_renard_w		mrw
morgiou_sentier_rouge		msr
morgiou_vallon_cosquer		mvc
garde_et_figuerolles	5	gar
semaphore		sem
col_de_jarre	6	jar
marseilleveyre_sommet		mas
fontaine_de_voire_piste_acces	7	voi
morgiou_stele_w		mst
pierottiw		pie
sablère_anjarre_est		sab
traversee_grand_duc		duc
vallon_des_escampons		val
Sites 2022		codage
Pic du Massif de la Ste Baume		PIC
Col du Massif de la Ste Baume		COL
FRIOUL : port Pomègue		FRIPO
FRIOUL : batterie Cap Caveaux, Pomègue		FRICAV
FRIOUL : St Estève nord		FRIEST
FRIOUL : fort Ratonneau		FRIRAT
FRIOUL : près station d'épuration		FRIEPU
Parc A. Delavigne		PARC
Mont Rose		MTR
Fortin		FOR
Maronaise		MAR
Cap Croisette		CROI
Callelongue, rond point		RDP
Poulidette		POU

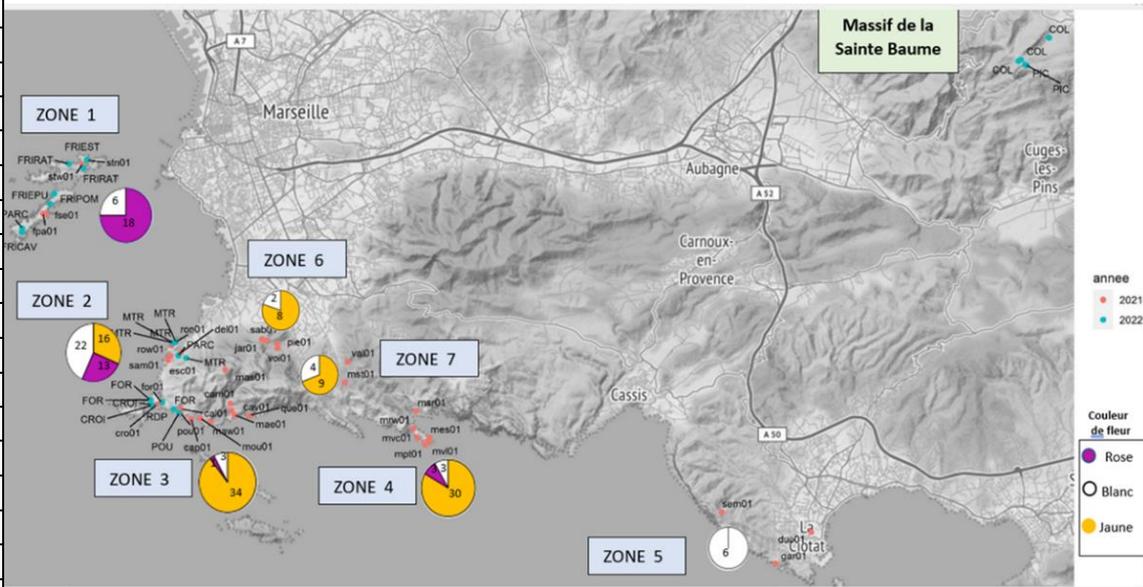


Figure 1 Carte des 234 individus *Teucrium* observés en 2021 sur 36 sites (points rouges) par les agents du PNCal et des 50 individus échantillonnés en 2022 sur 14 sites (points bleus). Distribution des individus de couleur de corolle unie blanche, jaune et rose (données 2021). En noir, les 7 zones choisies pour analyser géographiquement les données. Codage des sites 2021 en minuscules et 2022 en MAJUSCULES (tableau ci-contre).

L'objectif de l'analyse exploratoire des données était de dégager les premières tendances et les liens entre les différentes variables. Sur variables discrètes, l'objectif d'une analyse est d'établir si les données sont structurées c'est à dire si l'association entre les modalités des variables et les individus n'est pas aléatoire. Cela peut se faire grâce à des tableaux de contingences mais, du fait du grand nombre de variables, nous avons opté pour une analyse multivariée, adaptée à ce type de variables. Les analyses en correspondances multiples (ACM) ont été réalisées à l'aide du logiciel R (package ade4), en prenant les données morphologiques sus-citées comme variables soit 20 modalités pour 234 individus (voir Tableau 1).

Tableau 1 Critères morphologiques observés chez les 234 individus *Teucrium* en 2021.

Description des variables et de leurs modalités utilisées dans les analyses.

	VARIABLES ET SES DIFFERENTES MODALITES	CODAGE DES MODALITES
PORT	port érigé, diffus ou en coussin serré	e/d/c
ODEUR	présence d'une odeur remarquable ou absence d'odeur (ou très peu marquée)	1/0
COULEUR	couleur florale, rose / blanc / jaune	r / b / j
	deuxième couleur florale, rose / blanc / jaune	r / b / j
COROLLE	couleur du tomentum* de l'inflorescence, blanc / jaune/ vert / argenté	b/ j / v / a
	taille de la corolle petite (entre 4 et 6 mm) / moyenne (entre 7 et 8 mm) / grande (entre 9 et 10 mm)	p/ m/ g
PILOSITE	pilosité clairsemée / dense	0 / 1

* tomentum : zone recouverte de trichomes sur les plantes

RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES

Une recherche bibliographique s'est avérée nécessaire pour compléter la liste des critères morphologiques potentiellement utiles à l'identification de *Teucrium polium* subsp. *purpurascens*. Les principaux documents sont l'étude de Suzette Puech de 1984 ainsi que les flores locales, la *Flore des Bouches du Rhône* (Pavon et Pires, 2020) et la *Flore de la France méditerranéenne continentale* (Tison, Jauzein et Michaud, 2014). Les recherches sur google scholar ont apporté un ensemble important de travaux sur le genre *Teucrium* et sur la section *Polium*, notamment les autres contributions de Puech (1980, 1982, 1985, 1990, 2002), El Oualidi (1991, 1993, 1997, 1999, 2002, 2004) et Navarro (1997, 1999, 2004, 2020). Puech a étudié les *Teucrium* de la section *Polium* aux Baléares en 1980, en Tunisie en 1982, 1985 et 1990, dans le Bassin Méditerranéen en 1984 et 2002, et au Maroc en 1993. Les 3 auteurs ont écrit ensemble plusieurs articles qui portaient sur la différenciation morphologique, chimique ou génétique des germandrées. D'autres chercheurs se sont penchés sur la difficile systématique de ce genre. Le récent livre *Teucrium : Biology and Applications* (Stanković, 2020) rassemble un grand nombre d'articles décrivant la biogéographie, les caractéristiques morphologiques et les propriétés chimiques des germandrées.

DONNEES 2022

Pour déterminer quels sont les taxons présents, nous devons comparer l'expression des caractères morphologiques à la fois chez des individus bien « typés » d'après les critères d'identification donnés dans la littérature et chez des individus mixant les modalités. D'après les données 2021, les sites à explorer et les taxons probables correspondants sont : les Iles du Frioul (*T. polium* subsp. *purpurascens*) ; les zones très polymorphes du Mont Rose, du Parc A. de la Vigne et du Cap Croisette ; le massif de Marseillevyre (*T. aureum*) ; La Ciotat (*T. polium*

subsp. *polium* à confirmer). La forte sécheresse de cette année ne nous a pas permis de visiter tous les sites prévus car elle a fortement écourté la période de floraison. Or la présence des fleurs permet de s'appuyer sur les caractéristiques morphologiques de l'appareil reproducteur qui représentent une grande partie des critères utilisables pour la discrimination des taxons (voir ANNEXE I). Mais nous avons pu rechercher les populations « typiques » de *T. aureum*, sur les crêtes, et de *T. polium* subsp. *polium* sur les versants du Massif de la Sainte Baume. Nous avons donc pu échantillonner sur 14 sites (voir figure 1 et ANNEXE III) : sur les îles du Frioul, sur le massif de la Ste Baume et sur le littoral, du Parc Delavigne à Callelongue. Le prélèvement d'un taxon protégé est soumis à autorisation, ainsi que toute cueillette au sein du PNCal. Une autorisation de cueillette a été demandée et obtenue du PNCal ainsi qu'une autorisation de prélèvement de *T. polium* subsp. *purpurascens* délivrée par la préfecture et la Direction Départementale des Territoires et de la Mer des Bouches du Rhône. Le recueil des données a eu lieu durant la deuxième partie du mois de juin 2022. Nous avons pu observer un décalage dans la période de floraison entre les *T. aureum* des sommets de Marseilleveyre fleuris les plus précocement (début mai) et les fleurs insulaires, les plus tardives (début juin). Pour chaque site sélectionné, environ 4 individus choisis aléatoirement ont été traités. Une fiche a été remplie pour chacun et quelques feuilles ont été prélevées et placées dans un filtre identifié puis dans un sachet plastique contenant du silicagel. Des macrophotographies de la plante et d'un capitule ont été prises. Les feuilles ont été observées au sein de l'IMBE à la loupe binoculaire et au microscope (Leika, grossissement x40) afin d'en observer les types, la densité, la ramification et la longueur des trichomes. Les observations relevées sur les fiches de terrain (ANNEXE II) ont été codées et vérifiées au laboratoire avec les photographies. Les variables qualitatives de densité, ramification et longueur des trichomes ont été intégrées au jeu de données (Tableau 2).

Tableau 2 Critères morphologiques retenus pour l'étude des individus *Teucrium* échantillonnés en 2022. Description des variables et de leurs modalités utilisées dans les analyses statistiques.

	VARIABLES ET SES DIFFERENTES MODALITES	CODAGE DES MODALITES
ASPECT	port en coussin dense, tiges serrées érigées	coussin.D
	port en coussin ouvert, tiges retombantes	coussin.O
	feuilles peu enroulées	feuilles_enr.0
	feuilles très enroulées	feuilles_enr.1
	feuilles fines, largeur identique sur toute la longueur	feuilles_imp.F
	feuilles grossières, extrémités triangulaires	feuilles_imp.G
	inflorescence simple : un capitule par tige	ram_inflor.0
	inflorescence ramifiée : plusieurs capitules par tige	ram_inflor.1
	lobes latéro-postérieurs de la corolle joints, bords externes en contact	LLP_joints.J
	lobes latéro-postérieurs de la corolle écartés, bords externes sans contact	LLP_joints.E
COULEUR	couleur de la corolle d'une fleur d'un capitule, du rose clair au pourpre / du jaune clair au jaune doré / blanche / jaune et pourpre	coul_fleur_cap1.P / coul_fleur_cap1.J /

		coul_fleur_cap1.B / coul_fleur_cap1.JP
	couleur d'une autre fleur présente sur le même capitule, du rose clair au pourpre / du jaune clair au jaune doré / blanche / jaune et pourpre	coul_fleur_cap1.P / coul_fleur_cap1.J / coul_fleur_cap1.B / coul_fleur_cap1.JP
	couleur du cœur de la première fleur, du rose clair au pourpre / du jaune clair au jaune doré / blanche	coul_fleur_cap1.P / coul_fleur_cap1.J / coul_fleur_cap1.B
	couleur du cœur de la seconde fleur, du rose clair au pourpre / du jaune clair au jaune doré / blanche	coul_fleur_cap1.P / coul_fleur_cap1.J / coul_fleur_cap1.B
	nombre de couleurs de fleur sur un même capitule : 1 / 2	nbre_coul_cap.1 / nbre_coul_cap.2
	nombre de couleurs présentes sur une même corolle (couleur de corolle jaune et pourpre) d'une fleur 1 d'un capitule	nbcul.1
	nombre de couleurs présentes sur une même corolle (couleur de corolle jaune et pourpre) d'une autre fleur (2) d'un capitule	nbcul.2
	couleur du style et des filets, de rose clair à pourpre / du jaune clair au jaune doré / blanche	coul_style_filet.P / coul_style_filet.J / coul_style_filet.B
	couleur du tomentum sur la tige et les feuilles, blanc et dense / blanc clairsemé/ jaune vert / jaune doré	tom_tige_feu.BD / tom_tige_feu.BC / tom_tige_feu.JV / tom_tige_feu.JD
	couleur du tomentum sur l'inflorescence, blanc et dense / blanc et clairsemé/ jaune vert / jaune doré	tom_inflor.BD / tom_inflor.BC / tom_inflor.JV / tom_inflor.JD
HERCHOGAMIE	homostylie, anthère et stigmate au même niveau	heterost.A
	hétérostylie avec longistylie (stigmate au-dessus des anthères)	heterost.B
	hétérostylie avec brévistylie (anthères au-dessus du style)	heterost.C
	style courbé éloignant les anthères du stigmate	style_droit.C
	style droit dans l'alignement des filets	style_droit.D
PILOSITE	bordures externes des lobes latéro-postérieurs de la corolle glabres ou presque	LLP_poilus.0
	bordures externes des lobes latéro-postérieurs de la corolle poilus	LLP_poilus.1
	densité des trichomes non glandulaires, de 1 à 3	tri_dens.1 / tri_dens.2 / tri_dens.3
	ramification des trichomes non glandulaires, de 1 à 4	tri_ram.1 / tri_ram.2 tri_ram.3 / tri_ram.4
	longueur des trichomes non glandulaires, de 1 à 3	tri_lg.1 / tri_lg.2 / tri_lg.3

