

L'AFFLEUREMENT OPHIOLITIQUE DU GROUPE DE VOLTRI
(LIGURIE, ITALIE): HÉTÉROGÉNÉITÉ DES SOLS ET
DIVERSITÉ FLORISTIQUE.
*THE OPHIOLITIC OUTCROP OF VOLTRI GROUP (LIGURIA,
ITALIA): SOIL AND FLORA DIVERSITY*

ABDELJALIL EL GHALABZOURI^{1,2}, MOHAMMED ATER², STEFANO
MARSILI¹, ENRICA ROCCOTIELLO¹, MAURO MARIOTTI¹

¹ Polo Botanico, Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della
Vita,

Università degli studi di Genova, Corso Dogali 1m, 16136 Genova.

m.mariotti@unige.it, ² Faculté des Sciences, LDICOSYB, Département de
Biologie, Université Abdelmalek Essaadi. BP: 2121, Tétouan, Maroc.

elghalabzouri2005@hotmail.com,

RESUME

Les auteurs présentent les résultats des recherches effectuées avec des approches écologiques et quantitatives dans le Gruppo di Voltri (Liguria, Italia) afin de comparer la flore vasculaire, la végétation et les sols dans deux différents types d'affleurements lithologiques - serpentinites - calcschistes - en contact étroit les uns avec les autres. En particulier, les auteurs ont analysé: la richesse et la diversité des espèces, les particularités floristiques, les valeurs écologiques indicatrices des espèces, les caractéristiques physiques et chimiques des sols. Les résultats des analyses permettent de mettre en évidence dans les serpentinites: pauvreté en nutriments, faible rapport Ca/Mg et fortes concentrations de Ni échangeable. L'effet du syndrome serpentine sur la composante végétale s'exprime surtout par rapport aux caractéristiques des sols plutôt que par une forte concentration de Mg échangeable. L'analyse phytoécologique avec les indices d'Ellenberg a mis en évidence des valeurs bio-indicatrices relativement plus efficace pour le cortège floristique des serpentinites surtout par rapport à la faible disponibilité des éléments nutritifs. L'analyse canonique (PCA) des corrélations du cortège floristique, avec les sols a montré des différences significatives entre les deux substrats en dépit de la configuration en mosaïque mêlant les sols.

ABSTRACT

The authors carried out quantitative ecological investigations in Gruppo di Voltri (Liguria, Italy) in order to compare vascular flora, vegetation and soil in two different types of outcrops - serpentinites and calc-schists - in close contact with each other. In particular, the authors analyzed: richness and species diversity, floristic peculiarities, the indicator values of floristic cortege and physical and chemical characters of soils. The results of the analysis allow us to highlight in the serpentines: extreme poverty in nutrients, low Ca/Mg ratio and high concentrations of available Ni. The serpentine syndrome on the plant component is expressed above all in relation to these characteristics of the soils rather than a concentration not exceptionally high of available Mg. The phyto-ecological analysis by Ellenberg'indices has highlighted bioindicator values relatively more effective for the floristic cortege of serpentinites especially in relation to the poor availability of nutrients. The principal components analysis (PCA) of correlations soils-flora showed significant differences between the two substrates despite the mosaic configuration and almost mingling of soils.

RIASSUNTO

Gli autori presentano i risultati di indagini di tipo ecologico-quantitativo condotte nel Gruppo di Voltri (Liguria, Italia) al fine di confrontare flora vascolare, vegetazione e substrato in due tipi diversi di affioramenti litologici - serpentiniti e calcescisti - a stretto contatto fra loro. In particolare vengono analizzati: ricchezza e diversità specifica, peculiarità floristiche, valore di bioindicazione del corteggio floristico e caratteri fisico chimici dei terreni. I risultati delle analisi permettono di evidenziare nei substrati serpentinitici: estrema povertà di nutrienti, basso rapporto Ca/Mg ed elevate concentrazioni di Ni disponibile. La sindrome serpentinitica sulla componente vegetale si esplica soprattutto in relazione a tali caratteristiche dei suoli piuttosto che a una concentrazione non eccezionalmente elevata del Mg disponibile. L'analisi fitoecologica mediante gli indici di Ellenberg, invece, evidenzia valori di bioindicazione relativamente più efficaci per il corteggio floristico delle serpentiniti soprattutto in relazione alla scarsa disponibilità di nutrienti. L'analisi delle componenti principali relativa alle correlazioni suolo-flora ha evidenziato significative diversità tra i due substrati nonostante la configurazione a mosaico e la quasi commistione dei suoli.