Comme pour les données 2021, nous avons réalisé une ACM afin d'établir la structure des associations entre variables et individus. Nous avons fait ensuite une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) sur le tableau disjonctif complet afin de regrouper les individus les plus ressemblants (homogénéité intra-classe) et de telle sorte que les classes soient les plus dissemblables (hétérogénéité inter-classe). Cette classification est ascendante car elle part des observations individuelles et elle est hiérarchique car elle forme des groupes de plus en plus grands. A partir du tableau disjonctif, une matrice de distance a été obtenue grâce au « simple matching coefficient » qui se base sur la proportion de différences entre individus. La CAH a été obtenue à partir de cette matrice grâce à l'algorithme de Ward qui a pour principe de rechercher les groupes qui ont la variance la plus réduite. La troncature du dendrogramme à une certaine hauteur délivre des groupes d'individus qui peuvent être utilisés pour enrichir l'analyse, par exemple pour illustrer l'ACM et interpréter la proximité des individus ainsi regroupés selon les modalités des caractéristiques morphologiques qu'ils portent.

RESULTATS

DONNEES 2021

La présence d'un troisième taxon Une première observation des photographies montre bien une grande diversité des phénotypes, notamment pour la couleur des fleurs. Les couleurs rose et blanche de *T. polium* subsp. *purpurascens* apparaissent bien, comme cela était attendu. Mais les plantes à fleurs blanches peuvent être aussi des *T. polium* subsp. *polium*. Et surtout, des inflorescences à fleurs et à tomentum jaunes sont aussi présentes. Or elles sont typiques de l'espèce *T. aureum*. Nous avons donc au moins 3 taxons présents.

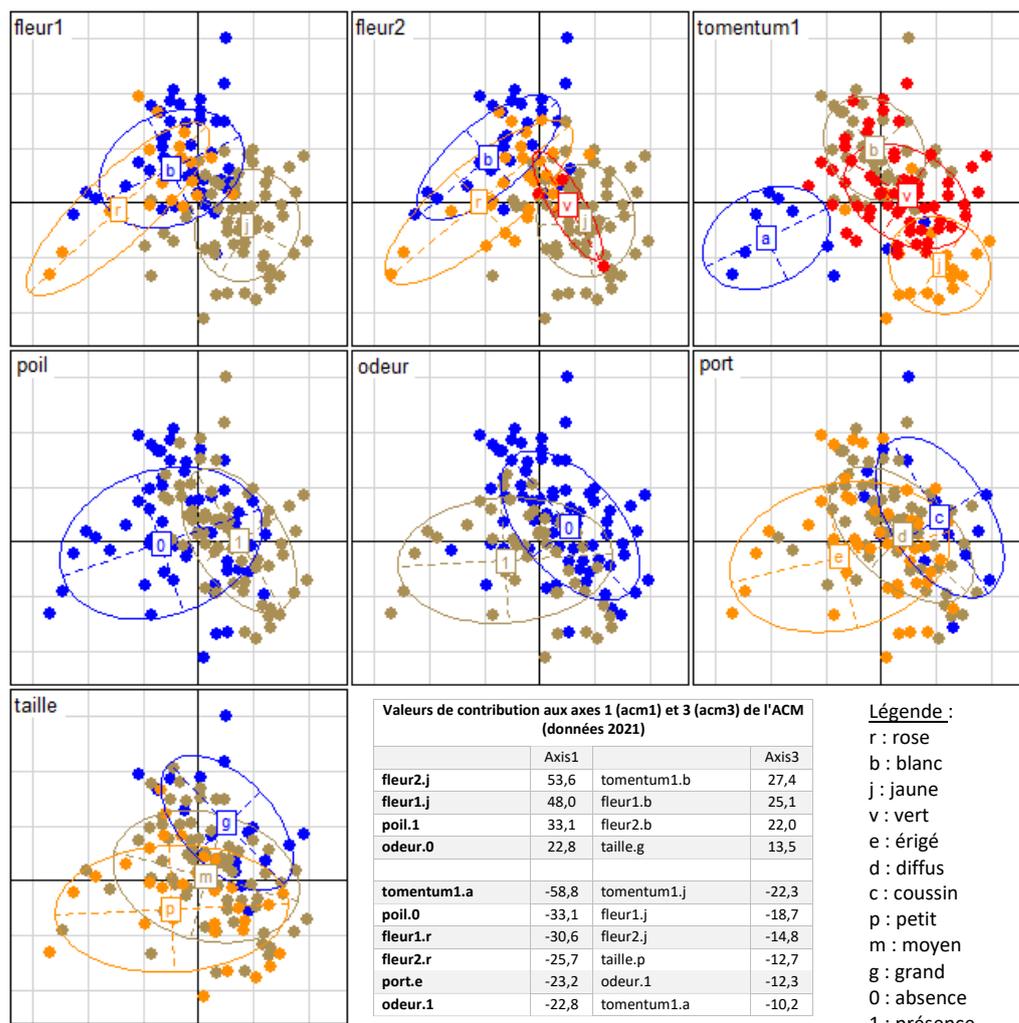


Figure 2 Graphiques issus de l'analyse en correspondances multiples, selon les axes 1 (18.97% d'inertie) et 3 (10.23% d'inertie), de 234 germandrées dans le PNCaI, prenant en compte les données morphologiques : couleur de fleur, couleur de la pilosité de l'inflorescence (tomentum), abondance de la pilosité, présence d'une odeur, port et taille des corolles.

Un polymorphisme important Sur les photographies, les plantes combinent les différentes modalités de caractères. Elles présentent des fleurs unies ou de plusieurs couleurs. Le

polymorphisme est rendu visible par la superposition des différentes modalités sur les graphes de l'ACM (Figure 2).

Une structuration partielle J'ai choisi d'utiliser les graphes de l'ACM projetée dans le plan d'axes 1 et 3. En effet, L'inertie de l'axe 3 (10,23%) est proche de celle de l'axe 2 (13,61%) et la taille des corolles participe à la construction de l'axe 3. Les couleurs de fleurs rose et jaune ainsi que la couleur argentée du tomentum, la densité de la pilosité et le port érigé structurent l'axe 1 de l'ACM. Ce sont surtout les couleurs blanche et jaune du tomentum et des fleurs et la taille de corolle qui expliquent l'axe 3 (voir Figure 2). La couleur des fleurs ne suffit pas à différencier les populations de germandrées mais elle représente tout de même un caractère morphologique structurant. J'ai alors recherché s'il y avait un lien significatif entre la couleur des fleurs unies et les autres critères morphologiques. Des tests de Khi2 ont confirmé la significativité de la fréquence chez les fleurs unies roses, d'une pilosité de faible densité et de couleur argentée ($p < 0.001$) et d'un port érigé ($p < 0.05$). Les plantes à fleurs unies jaunes présentent le plus souvent une pilosité dense et jaune ($p < 0.001$), une odeur moins marquée ($p < 0.001$) et un port en coussin ($p < 0.1$). Les plantes à fleurs unies blanches ont fréquemment une pilosité peu dense ($p < 0.001$) et un port érigé ($p < 0.1$). Les autres relations ne sont pas significatives.

Une différenciation géographique de la présence des caractères morphologiques Sur le graphe de l'ACM intégrant le zonage géographique en tant que variable supplémentaire (Figure 3 et ANNEXE IV), les individus de la zone 1 (Iles du Frioul) se détachent. Les caractères morphologiques ne sont donc pas répartis de façon homogène dans le PNCal. Les 17 plantes de la zone 5 (La Ciotat) présentent une certaine homogénéité, confirmée par les photographies qui montrent uniquement des fleurs blanches à cœur blanc (7) ou jaune (10) et une pilosité verte. Il en est de même pour les 24 germandrées de la zone 1 (Iles du Frioul) toutes unies, roses (18) ou blanches (6), avec un tomentum argenté et une odeur forte. La majorité ont un port érigé (20) et de petites fleurs (18). Nous ne voyons que 3 points car certains individus possèdent les mêmes modalités de caractères et donc se superposent. La zone 2 (du Parc Delavigne à Poulidette) est celle de la plus grande hétérogénéité avec une présence équivalente des 3 couleurs de fleurs et de pilosité. Toutes les modalités de tous les caractères sont ici présentes. Les zones 3 et 4 sont proches du point de vue des morphologies présentes avec ici aussi la présence des 3 couleurs de fleurs mais avec une dominance de jaune, le plus souvent une odeur faible et, comme dans la zone 2, la coexistence de toutes les modalités de tous les caractères morphologiques. La zone 6 est la plus éloignée de la côte et regroupe des sites assez distants. On trouve là des fleurs jaunes et blanches et une pilosité jaune ou verte. Dans la zone

7, au nord de Morgiou, les 3 couleurs sont présentes mais le rose est minoritaire et sans fleur unie. La pilosité est notée le plus souvent abondante et verte.

Nous pouvons donc remarquer que les germandrées du Frioul se démarquent mais aussi que des individus qui en sont géographiquement éloignés, comme certains situés sur La Ciotat (zone 5), en sont pourtant morphologiquement proches. De la même façon, certaines plantes de la zone 2 (Fortin, Cap croisette) sont proches des individus insulaires compte tenu des caractères choisis en 2021 (voir Figure 3 et ANNEXE IV).

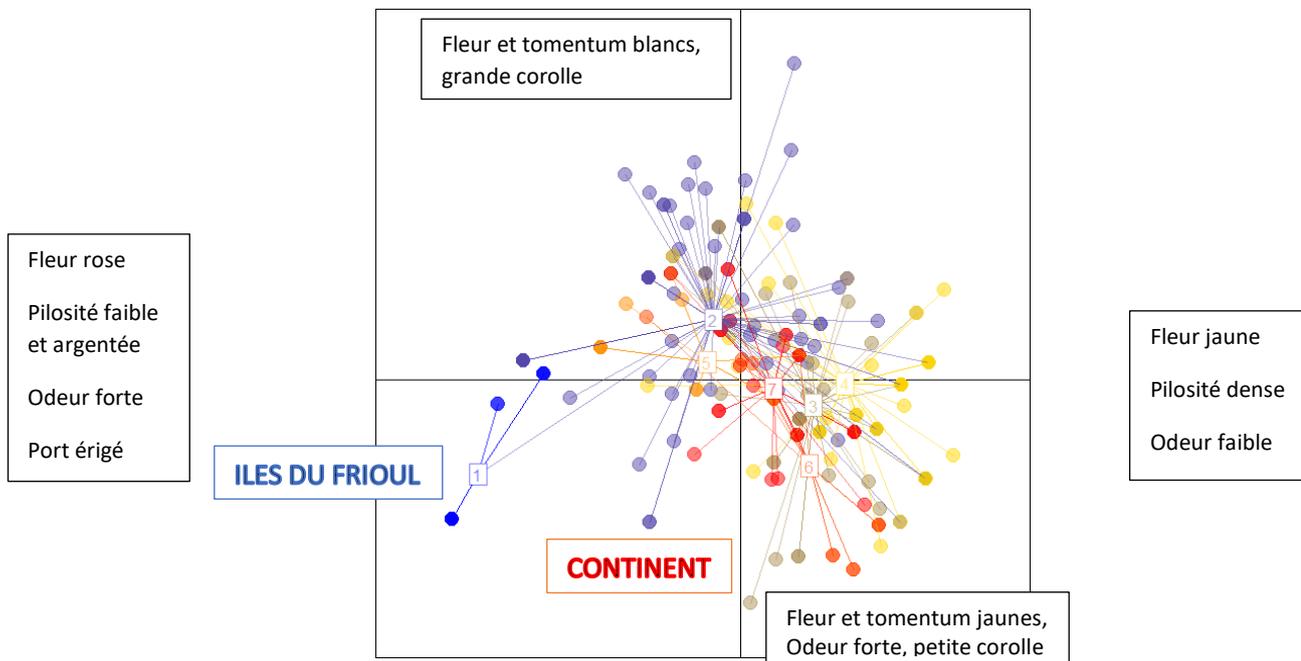


Figure 3 Graphe de l'ACM avec le zonage géographique en variable supplémentaire. Les zones sont celles indiquées Figure 1. Les caractères morphologiques encadrés contribuent le plus aux axes (voir Figure 2).

En conclusion, dans le Parc National des Calanques, certains caractères morphologiques des trois taxons *T. aureum*, *T. polium* subsp. *polium*, *T. polium* subsp. *purpurascens* sont présents, notamment celui de la couleur des fleurs ou du tomentum jaune qui caractérise *T. aureum*. Nous voyons une répartition géographique particulière pour certains caractères tels le port, la densité de la pilosité ou la couleur des fleurs. Les individus du Frioul semblent se différencier avec des fleurs roses, une pilosité faible et argentée et un port érigé. Il n'y a pas de germandrées à fleurs jaunes sur les îles du Frioul. Cependant, les données obtenues en 2021 ne suffisent pas à elles seules à faire apparaître une structuration claire dans l'ensemble des germandrées du PCNal.

Il faut donc rechercher dans la littérature d'autres critères plus fiables et dont nous pourrions tester l'efficacité.

RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES

Puech est l'auteur de *Teucrium polium* L. subsp. *purpurascens* (Bentham) Puech (1976). Mais le basionyme de la germandrée purpurine est *Teucrium polium* L. var. *purpurascens* Bentham (1835) en raison d'une confusion faite par Bentham avec *Teucrium achaemenis* Schreber. Selon Puech (1976), l'échantillon provenant de Marseille et conservé à l'Herbier Bentham à Kew et celui du littoral adriatique conservé à l'Herbier Schreber à Munich ne peuvent être confondus (Puech, 1984).

En 1980, *T. polium* subsp. *purpurascens* qui était jusque-là le seul endémique diploïde connu de l'espèce *T. polium*, souche des taxons tétraploïdes du sud-est de la France, est indiqué tétraploïde à Majorque. Aujourd'hui, dans Flora Iberica (2020), *T. polium* subsp. *purpurascens* des Baléares est classé dans la sous-espèce *polium*.

Dans *Les Teucrium (Labiées) de la section Polium du Bassin méditerranéen occidental* (1984), Puech étudie 14 espèces et 22 taxons de la section *Polium*. Dans la région marseillaise, elle prélève des *T. aureum* subsp. *aureum* dans des groupements de chaméphytes près de la Faculté de Luminy à Marseille et en bordure de la crête de la Sainte Baume ; *T. polium* subsp. *purpurascens* dans des groupements de chaméphytes sur l'île de Ratonneau ; *T. polium* subsp. *polium* près de la Faculté de Luminy, dans les groupements bas à *Genista hispanica* au sommet du flanc ouest de la Sainte Baume, au pied versant sud de la Sainte Victoire et dans les groupements à chaméphytes de l'île de Riou. Nous remarquons qu'elle ne mentionne pas d'échantillonnage à Montredon alors qu'elle déclare la germandrée purpurine présente à la fois sur Ratonneau et à Montredon. Elle note pour chaque taxon les caractères morphologiques les plus apparents et les caractères floraux de 25 fleurs de 25 pieds pris au hasard. Elle parvient à en établir une répartition (voir carte ANNEXE I) et une liste de critères morphologiques permettant de les différencier (voir tableau ANNEXE I). Elle remarque pour *T. aureum* et *T. polium*, l'acquisition d'un port en boule avec l'âge, alors que *T. capitatum*, aux fleurs roses et blanches et présent en Corse, conserve un port érigé. Elle note enfin chez *T. polium* subsp. *polium* un tomentum ramifié mais long et souple et de plus grandes fleurs (7 à 9 mm).

Puech assure qu'il est impossible de confondre *T. aureum* subsp. *aureum* et *T. polium* subsp. *polium* en raison de la coloration jaune du tomentum du rameau floral de *T. aureum*. *T. polium* subsp. *polium* peut avoir un épiderme jaune mais l'indument reste toujours blanc. Elle ajoute cependant que l'introggression entre ces sous-espèces est possible quand elles sont en contact.

Elle fait l'hypothèse que *T. aureum* subsp. *aureum* et *T. polium* subsp. *purpurascens* sont les parents de *T. polium* subsp. *polium* mais elle ne peut réaliser d'essais de croisement en raison de la floraison tardive (après 3 ans) de ces germandrées et de la forte mortalité des plantules.

Puech documente tout de même les taux de fertilité et de germination des taxons. *T. aureum* subsp. *aureum* a une fertilité variable mais toujours faible (inférieure à 50 %) et une germination faible et échelonnée. La population *T. polium* subsp. *purpurascens* de Ratonneau a un taux de fertilité faible (37,2%) et un taux de germination de 64 % avec une germination par à-coups successifs sur 3 semaines. Enfin, selon Puech, *T. polium* subsp. *polium* tétraploïde ($2n=52$) serait plus compétitif grâce à une germination « rapide, brutale et massive » à l'origine de son installation dans l'ensemble de la région méditerranéenne. *T. polium* subsp. *polium* aurait ainsi repoussé *T. aureum* subsp. *aureum* sur le littoral, hors de son habitat d'origine et il aurait isolé *T. polium* subsp. *purpurascens*.

De plus, chez *T. polium* subsp. *polium* et *T. aureum* subsp. *aureum*, contrairement à *T. polium* subsp. *purpurascens*, le style se courberait vers l'arrière lors de la dissémination du pollen, ce qui diminuerait les risques d'autofécondation. Et chez ces deux sous-espèces, seules les fleurs à étamines exsertes seraient fertiles. Ce dimorphisme sexuel aurait une origine génétique comme pour le thym (Assouad & Valdeyron, 1975). Il serait assimilable à un type de gynodioécie qui favoriserait l'allogamie et donc les brassages génétiques, conférant à ces espèces un avantage par rapport aux plantes hermaphrodites. Des hybridations pourraient alors subvenir entre deux taxons peu éloignés. « L'origine allopolyploïde de certaines espèces peut ainsi être envisagée et se trouve en partie confirmée par des phénomènes d'introgession locale se produisant encore actuellement dans des zones de contact entre aires biogéographiques. » (Puech, 1984) En revanche, le décalage des périodes de floraisons des germandrées colonisant un même biotope est un frein aux hybridations.

En 1990, lorsqu'elle étudie les *T. polium* de Tunisie, Puech écrit : « Il est difficile de trouver des caractères à la fois morphologiques et diagnostiques, surtout quand on sait qu'une différence dans le phénotype ne traduit pas forcément un isolement sexuel et que l'interaction génotype-environnement cache bien souvent des caractères plastiques à l'échelle de l'espèce mais stable au niveau de la population. » Pour ses études biosystématiques, elle note : la hauteur de la plante en fin de floraison, le port, la longueur, l'enroulement et la forme des feuilles, le tomentum (abondance, couleur et présence de ramification des poils), la taille des inflorescences, la forme du calice, la présence de poils sur les lobes postérieurs de la corolle, la couleur et la forme des fleurs, la couleur et la surface des akènes. Elle réalise aussi des tests de germination, des études caryologiques et des analyses chimiques où elle recherche les esters de l'acide caféique en tant que marqueurs de la section *Polium* (poliumoside, T2, stachyoside, verbascoside et flavonoïdes). Enfin, elle intègre des données pédologiques, bioclimatiques et sur le type de végétation des zones prospectées.

Dans le même temps, une typologie plus fine des trichomes devient la base de la classification au sein de la section *Polium* (Puech, 1984 ; Navarro, 1995 ; El Oualidi 1997).

En 1993, El Oualidi et Puech au Maroc observent la présence plus ou moins marquée des lobes latéraux-postérieurs, les poils tecteurs de la gorge de la corolle, le squelette et l'architecture florale, les feuilles crénelées dès la base, les dents du calice mucronées, la pilosité simple et bifide, la présence de racines adventives et la plagiotropie des axes secondaires et tertiaires de l'inflorescence.

En 2000, Navarro et El Oualidi font une étude micromorphologique des trichomes des feuilles, calices, corolle et graines. La classification générale est basée sur Roe (1971) mais la classification typologique des poils glandulaires est basée sur Cantino (1990), et pour de nombreuses catégories décrites, deux groupes sont séparés : à paroi épaisse et à paroi fine. Les poils ramifiés sur les structures végétatives ont une très grande valeur systématique car il n'y a que dans la section *Polium* qu'ils sont systématiquement présents. La section *Polium* est la section la plus hétérogène pour les types et la distribution des trichomes.

Les poils glandulaires produisent les huiles essentielles aux activités antioxydantes tandis que les poils non glandulaires forment une épaisse couche isolante. Il existe une grande variété de type de poils glandulaires et non glandulaires chez *T. polium* qui serait liée à des facteurs environnementaux et génétiques. Grubescic *et al.* (2007) ont trouvé peu de différences entre les trichomes de plantes cultivées et sauvages chez *T. polium*. Les conditions abiotiques influenceraient la taille des trichomes et non leur type qui serait génétiquement déterminé. Notons que la *Flore de la France méditerranéenne* mentionne des feuilles à faible dimorphisme saisonnier pour *T. polium* et à dimorphisme saisonnier net dans le cas de *T. aureum*. Pour Puech (1984), seul *T. aureum* subsp. *aureum* présenterait un dimorphisme entre ses rameaux végétatifs et ses rameaux florifères qui porteraient des feuilles plus larges et un tomentum et un épiderme jaunes alors que le tomentum des rameaux végétatif est toujours blanc.

Dans *Teucrium : Biology and Applications* (Stanković, 2020), Ozcan et Navarro mettent au clair les caractéristiques morphologiques des germandrées. Les espèces de la section *Polium*, subsection *Polium* ont une touffe de poils fermant la gorge de la corolle qui limite la diversité des pollinisateurs. D'après Navarro (Navarro, 2020a), elles sont généralement gynodioécique avec des pieds femelles généralement rose et avec du nectar et des pieds à fleurs hermaphrodites blanches ou crème. Les graines, protégées par le calice sub-actinomorphe, sont dispersées par anémochorie. L'observation de la structure de l'exine des grains de pollen des germandrées permet d'en distinguer certaines sections ou même espèces (Navarro *et al.*, 2004).

DONNEES 2022

Des critères morphologiques discriminants

Les valeurs de contribution des variables aux axes et la répartition des modalités sur le graphe de l'ACM (figure 4 ; voir aussi annexe IV) permettent de distinguer 3 groupes de modalités qui correspondent aux types de *T. aureum*, *T. polium* subsp. *polium* et *T. polium* subsp. *purpurascens*. Les groupes des modalités de *T. aureum* et *T. polium* subsp. *polium* s'opposent aux modalités portées par les individus du type *purpurascens* sur l'axe 1 de l'ACM.