Key words: ophiolite; soil; Liguria; flora; vegetation

INTRODUCTION

Les roches ophiolitiques sont distribuées dans le monde entier au niveau des zones de subduction et les zones d'activité volcanique. C'est un ensemble de roches appartenant à la couche supérieure de la lithosphère océanique. Ces roches se différencient selon le degré du métamorphisme, qui permet de les classer dans un gradient évolutif. Les écosystèmes développés sur ce type de roches, ont été largement étudiés en raison des particularités biologiques et écologiques qu'ils présentent (Whittaker, 1954; Proctor & Woodell, 1975; Brooks 1987; Baker et al., 1992; Roberts & Proctor, 1992; Brady et al., 2005). La spécificité des sols, en particulier, les teneurs en certains métaux et certains éléments de base, sont souvent mis en cause pour expliquer l'originalité de la flore et la faible fertilité du milieu et appelée "Serpentine factor" (Brooks, 1987) ou "Serpentine syndrome" (Brady et al., 2005).

Les affleurements ophiolitiques dans la région méditerranéenne (West de la péninsule ibérique, dans les Pyrénées, les Alpes occidentales, les Apennins, l'arc bético rifain) ont subi un métamorphisme partiel, d'où le qualificatif de faiblement évolué (Parrot & Ricou, 1976; Eldridge, 2011). Ces roches ont été formées récemment par rapport à d'autres en Californie, Cuba, Great Dyke du Zimbabwe, Japon, Nouvelle-Calédonie et Nouvelle-Zélande (Burroni et al., 2003; Eldridge, 2011). Ces affleurements sont caractérisés par un taux d'endémisme plus élevé que les affleurements ophiolitiques méditerranéens (Brooks, 1987; Baker et al., 1992; Roberts & Proctor, 1992).

En Italie, les affleurements à serpentine sont dispersés sur une superficie importante du territoire; les plus connus sont localisés sur les Alpes occidentales, dans l'Apennin septentrional, en Toscana et en Lucania (Vergnano Gambi, 1992). A ce niveau, le degré d'évolution et l'âge des affleurements agit d'une manière importante sur l'adaptation et la sélection naturelle de la végétation (Kristy et al., 2005; Chiarucci & Maccherini, 2007; Harrison & Rajakaruna, 2011).

Généralement, le substrat (serpentinite) provient de l'hydratation des roches ophiolitiques (e.g. péridotite et leur dérivés) et se caractérise par de faibles teneurs de silice libre (<45%) et des teneurs relativement importantes en fer (Fe) et magnésium (Mg); de faibles teneurs en calcium (Ca) (Kruckeberg, 1984; Brooks, 1987) avec un rapport Ca/Mg inférieur à 1; aussi des teneurs «inhabituelles» en métaux lourds tels que zinc (Zn), nickel (Ni), chrome (Cr), plomb (Pb) et cadmium (Cd) (e.g. Brooks, 1987; Baker et al., 1992). L'effet de ce type de substrat sur la nature des communautés végétales associées, a été largement discuté dans les dernières décennies par de nombreux auteurs (e.g. Roberts et Proctor, 1992; Ater et al., 2000; Brady et al., 2005; Cornara et al., 2007; Marsili et al., 2009).

L'importance de ce travail provient du fait que la zone d'étude (Gruppo di Voltri) fait partie des affleurements les moins évolués (Burroni et al., 2003), et qui se sont récemment formées. L'intercalation par d'autres types de roches (calcschistes) avec les formations des serpentinoschistes (Chiesa et al., 1975, Barberis & Mariotti, 1983; Hoogerduijn et al., 1990, 1993), au sein de cette zone en grande partie ophiolitique, différencie un sol hétérogène, avec des caractéristiques physico-chimiques différentes de celles de la serpentinite proprement dit. De nombreuses études (e.g. Locher, 1957; Galli et al., 1972; Chiesa et al., 1975; Burroni et al., 2003) ont souligné l'importance de cette hétérogénéité géologique de la zone et du lithosol couvert, qui est encore l'objet d'intérêt scientifique de nombreux chercheurs.

Cette étude nous permet de comparer deux types de substrats, dans une zone relativement restreinte; de caractériser l'effet de l'hétérogénéité du sol sur la communauté végétale en tenant compte de la présence de l'effet serpentine; de produire des données originales, ainsi que de les comparer avec d'autres travaux (e.g. Barberis & Mariotti, 1983; Mariotti, 1994; Vagge, 1997; Cornara et al., 2007; Marsili et al., 2009).

L'interaction entre cette hétérogénéité et les communautés végétales n'a pas été étudiée d'une manière poussée en comparaison avec d'autres localités voisines, citons la région Toscana avec les travaux de Chiarucci (2004), Chiarucci & Maccherini (2007), Chiarucci et al. (e.g. 1998, 1999, 2001, 2003) et Selvi (2006).

Ainsi, à l'issue de cette étude nous allons essayer de: a) montrer cette hétérogénéité, sachant que les deux types de substrats sont liés à deux grandes classes différentes (calcschiste et serpentinite) du point de vue lithologique; b) mesurer quantitativement les principaux éléments chimiques des sols, la diversité floristique et la classification selon les diverses aires de distribution chorologiques et l'endémisme; c) calculer les indices de diversité qui serviront par la suite comme éléments de référence pour la comparaison.

Les travaux ont été entrepris dans le cadre de Doctorat en Botanique appliquée à l'Agriculture et l'Environnement (Università di Genova).

ZONE D'ETUDE.

La zone objet de cette étude fait partie du Gruppo di Voltri. Elle se localise entre les latitudes 44° 25' et 44° 30' N et les longitudes 8° 45' et 8° 50' E, elle s'étend sur une superficie d'environ 17×15 km. C'est une zone montagneuse, son relief est caractérisé par un gradient d'altitude qui s'élève jusqu'à 1001 m (Punta Martin) à une courte distance de la mer (moins de 7 km) (Fig.1).

Cette formation ophiolitique appartient au Jurassique. Le climat est typiquement méditerranéen humide, mais pas uniforme à cause de la morphologie irrégulière du relief. La zone côtière ouverte sur la mer Méditerranée est plus chaude par rapport aux zones internes relativement plus élevées et influencées par la Tramontane (Dorize, 1997). Les précipitations annuelles sont, en moyenne 1240 mm, soumises à une forte variabilité selon l'intensité des phénomènes de la configuration isobarique appelée «Dépression Ligure» ou «Dépression

sur le Golfe de Gênes» (DGG), (Bossolasco, 1948), aujourd'hui largement connu en anglais par Genoa-Low (GL). La température annuelle moyenne est d'environ 12,9° C, les autres données thermométriques et pluviométriques sont présentées dans le Tableau 1. Selon la classification de Rivas-Martinez (2004), le bioclimat se situe entre la région Tempérée et la Méditerranée et peut être défini Tempéré Océanique Sous-Méditerranéen; le thermotype est Meso-Tempérée Meso-sous-méditerranéen.

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	An
T. moy. max. (°C)	11,3	12,1	14,4	17	20,8	24,2	27,2	27,5	24,3	20,3	15,3	12,3	18,9
T. moy. min. (°C)	5,4	6,0	8,2	10,7	14,5	18	20,8	20,9	17,9	14,2	9,6	6,4	12,7
T. max. abs. (°C)	20,3	22,5	23,5	28,2	32,3	34	35,4	35,4	32,9	27,5	22,9	20,8	35,4
T. min. abs. (°C)	-8,5	-5,0	-3,6	3,4	6,6	7,3	13,9	10,7	9,0	5,1	1,1	-3,6	-8,5
Précipit. (mm)	106	95	106	85	76	53	27	81	99	203	210	101	1242
Jours de pluie	10	12	9	9	5	6	5	7	8	14	15	9	109

Tableau 1. Température et précipitations enregistrées par la station météorologique de Genova-Sestri Ponente (2002-2012)

Table 1. Temperature and rainfall recorded by the weather station of Genova-Sestri Ponente (2002-2012)

MATERIELS ET METHODES

I. Echantillonnage et analyses des sols.

Nous avons sélectionné 22 sites d'échantillonnage. La sélection aléatoire de ces sites a été partiellement corrigé afin d'obtenir une représentation adéquate des principaux types de substrat (Fig. 1). L'échantillonnage du sol a été réalisé au niveau de l'horizon superficiel à 20 cm de profondeur pour chaque relevé floristique. Après tamisage, seulement la fraction 0-2 mm est prélevée. Les analyses chimiques ont été réalisées selon les méthodes publiées par le Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (1999). Le pH a été mesuré avec une électrode de verre dans une suspension à l'eau déminéralisée sol/eau.