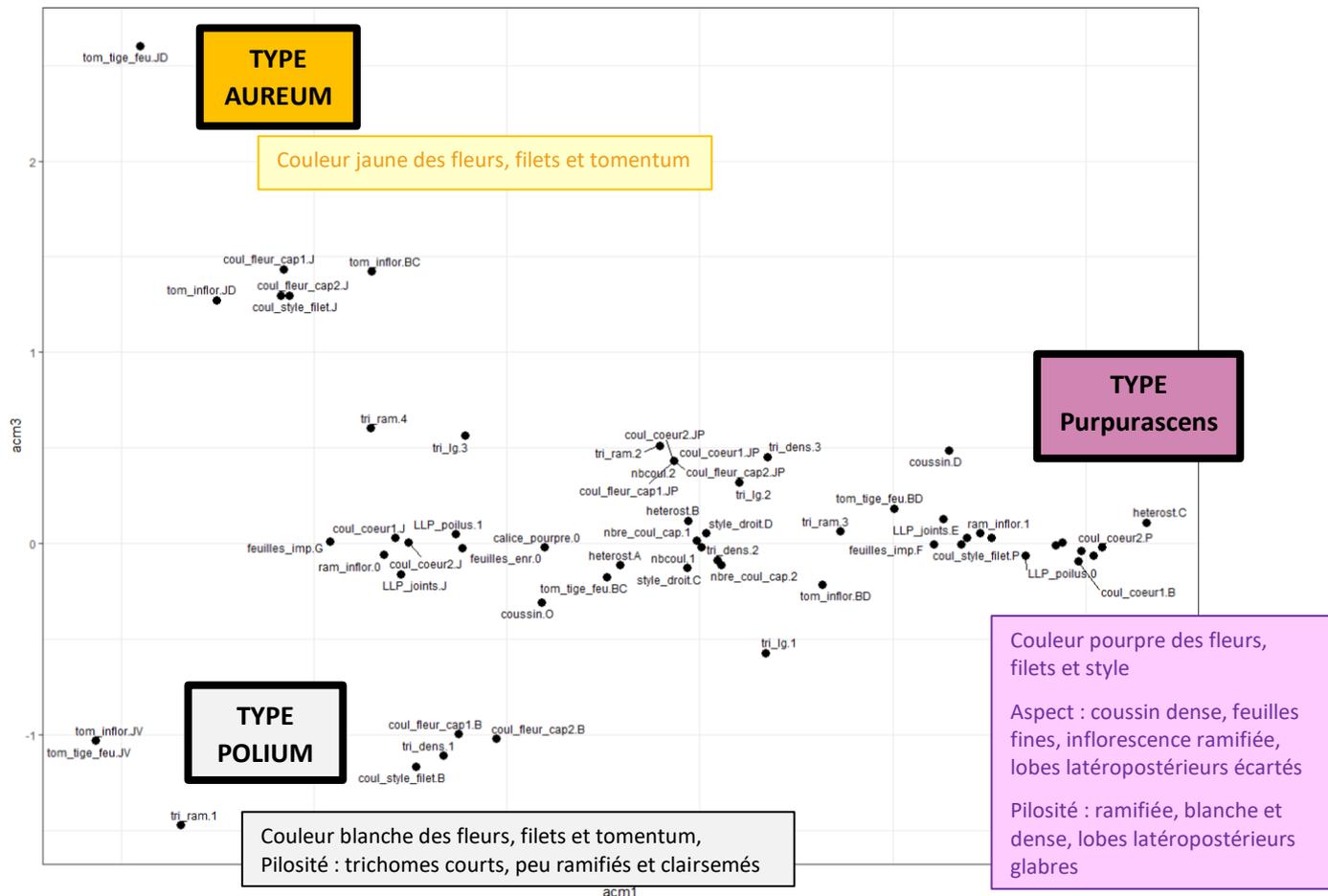


Figure 4 Distribution des modalités morphologiques dans le plan d'axes 1 (acm1, inertie : 20.8 %) et 3 (acm3, inertie : 9.6 %) de l'ACM réalisée sur les données 2022. Les modalités aux contributions les plus importantes (valeurs dans le tableau en ANNEXE III) apparaissent dans les encadrés jaune, grisé et rose et correspondent aux trois types aureum, polium et purpurascens.

Sur la figure 4 (voir aussi ANNEXE IV), nous voyons que le nombre de couleurs par capitule et par corolle, la courbure du style et les modalités de l'hétérostylie sont peu informatifs. Il en est de même pour les trichomes dans les modalités intermédiaires. Cependant, nous pouvons noter une séparation des trichomes faiblement et fortement ramifiés. On note aussi que la brévistylie (hétérost.C) ne se trouve que parmi les individus de type *purpurascens*.

Un polymorphisme confirmé

Les germandrées du Frioul (cluster 3), du cluster 5 (le type *T. aureum* observé au pic de Bertagne et dans le parc A. Delavigne) et du cluster 3 (le type *T. polium* subsp. *polium* à fleur blanche observé au col de Bertagne et au parc A. Delavigne) se détachent aux trois pôles du nuage de point (Figure 5). Les autres individus recombinent les modalités de chaque type. Certains partagent plus de caractéristiques morphologiques avec *T. aureum* (cluster 2) ou avec *T. polium* subsp. *polium* (cluster 1). Par exemple un individu de Callelongue (« POU ») a un tomentum jaune doré et des fleurs blanches. D'autres sont plus proches morphologiquement du Frioul (cluster 4).

Une différenciation des individus du Frioul

Le clustering des individus en 5 groupes et leur positionnement dans l'ACM (figure 5) montre une différenciation morphologique des individus du Frioul versus ceux de la côte. En effet, les individus du Frioul sont relativement plus homogènes et groupés ensemble dans le groupe n°3. Sur les 20 individus à fleurs entièrement pourpres, 16 ont des lobes postérieurs de la corolle glabres, 14 se situent au Frioul et les deux autres au Mont Rose. Cette fréquence est significativement différente d'une recombinaison aléatoire (test Khi^2 ***). Notons aussi que 2 individus hors Frioul sont inclus dans le groupe 3, un situé à Mont-Rose et un sur le Fortin Napoléon du Cap Croisette. Donc, si l'on peut conclure à l'homogénéité morphologique des germandrées du Frioul, on ne peut pas cantonner strictement ce morphotype à cet archipel. Mais si nous considérons toutes les modalités dont les contributions relatives positives sont supérieures à 50 %, les 13 germandrées qui possèdent des fleurs, des filets et un style pourpres, une inflorescence ramifiée et des lobes écartés et glabres sont toutes sur les Iles du Frioul. Aucun individu portant toutes ces modalités n'est situé sur le continent. Cependant, 4 plantes du Frioul ne respectent pas l'ensemble des modalités. Les fiches de terrain et les photographies ont de nouveau été vérifiées. FRIEST03 est blanche (rose clair), FRIPO04 a un style blanc (rose clair), les lobes de FRIPO03 ont été enregistrés comme joints alors que cela est discutable au regard des images, FRIRAT05 a des lobes latéropostérieurs ciliés. *Teucrium polium* subsp. *purpurascens* peut être pourpre ou blanc. Une erreur d'observation a pu concerner FRIPO03. En effet, les lobes semblent bien écartés sur les photographies.

Finalement, seul FRIRAT05 sort clairement du morphotype avec ses lobes latéropostérieurs ciliés. Notons que, comme en 2021, nous ne retrouvons pas les caractères du type *T. aureum* sur les Iles du Frioul.

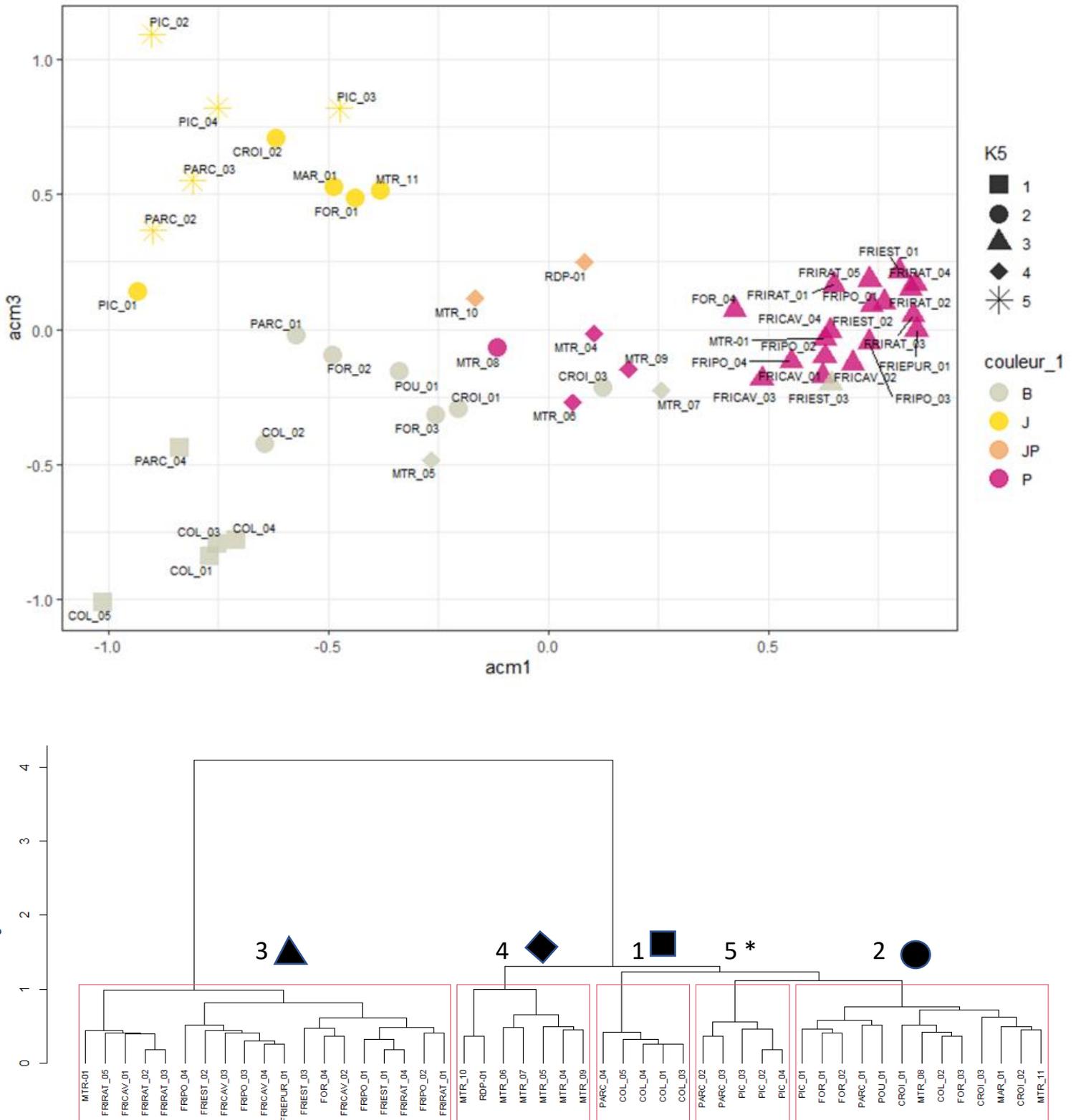


Figure 5 Différenciation des 49 individus *Teucrium* sur la base de leur différences morphologiques (voir Figure 4) analysés en ACM illustrée selon la couleur des fleurs et selon les résultats d'une troncature de la CAH (figure du bas) en 5 groupes. Observations de 2022 dans le PNCal.

DISCUSSION

La grande diversité des germandrées, la complexité de leur systématique et leurs nombreuses propriétés médicinales ont engendré un nombre conséquent d'articles sans pour autant fournir de méthode efficace pour différencier les sous-espèces de *T. polium* présentes à Marseille. Tous les individus portant à la fois des fleurs pourpres ou blanches, un style et des filets pourpres (ou blancs, moins fréquemment), des inflorescences ramifiées et des lobes latéro-postérieurs glabres et écartés se trouvent les Iles du Frioul. Sur les 21 individus aux style et filets pourpres, 19 ont des lobes antéropostérieurs glabre. L'association entre couleur pourpre des filets et faible pilosité des lobes latéropostérieurs est significative à $p < 0.001$ (Test de khi2). Nous pouvons alors réduire la combinaison de caractères présente seulement sur les Iles du Frioul à la couleur pourpre (ou blanche) des fleurs, aux lobes latéropostérieurs glabres et écartés et aux inflorescences ramifiées. Nous avons cependant trouvé une germandrée sur l'île de Ratonneau (FRIRAT_05) aux lobes abondamment ciliés et certains individus côtiers possédant une grande part de ces caractéristiques morphologiques. L'individu FRIRAT_05 est très proche d'un individu du Mont Rose (MTR_01) et d'un autre situé au Fortin du Cap Croisette (FOR_04), tous les trois aux fleurs, style et filets pourpre, aux inflorescences ramifiées et aux lobes écartés mais ciliés. Néanmoins FRIRAT05 portait des fleurs brévistyles, type d'hétérostylie que nous n'avons pu observer que sur les Iles du Frioul. Cet individu est le seul à se différencier des autres germandrées du Frioul mais l'effectif de notre échantillonnage est faible. Si cet aspect représente une limite certaine de notre travail, dû principalement à la chaleur estivale très précoce, il faut souligner que les critères énoncés précédemment permettent l'identification assez fiable d'un type morphologique qui correspond à la description de la germandrée purpurine par Puech (1984), hormis pour la courbure du style que nous avons retrouvée aussi sur le Frioul. Puech n'a pas pris en compte la couleur du style et des filets.