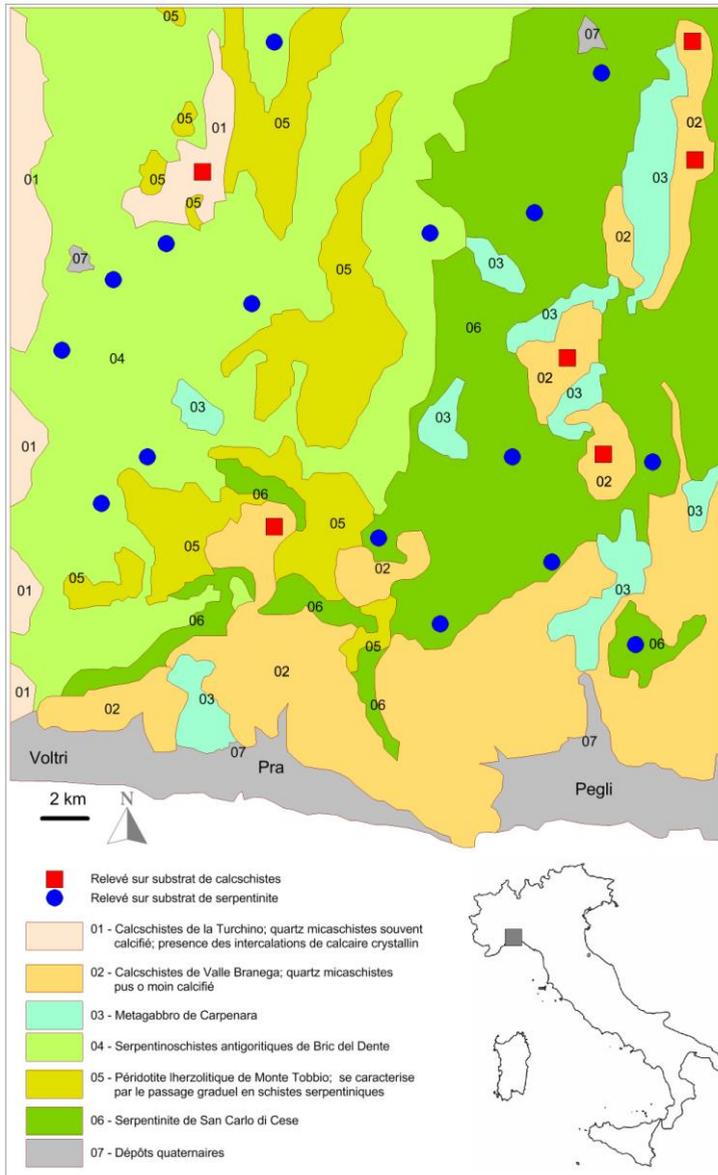


Figure 1. Zone d'étude et localisation des sites d'échantillonnages et des relevées floristiques.

Figure 1. Study area and location of sampling sites and identified floristic relevees.

La conductibilité (Con) a été mesurée directement sur la solution du sol, les valeurs rapportées à 25°C, sont exprimées en dS m⁻¹. L'azote total (AzT) a été déterminé par la technique du micro-Kjeldahl et la matière organique (MO) par la méthode Walkley-Black. La détermination de la capacité d'échange cationique (CEC) se fait avec le chlorure de baryum (BaCl₂) et de triéthanolamine (TEA, C₆H₁₅NO₃). La teneur en Ca et Mg échangeables a été obtenue par spectrophotométrie d'absorption atomique après extraction à l'acétate d'ammonium (CH₃COONH₄) à pH 7. Pour les éléments traces tel que le Fe, le Cu, le Cd et le Ni assimilables, ils ont été déterminés après solubilisation en solution nitro-chlorhydrique (HNO₃, HCl, 1:3, v:v) chaude plus le traitement par le réactif du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂).

II. Relevés floristiques.

Les relevés floristiques ont été réalisés selon la méthode d'écologie quantitative (Mueller-Dumbois & Ellenberg, 1974), sur deux types de substrat (serpentinite et calcschiste), dans une zone relativement restreinte, reconnue par une mosaïque de substrats plus ou moins serpentinisés. Pour chaque relevé, on a mesuré le recouvrement de toutes les espèces ligneuses sur une ligne de 50 m. On a attribué la valeur minimale de recouvrement (10 cm) aux espèces qui ne sont pas représentées sur cette ligne. Pour la strate herbacée, on a dénombré le nombre d'individus pour chaque espèce sur un quadra de 2 m² chaque 10 m de la ligne de 50 m. Pour la nomenclature des espèces recensées et leurs distributions chorologiques on a utilisé la Flore de l'Italie (Pignatti, 1982). Les types chorologiques *sensu* Good (1953) et Takhtajan (1986) et les formes de vie *sensu* Raunkiaer (1905) retenus dans cette étude ont été attribués à chaque espèce selon la classification de Pignatti (1982).

III. Traitement statistique des données.

Pour les données des analyses du sol, les moyennes, écart-types, coefficients de variation et les tests t ont été calculés par le logiciel Statistica V6 (StatSoft®). Pour les analyses multivariées (Analyse canonique) nous avons utilisé le logiciel Pc-Ord V4 (McCune & Mefford, 1999).

Pour l'analyse de la diversité nous avons calculé les indices de diversité suivants: l'indice H' de diversité de Shannon (Shannon, 1948), l'indice D de diversité de Simpson (1949), l'indice J d'équitabilité de Pielou (1969) et l'indice de Sørensen (1957). Les calculs ont été effectués en utilisant le logiciel PC-Ord V4 (McCune & Mefford, 1999)

Pour l'analyse phytoécologique, les valeurs écologiques indicatrices d'Ellenberg (L lumière, T température, K continentalité, F humidité, R acidité, N richesse en nutriments, entre 1 et 9, valables pour l'Europe centrale) (Ellenberg et al., 1992; Pignatti et al., 2005) sont calculées pour chaque relevé en pondérant les espèces par leur recouvrement. Les espèces dont la valeur écologique indicatrice est 0 (inconnue ou à large amplitude) ne sont pas prises en compte dans la moyenne pondérée. Les résultats sont présentés sous forme de diagrammes selon Pignatti et al. (1996). Nous avons également calculé le spectre biologique et le spectre chorologique de la flore pour chaque substrat.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

I. Sols

Les résultats obtenus des analyses des sols de la zone d'étude (Tab. 2), présentent une très grande hétérogénéité comme le montrent les intervalles de confiances des moyennes générales et les valeurs des coefficients de variation.

La comparaison des valeurs en séparant les sols en fonction des substrats, sur serpentinite (16 sites) et sur calcschiste (6 sites), montrent une hétérogénéité moins forte et une différenciation significative pour

certains paramètres entre les 2 types de sols. En effet, le t-test montre une différence significative pour les paramètres suivants: Con, CEC, AzT, MO, Ca, CM et Ni. Donc, on peut considérer que l'hétérogénéité du substrat engendre une hétérogénéité des sols qui se différencient à travers différentes caractéristiques.