La zone côtière du sud de Marseille est une zone de mélange des modalités des caractères des trois grands types. Il est possible que ce soit une zone hybride entre les trois taxons, les deux sous-espèces de *T. polium* et *T. aureum*. L'hybridation peut conduire à des individus qui ont une plus grande valeur adaptative en marge de la distribution des espèces parentales (Hamilton & Miller, 2016). Ils peuvent ainsi donner naissance à de nouvelles espèces. Ainsi, d'après Lherminier & Solignac, (2005) et Hewitt (1988), les zones d'hybridation sont « polymorphes pour de nombreux allèles, ce qui en fait des sites de turbulence génétiques très riches » ; ce sont « des laboratoires naturels pour les études de l'évolution ». Dans le cadre de ce projet, la

réalisation d'empreintes génétiques révèle l'isolement partiel des génotypes du Frioul et le brassage génétique des autres provenances (A. Baumel pers. com. résultats préliminaires 2022).

Ces premiers résultats nous ont donc bien permis de dresser une liste de caractères pour identifier la germandrée purpurine et souligne que les germandrées du sud de Marseille et des Calanques sont souvent différentes de *T. polium* subsp. *polium*. Pour aller plus loin que cette première exploration du polymorphisme présent sur la zone continentale du Parc National, nous devons augmenter le nombre de données. Il faut donc prévoir d'être pleinement disponibles dès le mois de mai pour l'étude des germandrées et d'augmenter le nombre d'individus observés par site ainsi que le nombre de sites. La valeur des analyses statistiques sera accrue et la plus grande étendue géographique améliorera la compréhension de la dispersion des populations et de leurs éventuels échanges génétiques. Les macrophotographies constituent une ressource essentielle, d'autant plus que la période de floraison est courte. Elles ont permis l'appropriation des données 2021, la vérification des fiches de terrain et furent un appui important tout au long de la réflexion. La perception subjective des odeurs rend ce critère inutilisable. Le fait de devoir entourer les modalités sur la fiche de terrain oblige à une réflexion en amont pour standardiser le recueil des observations et simplifie le codage et l'analyse des données sans porter préjudice aux résultats. L'analyse des trichomes est prometteuse pour l'identification sur la base de l'appareil végétatif. Mais l'évaluation de leur densité, de leur ramification et de leur longueur n'a sans doute pas été assez objective et précise. Elle mérite une étude plus approfondie avec des techniques et un matériel plus adaptés. Watts & Kariyat (2021) utilisent un « nanoeye » pour ces mesures. De plus, Navarro (2020a) propose l'observation de la structure de l'exine des grains de pollen. Il s'agit d'une piste que je n'ai pas explorée. L'analyse chimique des métabolites secondaires produits dans les trichomes glandulaires de cette plante aromatique pourrait également venir compléter la détermination des taxons.

Enfin, nos résultats doivent aussi être croisés avec des données génétiques plus fiables afin de mieux comprendre les flux de gènes entre les populations. La zone côtière située au sud de Marseille est-elle une zone d'hybridation d'où évolue graduellement et indépendamment chaque caractère ? Des conditions environnementales particulières expliqueraient-elles ce polymorphisme dans ces lieux ? Nous devons par ailleurs confirmer les espèces présentes sur le Parc National. Il existe en effet un doute quant à la présence éventuelle de *Teucrium dunense* vers la Ciotat.

CONCLUSION

Ainsi, il serait intéressant de poursuivre les recherches pour comprendre la dynamique passée et celle qui se joue aujourd'hui dans la répartition des *T. polium* subsp. *polium*, *T. polium* subsp. *purpurascens* et *T. aureum* ainsi que des individus polymorphes. Salmaki *et al.* (2016) datent la diversification du genre *Teucrium* à la limite entre le Miocène moyen et le Miocène tardif (16,35 millions d'années) et au Pléistocène (3,23 millions d'années) pour la séparation entre les espèces *polium* et *aureum*. Il semblerait que l'isolement des populations insulaires, à la suite de l'élévation du niveau marin entre 15000 et 6000 ans avant le présent, ait conduit à une homogénéité morphologique sur les Iles du Frioul. Mais est-ce bien le croisement de *T. polium* subsp. *purpurascens* et de *T. aureum* qui est à l'origine des *T. polium* subsp. *polium*, comme en avait émis l'hypothèse S. Puech ? Quels ont été et sont aujourd'hui les échanges entre le Frioul et le continent ? Des pollinisateurs et des disséminateurs influent-ils sur la dispersion des espèces ?

Nous pouvons encore aller plus loin. En effet, la poursuite de l'étude des germandrées présentes dans le Parc National des Calanques pourrait permettre de juger de l'incidence de l'évolution de certains facteurs environnementaux et écosystémiques (climat, présence des pollinisateurs, espèces voisines) sur la dynamique de chaque groupe en fonction de leurs capacités d'adaptation. Le risque incendie et le piétinement par les goélands leucophées sont des menaces pesant sur les germandrées insulaires. Nous pouvons ainsi nous interroger sur la prise en compte du polymorphisme au sein des aires protégées dans le contexte actuel de changement climatique et de crise de la biodiversité. Enfin, se demander si la zone côtière faisant face aux Iles du Frioul est un lieu à préserver soulève la question de la protection des écosystèmes versus celle des espèces.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Assouad, W., & Valdeyron, G. (1975). Remarques sur la biologie du thym *Thymus vulgaris* L. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 122(1-2), 21-34.
- Castroviejo, S. (2020). Flora ibérica : Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares. *Flora Ibérica*, 1-784.
- Cantino, P. D. (1990). The phylogenetic significance of stomata and trichomes in the Labiatae and Verbenaceae. *Journal of the Arnold Arboretum*, 323-370.
- Frankham, R., Ballou, J. D., Dudash, M. R., Eldridge, M. D., Fenster, C. B., Lacy, R. C., ... & Ryder, O. A. (2012). Implications of different species concepts for conserving biodiversity. *Biological Conservation*, 153, 25-31.
- Hamilton, J. A., & Miller, J. M. (2016). Adaptive introgression as a resource for management and genetic conservation in a changing climate. *Conservation Biology*, 30(1), 33-41.
- Hewitt, G. M. (1988). Hybrid zones-natural laboratories for evolutionary studies. *Trends in Ecology & Evolution*, 3(7), 158-167.

- Jurišić Grubešić, R., Vladimir-Knežević, S., Kremer, D., Kalodera, Z., & Vuković, J. (2007). Trichome micromorphology in *Teucrium* (Lamiaceae) species growing in Croatia. *Biologia*, 62(2), 148-156.
- Lherminier, P., Solignac, M., 2005. *De l'espèce*. Editions Syllepse. 694 p.
- Navarro, T., & Oualidi, J. E. (1997). Synopsis of the genus « *Teucrium* » L. (Lamiaceae) in Morocco. *Acta Botanica Malacitana*, 22, 187-203.
- Navarro, T., & El Oualidi, J. (1999). Trichome morphology in *Teucrium* L. (Labiatae). A taxonomic review. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 57(2), 277-297.
- Navarro, T., Oualidi, J. E., & Trigo, M. del M. (2004). Pollen morphology of *Teucrium* (Labiatae) and its taxonomic value. *Belgian Journal of Botany*, 137(1), 70-84.
- Navarro, T. (2020a). Morphological Characteristics of Species : Generative Morphology. *Teucrium Species: Biology and Applications*, 53-72.
- Navarro, T. (2020b). Systematics and Biogeography of the Genus (Lamiaceae). *Teucrium Species: Biology and Applications*, 1-38.
- Nazar, N., Howard, C., Slater, A., & Sgamma, T. (2022). Challenges in Medicinal and Aromatic Plants DNA Barcoding—Lessons from the Lamiaceae. *Plants*, 11(1), 137.
- Oualidi, J. E. (1991). Biosystématique et taxinomie des « *Teucrium* » de la section « *Polium* (Lamiaceae) » dans le bassin méditerranéen occidental : Différents aspects de la variation au Maroc, en France et en Espagne [Thesis, Montpellier 2].
- Oualidi, J. E., & Puech, S. (1993). Quelques marqueurs morphologiques des *Teucrium* section *Polium* (Lamiaceae) du Maroc: Valeurs diagnostiques à différents niveaux d'intégration. *Acta botánica malacitana*, (18), 163-171.
- Oualidi, J. E., Verneau, O., Puech, S., & Dubuisson, J. Y. (1999). Utility of rDNA ITS sequences in the systematics of *Teucrium* section *Polium* (Lamiaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 215(1), 49-70.
- Oualidi, J. E., Puech, S., & Navarro, T. (2002). Geographical Variation and Successive Adaptive Radiations of Yellow-Flowered *Teucrium* (Labiatae) in the Mediterranean Region. *The Botanical Review*, 209-234.
- Oualidi, J. E., Rascol, J. P., Martini, A., & Puech, S. (1996). Le Poliumoside, Marqueur Chimique de la section *Polium* du Genre *Teucrium* (Labiatae) : L'exception du *Teucrium mideltense*, Espèce Endémique du Maroc. *Biochemical Systematics and Ecology*, 24(3), 261-272.
- Pavlova, D., & Vasileva, M. (2010). Variation in morphology of *Teucrium polium* aggr. Populations in Bulgaria. *Open Life Sciences*, 5(6), 880-887.
- Pavon, D., & Pires, M. (2020). *Flore des Bouches-du-Rhône*. Naturalia Publications. 352p.
- Pires, Mathias & Pavon, Daniel, 2018. *La Flore remarquable des Bouches-du-Rhône. Plantes, milieux naturels et paysages*. Biotope Éditions (Mèze, Francia). 464 p.
- Puech, M. S. (1980). Les *Teucrium* de la section *polium* aux îles Baléares (Majorque). *Bulletin de la Société Botanique de France. Lettres Botaniques*, 127(3), 237-255.
- Puech, S. (1982). Contribution à l'étude des *Teucrium* de la section *polium* de Tunisie. *Bulletin de la Société Botanique de France. Lettres Botaniques*, 129(1), 41-52.
- Puech, S., (1984). Les *Teucrium* (labiées) de la section *Polium* du bassin méditerranéen occidental (France et péninsule ibérique). In *Naturalia Monspelliensia*, numéro hors-série. 71 p.
- Puech, S. (1985). Contribution à l'étude des *Teucrium* de la section *polium* (*Labiatae*) de Tunisie (suite). *Bulletin de la Société Botanique de France. Lettres Botaniques*, 132(1), 41-50.
- Puech, S. (1990). Contribution à l'étude de biosystématique des *Teucrium* de la section *polium* (*Labiatae*) de Tunisie. III. *Bulletin de la Société Botanique de France. Lettres Botaniques*, 137(1), 63-76.
- Rakhshan, N., Mansournia, M., & Jookar Kashi, F. (2022). Plant extract-strategy using *Teucrium Polium* stems to green synthesize Ag/AgCl bionanocomposite imprinted on Fe₃O₄/kaolinite and potentials in catalytic and chemosensor applications. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(4), 103719.
- Ranjbar, M., Mahmoudi, C., & Nazari, H. (2018). An overview of chromosomal criteria and biogeography in the genus *Teucrium* (Lamiaceae). *Caryologia*.
- Roe, K. E. (1971). Terminology of hairs in the genus *Solanum*. *TAXON*, 20(4), 501-508.
- Salmaki, Y., Kattari, S., Heubl, G., & Bräuchler, C. (2016). Phylogeny of non-monophyletic *Teucrium* (Lamiaceae : Ajugoideae): Implications for character evolution and taxonomy. *TAXON*, 65(4), 805-822.
- Sharifi-Rad, M., Pohl, P., Epifano, F., Zengin, G., Jaradat, N., & Messaoudi, M. (2022). *Teucrium polium* (L.) : Phytochemical Screening and Biological Activities at Different Phenological Stages. *Molecules*, 1561.
- Stanković, M. (Éd.). (2020). *Teucrium Species : Biology and Applications*. Springer International Publishing.
- Tison, J. M., Jauzein, P., Michaud, H., & Michaud, H. (2014). *Flore de la France méditerranéenne. continentale* (Vol. 2080, p. 265). Turriers: Naturalia publications
- Watts, S., & Kariyat, R. (2021). Morphological characterization of trichomes shows enormous variation in shape, density and dimensions across the leaves of 14 *Solanum* species. *AoB Plants*, 13(6), plab071.