	Moyenne Total		Groupe A (sur serpentine)			Groupe B (sur calcschiste)			test t	
	Moy±ET	CV	Moy±	ET	CV	Moy±	ET	CV	Pr > t	signif
pH	6,033 ± 0,64	10,68	6,13±	0,53	8,67	5,78±	0,84	14,57	0.2577	NS
Con	0,126 ± 0,154	122,47	0,075±	0,05	70,05	0,26±	0,24	88,19	0.0048	***
CSC	15,54 ± 6,823	43,89	13,06±	4,42	33,81	22,033±	7,59	34,46	0.0024	***
AzT	3,095 ± 2,056	66,44	2,53±	1,06	41,60	4,56±	3,16	69,17	0.0309	**
M.O	77,57 ± 41,88	53,99	65,29±	17,73	27,15	108,03±	67,19	62,20	0.0253	**
C.N	15,75 ± 3,315	21,04	15,95±	3,64	22,82	14,66±	2,25	15,32	0.4326	NS
Ca	6,71 ± 5,33	79,39	4,72±	2,28	48,14	12,056±	7,16	59,38	0.0013	***
Mg	6,39 ± 3,15	49,41	6,69±	3,44	51,38	6,005±	2,29	38,06	0.6545	NS
C.M	1,16 ± 1,005	86,37	0,76±	0,32	42,13	2,17±	1,43	65,89	0.0010	***
Fe	100,46 ± 49,038	48,81	94,81±	42,96	45,30	109,49±	64,39	58,81	0.5404	NS
Cu	14,53 ± 2,52	17,39	14,48±	2,61	17,99	15,16±	2,53	16,71	0.5939	NS
Cd	0,31 ± 0,11	38,25	0,29±	0,09	31,97	0,37±	0,16	44,30	0.2055	NS
Ni	66,62 ± 55,98	84,02	81,89±	57,58	70,30	29,91±	18,50	61,84	0.0045	***

Tableau 2. Présentation des valeurs moyennes des éléments chimiques pour les deux groupes. pH; (Con) Conductibilité en (dS/cm); (AzT) Azote totale; (M.O) Matière organique en (g/kg); Rapport C/N; (CSC) capacité d'échange de cations; (Ca) Calcium échangeable et (Mg) Magnésium échangeable en (meq/100g); Rapport Ca/Mg; (Fe) Fer assimilable, (Cu) Cuivre assimilable, (Cd) Cadmium assimilable et (Ni) Nickel assimilable en (mg/Kg); (CV) Coefficient de Variation; t test Student.

Table 2. Average values of the chemical elements in both groups. pH; (Con) Conductivity (dS/cm); (AzT) total nitrogen; (MO) organic matter (g/kg); C/N ratio; (CSC) cation exchange capacity; exchangeable calcium (Ca) and Magnesium (Mg) (meq/100 g); Ca/Mg ratio; (Fe) assimilable iron (Fe), copper

(Cu), cadmium (Cd) and nickel (Ni) (mg/Kg); (CV) coefficient of variation; Student's t-test.

Caractéristiques physiques et chimiques. Les sols de la zone d'étude peuvent être considérés comme modérément acide (USDA, 2010) et les valeurs du pH enregistrées ne sont pas significativement différentes entre les 2 types de substrats. Pour la conductivité la différence est significative et les sols sur calcschiste présentent des valeurs moyennes nettement supérieures de l'ordre de 27mS/cm. Ce qui laisse supposer que ce type de sols a des teneurs élevées en sels solubles. De même pour la CEC, les sols sur calcschiste montrent des valeurs élevées. D'une manière générale, les valeurs de la CEC dépendent de la texture et du pH. En effet, la teneur en éléments fins (argiles) et en matières organiques favorisent des valeurs élevées.

Richesse en MO, AzT et rapport CN. Les sols sur calcschiste présentent des teneurs significativement plus élevées en MO et en AzT et on peut les considérer comme plus riches. Par contre, les valeurs du rapport CN sont considérées comme équilibrées et de niveau médian et ne sont pas significativement différentes entre les 2 types de sols.

Teneurs en Ca, Mg et rapport CM. Les teneurs moyennes en Mg sur serpentine présentent des valeurs supérieures, mais la différence entre les 2 types de substrats n'est pas significative. Les sols sur serpentinites de la zone ne sont pas très magnésiens. Cet état des choses peut s'expliquer par le degré de métamorphisme, la faible altération de la roche et l'âge de l'affleurement (voir ci-dessus). Par contre, les teneurs moyennes en Ca sont bien différenciées et sont significativement plus élevées sur calcschiste, ce qui est logique vu la nature du substrat. Le rapport CM, montre une différence nettement significative, il est inférieure à 1 (0,76) chez les sols sur substrat serpentinique comparativement aux sols sur calcschiste (2,17). Donc, malgré l'absence d'une différence significative pour le Mg, l'effet serpentine s'exprime nettement à travers la valeur du rapport CM.

Teneurs en métaux lourds, Fe, Cu, Cd et Ni. Concernant le Fe, Cu, et Cd, il n'y a pas de différences significatives entre les 2 types de sols. Pour le Ni, les deux types de sols se différencient significativement, ils présentent des valeurs plus élevées 82 ppm en moyenne sur la serpentine, par contre sur les sols des affleurements calcschistes on trouve seulement 29 ppm.

II. Corrélation avec la végétation

L'idée sous-jacente à ce travail est de comparer le niveau de diversité observé dans les deux types de sols et d'essayer de voir dans quelle mesure l'hétérogénéité des substrats et des sols peuvent engendrer une différence dans les niveaux de diversité. En effet, d'une manière générale, on considère que la diversité diminue au niveau des affleurements serpentines. L'intérêt de notre étude est de vérifier cette hypothèse sur un modèle correspondant spatialement à une superficie réduite et où différents substrats (serpentinites et calcschistes) sont imbriqués en mosaïque. La comparaison avec d'autres régions du bassin méditerranéen est l'objet d'un travail en préparation.

Dans un premier temps on va comparer les niveaux de la diversité α par le paramètre le plus simple, la richesse spécifique. La richesse spécifique totale (S) au niveau du site est de 170 espèces (Tab. 3). Quand on compare la richesse spécifique totale (S) entre les deux types de sites, elle est nettement supérieure (137 espèces) sur serpentines et seulement 104 sur calcschiste (Tab. 4). Ce qui est un résultat non attendu du point de vue théorique. Est-ce que cette différence est liée à l'importance relative des superficies des deux types de substrat et du nombre de relevés réalisés? Nous pensons que cette explication est plausible (Grytnes & Birks, 2003, Crawford, 2008). En effet, si on compare la richesse spécifique moyenne, c'est à dire le nombre d'espèces par relevé, la diversité est au contraire nettement supérieure sur les relevés réalisés sur calcschiste.

Commune

Allium carinatum L.
Allium suaveolens Jacq.
Alnus glutinosa (L.) Gaertner
Anthericum liliago L.
Anthoxanthum odoratum L.
Arbutus unedo L.
Asplenium adiantum-nigrum L.
Aster alpinus L.
Brachypodium genuense (DC.) Roem. & Schult.
Carex demissa Hornem.
Carex panicea L.
Centaurea aplolepa Moretti
Centaurium erythraea Rafn
Cistus salvifolius L.
Cruciata glabra (L.) Ehrend.
Cynosurus cristatus L.
Cytisus scoparius (L.) Link
Cytisus sessilifolius L.
Cytisus villosus Poiret
Dactylis glomerata L.
Dianthus seguieri Vill.
Dittrichia viscosa (L.) Greuter
Echium vulgare L.
Erica arborea L.
Erica scoparia L.
Euphorbia brittingeri Opiz ex Samp.
Euphorbia dulcis L.
Euphorbia spinosa L.
Festuca pratensis Hudson
Fragaria vesca L.
Frangula alnus Miller
Fraxinus ornus L.
Galium mollugo L. *erectum* Syme
Genista germanica L.
Genista pilosa L.
Genista tinctoria L.
Helianthemum nummularium (L.) Miller
Hippocrepis comosa L.
Hypericum montanum L.
Inula hirta L.
Juniperus oxycedrus L.
Knautia arvensis (L.) Coulter
Lathyrus latifolius L.
Lavandula stoechas L.
Lotus corniculatus L.
Myrtus communis L.

Peucedanum cervaria (L.) Lapeyr.
Peucedanum officinale L.
Pinus pinaster Aiton
Plantago holosteum Scop.
Platanthera bifolia (L.) Rchb.
Polygala nicaeensis Risso
Pteridium aquilinum (L.) Kuhn
Pulicaria odora (L.) Rchb.
Quercus ilex L.
Quercus pubescens Willd.
Ranunculus repens L.
Reichardia picroides (L.) Roth
Robinia pseudoacacia L.
Rubia peregrina L.
Rubus ulmifolius Schott
Ruscus aculeatus L.
Sesleria pichiana Foggi, Pignotti & Graz. Rossi
Silene nutans L. *nutans*
Smilax aspera L.
Sorbus aria (L.) Crantz
Stachys officinalis (L.) Trevisan
Succisa pratensis Moench
Teucrium chamaedrys L.
Thymus praecox Opiz
Viola reichenbachiana Jordan ex Boreau