ANNEXES

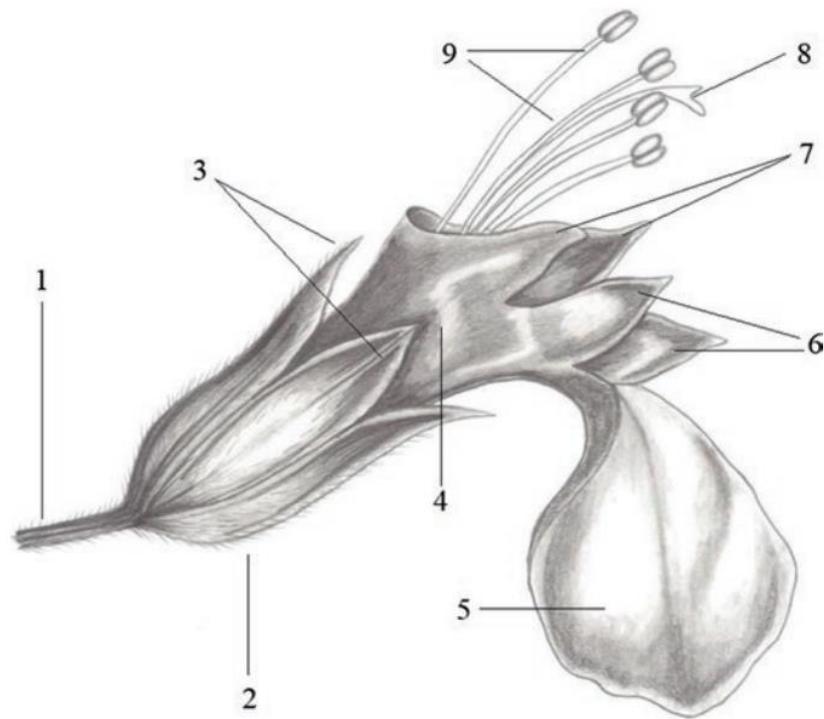
ANNEXE I : Documents issus de la recherche bibliographique

Tableau des caractéristiques morphologiques distinguant *T. aureum*, *T. polium* subsp. *polium* et *T. polium* subsp. *purpurascens* d'après la recherche bibliographique

Espèce	<i>T. Aureum</i>	<i>T. Polium</i>		
Sous-espèce			Subsp. <i>polium</i>	Subsp. <i>purpurascens</i>
Ploïdie	Diploïde (1)		Tétraploïde (1)	Diploïde (1)
Port	Dominance apicale, branches végétatives depuis la base, rameaux florifères dressés courts Possibilité de drageons sur les axes racinaires superficielles (1)	Dominance apicale, branches végétatives depuis la base (1)	Port érigé même pendant la floraison (1)	
Feuille	Largeur non constante sur une feuille et selon le rameau dimorphisme saisonnier : l/L=1/2 sur rameau floral (plus large) l/L=1/4 sur rameau végétatif (1) Crénelés qu'aux deux tiers supérieurs (4) Pas enroulées (1) Insertion lancéolée sur la tige (4)	Largeur constante, plus longue que large	l/L=0.25 sur le rameau floral (1) plus ou moins enroulées selon les stations (1)	
Fleur	Corolle jaune orangé (1) Inflorescence simple (une capitule par tige) (1) Lobes postérieurs développés et joints (4) Lobes latéropostérieurs courts et ciliés (1) Gynécée poilu (1) Style courbé (1)	Corolle blanche, rose (1) Inflorescence ramifiée (plusieurs capitules par tige), ramifications parfois proche de la grappe terminale (voir sens de floraison centripète pour différencier simple et ramifiée) (1) Lobes écartés et relevés (4)	Corolle blanche (1) Lobes latéropostérieur abondamment ciliés, longs et étroits (1) Gynécée poilu (1) Style courbé (1)	Pieds à fleurs blanches, pieds à fleurs roses (1), (5) Lobes latéraux postérieurs étroits et courts frangés de poils rares (1) Gynécée glabre (1) Style droit (1)
Pilosité des feuilles et tiges	Poils longs peu ramifiés mais sur toute la longueur (4) Dimorphisme saisonnier : gris sur les rameaux végétatifs et jaune sur les rameaux florifères	Poils ramifiés toujours présents sur les structures végétatives, mêlés à des poils simples sur les feuilles (3) Pas de dimorphisme	Gris sur les rameaux végétatifs et gris-jaune (mais différent de <i>aureum</i> : même si épiderme jaune, indument blanc) sur les rameaux florifères (1)	Gris
Akène	Marron clair, long et étroit, aréole obovale (1)		Noisette à brun clair gdes alvéoles	Brun, aréole ovale

Références bibliographiques

- (1) Puech, 1984. Les Teucrium de la section Polium du bassin Méditerranéen occidental (France et péninsule ibérique) dans Naturalia Monspelliensia, revue de Botanique générale et méditerranéenne.
- (2) El Oualidi & Puech, 1993. Quelques marqueurs morphologiques des Teucrium section Polium du Maroc. Valeurs diagnostiques à différents niveaux d'intégration
- (3) Navarro & El Oualidi, 2000. Trichome morphology in Teucrium L. A taxonomic review
- (4) El Oualidi, Puech & Navarro, 2002. Geographical Variation and Successive Adaptive Radiations of Yellow-Flowered Teucrium in the Mediterranean Region
- (5) Flore de la France méditerranéenne continentale



1 : pédicelle ; 2 : calice ; 3 : lobes du calice ; 4 : tube de la corolle ; 5 : lobe antérieur de la corolle ; 6 : lobe latéral de la corolle ; 7 : lobes latéro-postérieur de la corolle ; 8 : style ; 9 : étamines

Dessin schématique de la conformation générale d'une fleur de Teucrium, extrait de *Morphological Characteristics of Teucrium Species : Generative Morphology* (Navarro, 2020a).

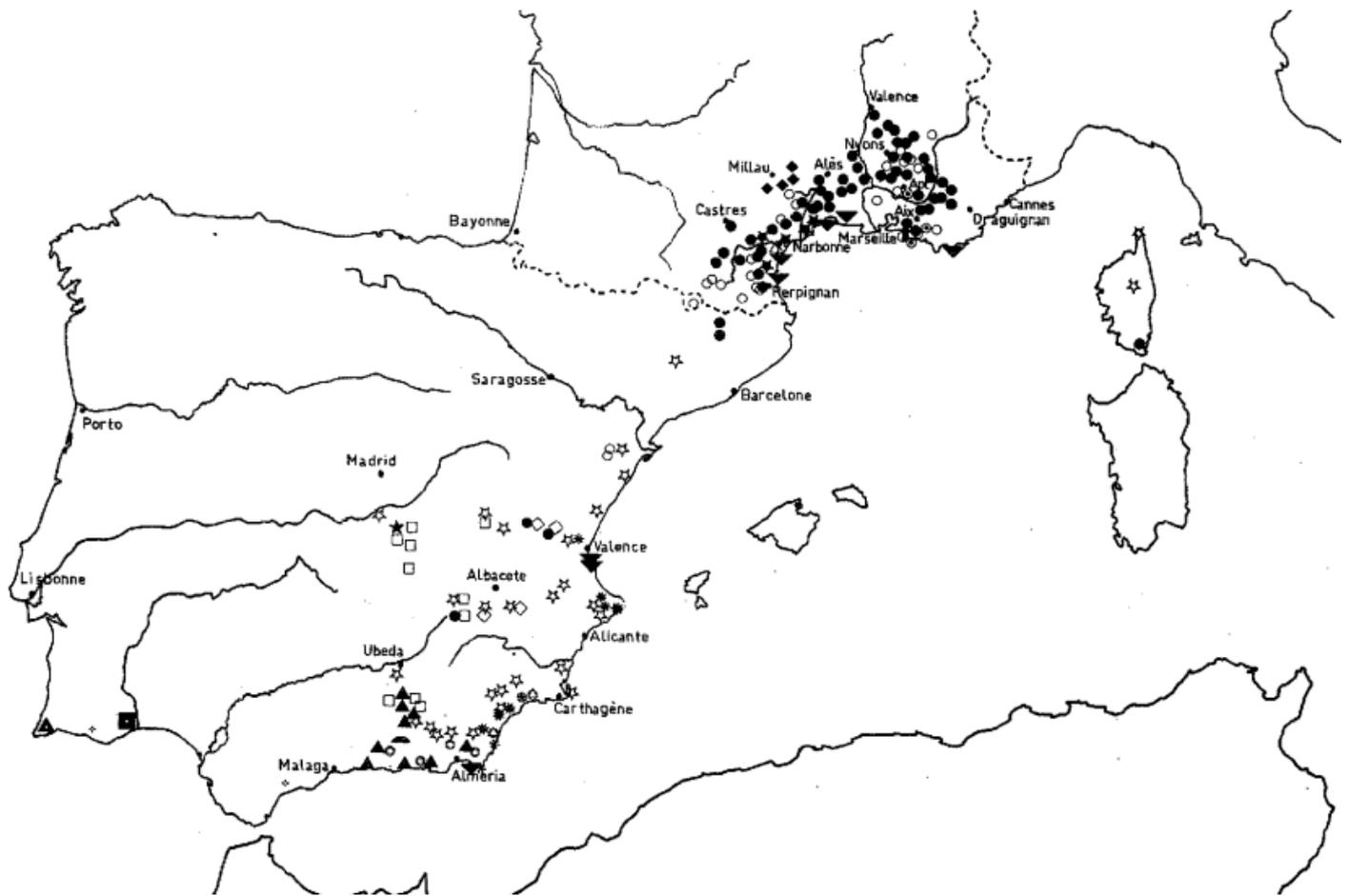


fleur

capitule

inflorescence

Photographie de l'inflorescence ramifiée composée de 6 capitules d'une germandrée (PNCal).



DIPLOÏDES

- *Teucrium aureum* subsp. *aureum*
- * *Teucrium aureum* subsp. *latifolium*
- ✧ *Teucrium capitatum* subsp. *capitatum*
- * *Teucrium charidemi*
- *Teucrium eriocephalum* subsp. *eriocephalum*
- ◊ *Teucrium eriocephalum* subsp. *lutescens*
- *Teucrium gnaphalodes* subsp. *gnaphalodes*
- ◇ *Teucrium gnaphalodes* subsp.
- ✧ *Teucrium haenseleri*
- *Teucrium polium* subsp. *purpurascens*

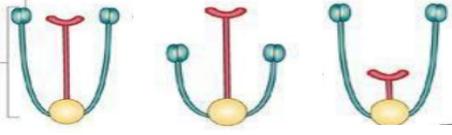
POLYPLOÏDES

- *Teucrium algarbiense*
- * *Teucrium aureum* subsp. *latifolium*
- ▲ *Teucrium aureum* subsp. *angustifolium*
- ★ *Teucrium capitatum* subsp. *capitatum* var. *polyccephalum*
- *Teucrium carthaginense*
- *Teucrium polium* subsp. *polium*
- ⊙ *Teucrium polium* introgressé d'*aureum*
- ✧ *Teucrium polium* subsp. *clapae*
- * *Teucrium polium* subsp. *aguilasense*
- ◆ *Teucrium rouyanum*
- △ *Teucrium brachyandrum*
- ▲ *Teucrium mairei*
- ▲ *Teucrium vinctinum*
- ▼ *Teucrium belion*

Répartition géographique sur la bordure occidentale de la Méditerranée des *Teucrium* de la section *Polium*. Carte et légende issues de *Les Teucrium (Labiées) de la section Polium du Bassin Méditerranéen occidental (France et Péninsule Ibérique)*, Puech (1984).

ANNEXE II : Fiche de terrain utilisée pour l'observation des *Teucrium* en 2022.

Les modalités des caractéristiques morphologiques sont à entourer.

ID_photos	
Plante : coussin	dense ouvert
Feuilles : enroulées	un peu très
Feuilles : impression visuelle (largeur)	fine grossière
Feuilles : dimorphisme florifère/ veg	oui non
Tomentum inflorescence	blanc dense /blanc clairsemé / jaune doré/ jaune vert
Tomentum tiges et feuilles	blanc dense /blanc clairsemé / jaune doré/ jaune vert
Inflorescence	simple ramifiée
couleur pointe calice pourpre	oui non
nbre de couleurs par capitule	1 2
couleur fleur	blanc jaune pourpre
si 2ème couleur fleur sur mêm capitule	blanc jaune pourpre
lobes latéro-postérieur	jointes écartés
pilosité lobe latéro-postérieur	oui non
couleur style et filets	blanc jaune pourpre
style	droit courbé
pilosité style	oui non
fleurs femelles	oui non
herchogamie	
	A B C

ANNEXE III : Photographies des 3 types de germandrées présents dans le PNCal



T. aureum (Pic de Bertagne,
Massif de la Sainte Baume, sur
roches calcaires)



T. polium subsp. *polium* (col de Bertagne,
Massif de la Sainte Baume, en lisière de
forêt)

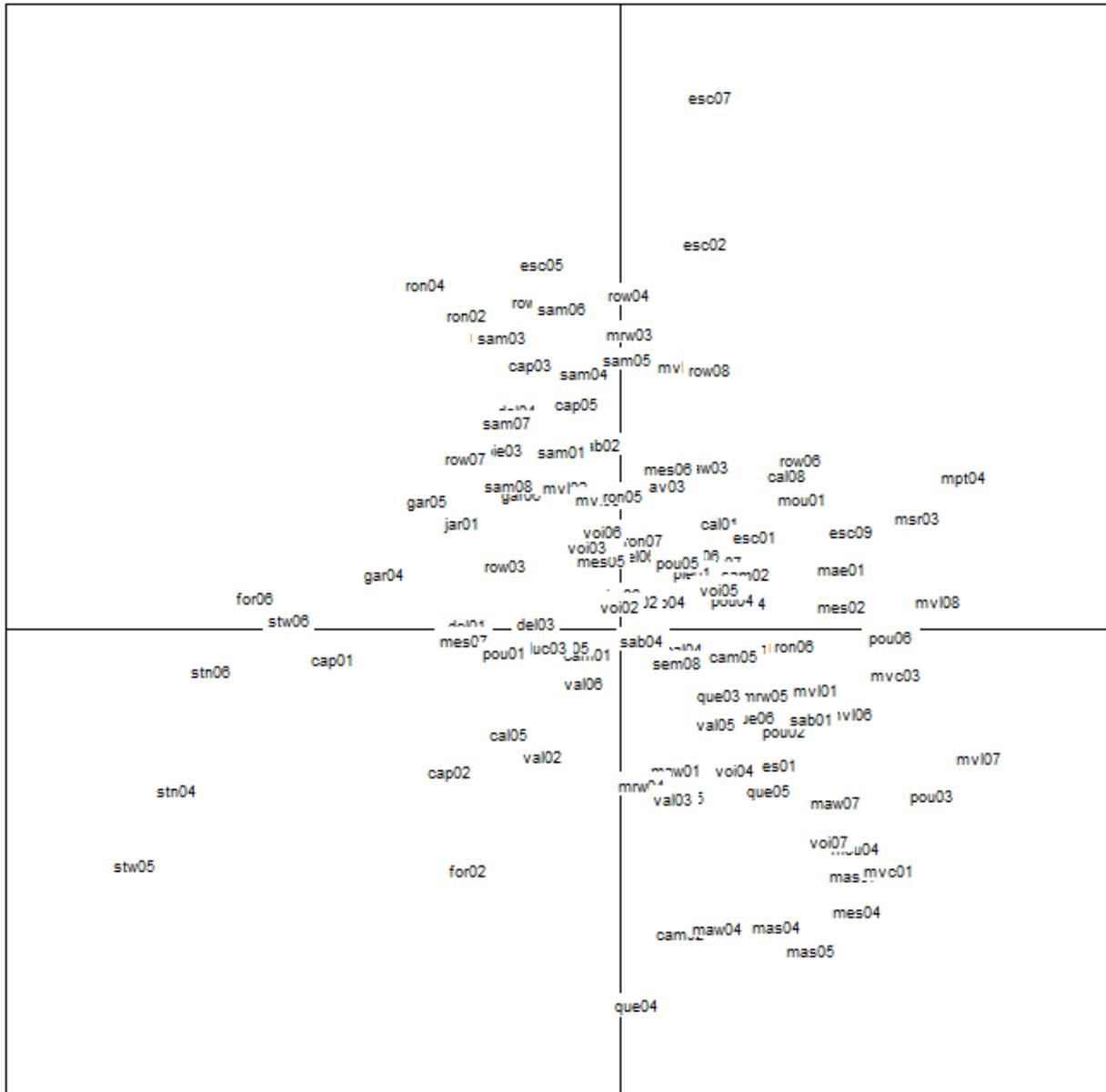


T. polium subsp. *purpurascens*
(Ile de Ratonneau, Marseille, sur
substrat calcaire)

ANNEXE IV : Graphes des ACM

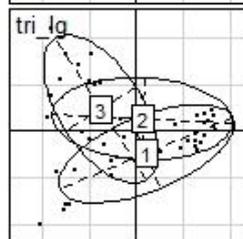
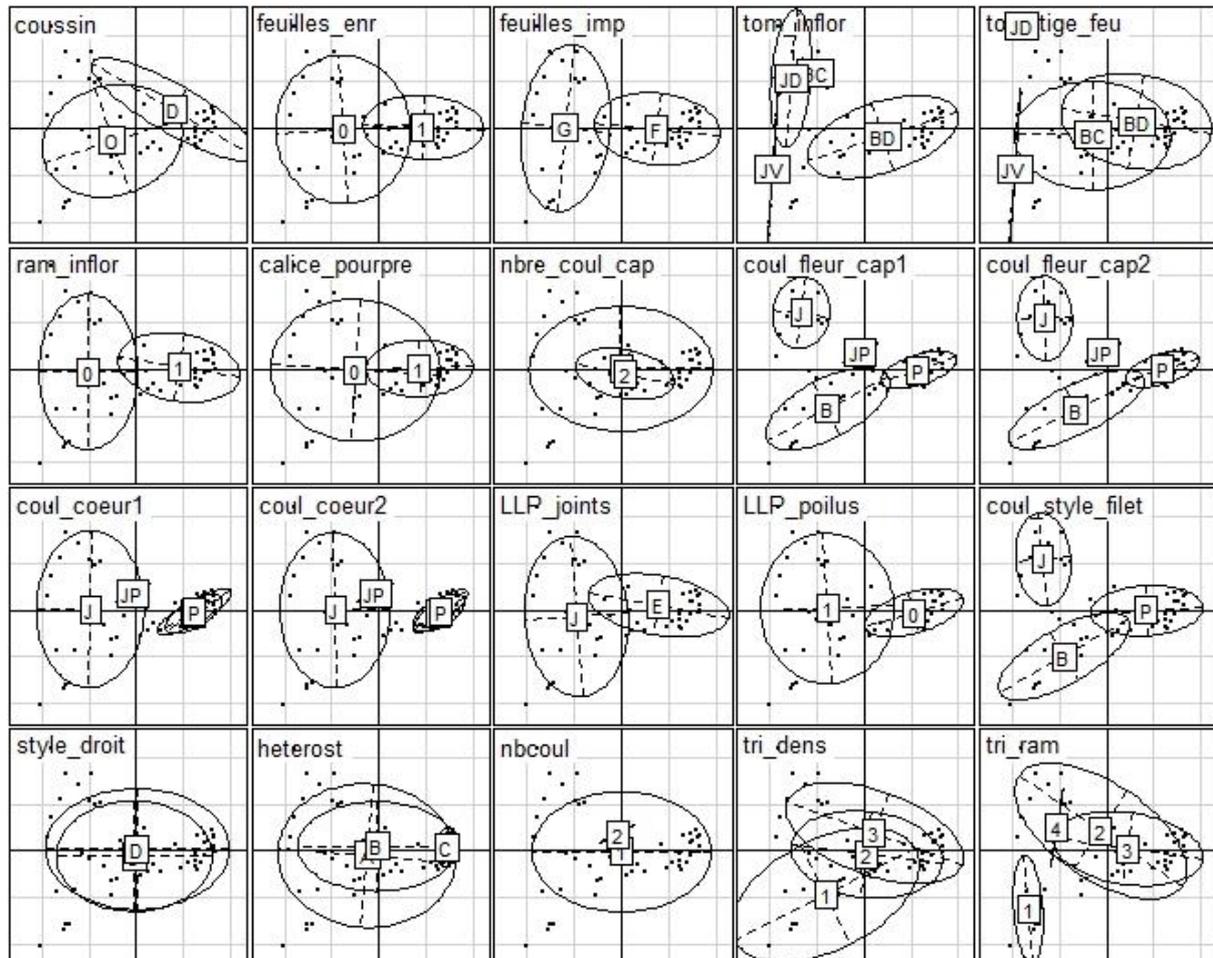
Graphe de l'ACM réalisée sur les données 2021

Graphe de l'ACM sur les données 2021, dans le plan d'axe 1 (horizontal) et 3 (vertical) montrant la répartition des individus selon les modalités des caractères morphologiques observés. La situation géographique correspondant aux identifiants est à voir figure 1.



Graphes de l'ACM réalisée sur les données 2022.

Graphes de l'ACM sur les données 2022, dans le plan d'axes 1 et 3 et contributions relatives signées (en %) des modalités expliquant ces axes. Voir le codage des modalités en



Contributions relatives signées des modalités des variables en %

Modalités	Axe 1	Modalités	Axe 3
coul_fleur_cap1,P	69,4	coul_fleur_cap1,J	52,7
coul_fleur_cap2,P	66,2	coul_fleur_cap2,J	48,8
coul_style_filet,P	61,0	coul_style_filet,J	43,1
ram_inflor,1	59,4	tom_inflor,JD	22,6
feuilles_imp,F	58,2	tri_dens,3	15,5
LLP_poilus,0	53,4	coussin,D	15,0
LLP_joints,E	48,8	tom_tige_feu,JD	14,1
feuilles_enr,1	46,5		
coul_coeur1,B	42,3		
coul_coeur2,B	41,6		
tom_inflor,BD	39,1		
calice_pourpre,1	27,8		
coussin,D	26,4		
tri_ram,3	20,9		
coul_coeur1,J	-70,2	coul_fleur_cap2,B	-45,8
coul_coeur2,J	-70,0	coul_fleur_cap1,B	-43,9
ram_inflor,0	-59,4	coul_style_filet,B	-39,4
feuilles_imp,G	-58,2	tri_ram,1	-30,3
LLP_poilus,1	-53,4	tri_lg,1	-22,5
LLP_joints,J	-48,8	tri_dens,1	-20,5
feuilles_enr,0	-46,5	tom_inflor,BD	-18,2
coul_fleur_cap2,J	-32,7	coussin,O	-15,0
coul_style_filet,J	-30,2		
coul_fleur_cap1,J	-29,8		
calice_pourpre,0	-27,8		
coussin,O	-26,4		
tri_ram,1	-25,2		

SCRIPT ANALYSE DES DONNEES 2021

Chargement des librairies

```
library(ade4) library(adegenet)
```

Chargement du jeu de données

```
setwd("C:/Users/escas/Documents/MEMOIRE_STAGE_M1_Tranchat")  
data<-read.csv2("fichier_R_nvelleszones.csv")  
names(data)  
summary(data)
```

Préparation des données

```
id<-data[,2]  
site<-data$site  
site<-as.factor(site)  
substrat<-data[,15:16]  
substrat1<-factor(data[,15])  
substrat2<-factor(data[,16])  
long<-data[,6]  
lat<-data[,5]  
data$long<-as.numeric(data$long)  
data$lat<-as.numeric(data$lat) zones<-factor(data$zones)  
table(site,zones)
```

variables réponses

```
taille<-factor(data[,8])  
poil<-factor(data$pileosite)  
fleur1<-factor(data[,9])  
fleur2<-factor(data[,10])  
tomentum1<-factor(data[,11])  
tomentum2<-factor(data[,12])  
odeur<-factor(data[,13])  
port<-factor(data[,14])  
morpho<-data.frame(fleur1,fleur2,tomentum1,poil,odeur,port,taille)  
summary(morpho)
```

Récupération des données pour les graphes camemberts (fleurs unies)

```
table(fleur1=="r"&fleur2=="r", zones)  
table(fleur1=="b"&fleur2=="b", zones)  
table(fleur1=="j"&fleur2=="j", zones)
```

Analyses des données :

tables de contingence pour les fleurs unies roses

```
TCpoilr<-table(fleur1=="r"&fleur2=="r",poil)  
TCtomr<-table(fleur1=="r"&fleur2=="r",tomentum1=="a")  
TCodeurr<-table(fleur1=="r"&fleur2=="r",odeur)  
TCportr<-table(fleur1=="r"&fleur2=="r",port=="e")  
TCtailer<-table(fleur1=="r"&fleur2=="r",taille=="p" | taille=="m")
```

tables de contingence pour les fleurs unies jaunes

```
TCpoilj<-table(fleur1=="j"&fleur2=="j",poil)  
TCtomj<-table(fleur1=="j"&fleur2=="j",tomentum1=="j")  
TCodeurj<-table(fleur1=="j"&fleur2=="j",odeur)  
TCportj<-table(fleur1=="j"&fleur2=="j",port=="c")  
TCtaillej<-table(fleur1=="j"&fleur2=="j",taille=="p")
```

tables de contingence pour les fleurs unies blanches

```
TCpoilb<-table(fleur1=="b"&fleur2=="b",poil)
TCtomb<-table(fleur1=="b"&fleur2=="b",tomentum1=="b")
TCodeurb<-table(fleur1=="b"&fleur2=="b",odeur)
TCportb<-table(fleur1=="b"&fleur2=="b",port=="e")
TCtailleb<-table(fleur1=="b"&fleur2=="b",taille=="g")
```

Test chi2 sur ces tables

fleurs roses

```
chisq.test(TCpoilr,correct=FALSE)
chisq.test(TCtomr,correct=FALSE)
chisq.test(TCodeurr,correct=FALSE)
chisq.test(TCportr,correct=FALSE)
chisq.test(TCtailler,correct=FALSE)
```

fleurs jaunes

```
chisq.test(TCpoilj,correct=FALSE)
chisq.test(TCtomj,correct=FALSE)
chisq.test(TCodeurj,correct=FALSE)
chisq.test(TCportj,correct=FALSE)
chisq.test(TCtaillej,correct=FALSE)
```

fleurs blanches

```
chisq.test(TCpoilb,correct=FALSE)
chisq.test(TCtomb,correct=FALSE)
chisq.test(TCodeurb,correct=FALSE)
chisq.test(TCportb,correct=FALSE)
chisq.test(TCtailleb,correct=FALSE)
```

tables Frioul

```
TCfri<-table(tomentum1=="a"&poil=="0"&fleur1=="r"&fleur2=="r",odeur)
```

ACM

```
acm1<-dudi.acm(morpho)
summary(acm1,col=T)
inertia.dudi(acm1, col=T)
scatter(acm1,col=season(4),cpoint=4)
scatter(acm1)
scatter(acm1, xax=1, yax=3,col=season(4),cpoint=4)
```

ACM avec zones avec ellipses

```
scatter(acm1, col=transp(season(4), cpoint=4))
s.class(acm1$li[,1:2], zones, grid=F, clab=0.6, cellipse=T,col=transp(season(7)), cpoint=3)
```

ACM avec zones sans ellipse

```
scatter(acm1, col=transp(season(4), cpoint=4))
s.class(acm1$li[,1:2], zones, grid=F, clab=0.6, cellipse=F,col=transp(season(7)), cpoint=3)
```

Graphe de l'ACM sur le plan d'axes 1 et 3

```
scatter(acm1, col=transp(season(4), cpoint=4))
s.class(acm1$li[,1:3], zones, grid=F, clab=1, cellipse=F,col=transp(season(7)), cpoint=3)
```

Graphe de l'ACM en faisant apparaître les identifiant des individus

```
scatter(acm1, col=transp(season(4),cpoint=2))
s.class(acm1$li[,1:3], xax=1, yax=3,id, grid=F, clab=0.6, cellipse=F, col=transp(season(0)),cpoint=3)
```

SCRIPT ANALYSE DES DONNEES 2022

Chargement des librairies

```
library(ade4) library(adegenet) library(ggplot2) library(ggrepel)
```

Chargement du jeu de données

```
setwd("C:/Users/escas/Documents/MEMOIRE_STAGE_M1_Tranchat")
data<-read.csv2("donnees_2022_28juin_pourR_coussin_corrected_utiliser.csv" header=T,dec=";")
names(data)
summary(data)
```

préparation des données

```
id<-data$IDplante
long<-data$Long
lat<-data$Lat
site<-data$Site
morpho<-data[,6:26]
col1<-data$coul_fleur_cap1
col2<-data$coul_fleur_cap2
```

transformation des variables en facteurs

```
names(morpho)
col_names <- names(morpho)
morpho[,col_names] <- lapply(morpho[,col_names], factor)
summary(morpho)
site<-as.factor(site)
```

Réalisation d'une ACM avec l'ensemble des critères morphologiques

on choisit 5 axes

```
acm1<-dudi.acm(morpho)
scatter(acm1)
s.corcircle(acm1$co, clab=0.6)
inertia.dudi(acm1, col=T)
summary(acm1,col=T)
```

L'axe 2 est expliqué par seulement 2 individus, nous choisissons donc d'utiliser les axes 1 et 3.

Graphes de l'acm

analyses des variables

```
scatter(acm1, xax=1, yax=3)
scatter(acm1, xax=1, yax=4)
s.hist(acm1$co, clab=0.8, boxes=F)
s.hist(acm1co, xax = 1, yax = 3)
s.hist(acm1co, xax=1, yax=4)
boxplot(acm1,1)
boxplot(acm1,2)
boxplot(acm1,3)
boxplot(acm1,4)
```

Graphes de la distribution des individus avec la couleur 1 et 2 des fleurs, avec les axes 1 et 3 / axes 1 et 4 et en étiquetant les points par leur identifiant ou le nom du site.

```
ordi.acm<-data.frame(acm1$li,id,col1, col2, site) names(ordi.acm)<-
c("acm1","acm2","acm3","acm4", "acm5","id","couleur_1", "couleur_2", "site")
ggplot(ordi.acm, aes(x = acm1, y = acm3, label=id))+ geom_point(aes(col=couleur_1), size = 5, alpha =
0.8)+ geom_text_repel(size = 2.5)+
scale_color_manual(values=c("lightyellow3","gold","sandybrown", "deeppink3"))+ theme_bw()
```

```
ggplot(ordi.acm, aes(x = acm1, y = acm3, label=site))+ geom_point(aes(col=couleur_1), size = 5, alpha = 0.8)+ geom_text_repel(size = 2.5)+
scale_color_manual(values=c("lightyellow3", "gold", "sandybrown", "deeppink3"))+ theme_bw()
ggplot(ordi.acm, aes(x = acm1, y = acm3, label=id))+ geom_point(aes(col=couleur_2), size = 5, alpha = 0.8)+ geom_text_repel(size = 2.5)+
scale_color_manual(values=c("lightyellow3", "gold", "sandybrown", "deeppink3"))+ theme_bw()
ggplot(ordi.acm, aes(x = acm1, y = acm4, label=id))+ geom_point(aes(col=couleur_1), size = 5, alpha = 0.8)+ geom_text_repel(size = 2.5)+
scale_color_manual(values=c("lightyellow3", "gold", "sandybrown", "deeppink3"))+ theme_bw()
```

CAH sur tableau disjonctif

Distance de Jaccard et clustering de Ward

```
clust1<-hclust(dist.binary(acm.disjonctif(morpho), method=1), method="ward.D")
plot(clust1, hang=-1, lab=id, cex=0.7)
rect.hclust(clust1, k=5)
```

Représentation des 5 groupes sur l'ACM

```
K5<-cutree(hclust(dist.binary(acm.disjonctif(morpho), method=2), method="ward.D"), k=5)
```

```
table(site, K5)
```

```
ordi.acm<-data.frame(acm1$li, id, col1, col2, site, factor(K5)) names(ordi.acm)<-
c("acm1", "acm2", "acm3", "acm4", "acm5", "id", "couleur_1", "couleur_2", "site", "K5")
ggplot(ordi.acm, aes(x = acm1, y = acm3, label=id))+ geom_point(aes(col=couleur_1, shape=K5), size = 5, alpha = 0.8)+ geom_text_repel(size = 2.5)+
scale_color_manual(values=c("lightyellow3", "gold", "sandybrown", "deeppink3"))+
scale_shape_manual(values=c(15, 16, 17, 18, 8))+ theme_bw()
```

Est-ce robuste ? On vérifie que l'inertie entre les K5 groupes n'est pas du "bruit". Pour cela, on se focalise sur la variance entre les groupes grâce à la "between class analysis" = bca

```
bca1<-bca(acm1, factor(K5), scannf = FALSE, nf = 4)
```

Affichage des centroïdes

```
s.class(bca1ls, factor(K5), clab = 0.75, cpoint = 0.2)
s.label(bca1ls, lab=id, add.plot=T, boxes=F, clab=0.5)
```

Il faut préférer le graphique acm simple et n'utiliser la between class analysis seulement pour les tests de randomisation

Test par randomisation

```
rand1 <- randtest(bca1, 999)
plot(rand1)
```

Nous sommes bien en dehors de résultats aléatoires. Les groupes obtenus ne sont pas dus au hasard mais à une distribution particulière des caractéristiques morphologiques. Des individus sont plus proches morphologiquement.

Y a-t-il un effet site ?

```
bca2<-bca(acm1, factor(site), scannf = FALSE, nf = 4)
```

Affichage des centroïdes

```
s.class(bca2ls, factor(site), clab = 0.75, cpoint = 0.2)
s.label(bca2ls, lab=id, add.plot=T, boxes=F, clab=0.5)
```

Test par randomisation

```
rand2 <- randtest(bca2, 999) rand2 plot(rand2)
```

Nous sommes là aussi hors du cas de résultats aléatoires. Les caractères morphologiques sont liés aux sites d'échantillonnage.

Test chi2 pour comparer les fréquences des fleurs pourpres aux lobes glabres selon les sites

```
names(morpho)
```

```

paste(morphocoul_fleur_cap1, morphocoul_fleur_cap2, sep="_")->Fcol
table(Fcol,morphoLLP_poilus)-> tableau
tableauchisq.test(tableau) -> khi2
khi2observed
khi2$expected
table(morpho$LLP_poilus, site) table(Fcol, site)
paste(Fcol, morpho$LLP_poilus, sep="_")->combi
table(combi, site)->tableau2
chisq.test(tableau2)->khi22

```

Les plantes à fleurs pourpres et lobes glabres sont donc significativement plus fréquents au Frioul.

Table de contingence pour le morphotype *purpurascens*

```

table(data$coul_fleur_cap1=="P"&data$coul_fleur_cap2=="P"&data$coul_style_filet=="P"
&data$ram_inflor=="1"&data$LLP_joints=="E"&data$LLP_poilus=="0",site)
table(data$coul_fleur_cap1=="P"&data$coul_fleur_cap2=="P"
&data$ram_inflor=="1"&data$LLP_joints=="E"&data$LLP_poilus=="0",site)

```

Lien couleur du style et des filets et pilosité des lobes latéropostérieurs

```

TCPGA<-table(data$coul_style_filet=="P", data$LLP_poilus)
chisq.test(TCPGA)
table(data$coul_style_filet=="P",site)
table(data$LLP_poilus=="0",site)

```

SCRIPT CARTE DES INDIVIDUS 2021 ET 2022

chargement des librairies

```

library(ade4) library(openxlsx) library(ggplot2) library(ggmap)
library(grDevices) library(ggrepel)

```

chargement et préparation des données

```

data<-read.csv2("Teucrium_data_XY.csv")
names(data)
id<-data$id
long<-data$longitude
lat<-data$latitude
annee<-factor(data$annee)

```

carte

```

offset <- 0.01
xmin <- min(long) - offset
xmax <- max(long) + offset
ymin <- min(lat) - offset
ymax <- max(lat) + offset
teuc.map<-get_map(c(left = xmin, bottom = ymin, right = xmax, top = ymax), col="bw")
ggmap(teuc.map)
data.map<-data.frame(long,lat, id, annee)
names(data.map)<-c('long', 'lat', 'id', 'annee')
ggmap(teuc.map) +
geom_point(aes(x = long, y = lat, col=annee), data = data.map, alpha = 1, size = 2)
ggmap(teuc.map) +
geom_point(aes(x = long, y = lat, col=annee), data = data.map, alpha = 1, size = 2)+
geom_text_repel(aes(x=long, y=lat, label=id), data=data.map, size=3, max.overlaps =20)
ggsave("carto_ss_id.jpeg",dpi=300)

```