Serpentine

Achillea ligustica All.
Agrostis canina L. *canina*
Agrostis capillaris L.
Anemone nemorosa L.
Anthyllis vulneraria L.
Ammeria arenaria (Pers.) Schult. in Roem. & Schult.
Arrhenatherum elatius (L.) Presl
Asperula aristata L. fil.
Asperula purpurea (L.) Ehrend.
Asplenium cuneifolium Viv.
Asplenium septentrionale (L.) Hoffm.
Bellis perennis L.
Biscutella laevigata L.
Bromus erectus Huds.
Bromus hordeaceus L.
Bupleurum ranunculoides L.
Calamagrostis varia (Schrader) Host
Calicotome spinosa (L.) Link
Calluna vulgaris (L.) Hull
Carex echinata Murray

Carex humilis Leyss.
Carlina acaulis L.
Centaurea jacea L. *jacea*
Cerastium utriense Barberis
Cichorium intybus L. *intybus*
Cyanus triumfetti (All.) Dostál ex Á.Löve & D.Löve
Cytisus hirsutus L.
Dactylorhiza maculata (L.) Soó
Dactylorhiza sambucina (L.) Soó
Daphne creorum L.
Dianthus sylvestris Wulfen
Dryopteris affinis (Lowe) Fr.-Jenk.
Emerus major Mill.
Euphorbia cyparissias L.
Euphrasia officinalis L. *rostkoviana* (Hayne) Towns.
Fagus sylvatica L.
Festuca rubra L.
Gladiolus palustris Gaudin
Hieracium pilosella L.
Hieracium piloseloides Vill.
Juncus conglomeratus L.
Juniperus communis L.
Leontodon anomalus Ball
Leontodon hispidus L. *hispidus*
Leontodon saxatilis Lam.
Leucanthemum ircutianum (Turcz.) DC.
Linum campanulatum L.
Linum trigynum L.
Lonicera etrusca Santi
Molinia caerulea (L.) Moench
Olea europaea L.
Parnassia palustris L.
Peucedanum oreoselinum (L.) Moench.
Phragmites australis (Cav.) Trin.
Phyteuma scorzonerifolium Vill.
Poa bulbosa L.
Potentilla hirta L.
Prunella grandiflora (L.) Scholler
Ranunculus bulbosus L.
Schoenus nigricans L.
Sedum dasyphyllum L.
Serapias cordigera L.
Serratula tinctoria L. *tinctoria*
Sesamoides interrupta (Boreau) G. López
Trinia glauca (L.) Dumort.
Viola bertolonii Pio emend. Merxm. & Lippert

Calcschiste

Achillea millefolium L.
Agropyron cristatum (L.) Gaertn. ssp. *pectinatum* (M.Bieb.)Tzvelev
Anagallis arvensis L.
Asplenium onopteris L.
Avenula pratensis (L.) Dumort.
Briza media L.
Bromus sterilis L.
Calamintha nepeta (L.) Savi
Campanula glomerata L.
Carduus defloratus L. *defloratus*
Carex flava L.
Castanea sativa Miller
Cirsium palustre (L.) Scop.
Crataegus monogyna Jacq.
Daucus carota L.
Deschampsia flexuosa (L.) Trin.
Eriophorum latifolium Hoppe
Geranium nodosum L.
Geranium sanguineum L.
Helichrysum italicum (Roth) Don
Hypericum tetrapterum Fr.
Lathyrus linifolius (Reichard) Bassler
Moehringia muscosa L.
Osyris alba L.
Plantago lanceolata L.
Polygonatum odoratum (Miller) Druce
Satureja montana L.
Senecio inaequidens DC.
Sonchus oleraceus L.
Stachys recta L. *recta*
Tanacetum corymbosum (L.) Sch.-Bip.
Trifolium medium L.
Trifolium pratense L.

Tableau 3. Liste des espèces

Table 3. Species List

	Communs	Serpentine	Calcschiste
Arbre et Arbustes	29	12	5
Herbes	42	54	28
Richesse S		137	104
Moyenne		27.3	38.8
TOTAL		170	
Sørensen		0.574	

Tableau 4. La richesse spécifique.
Table 4. Species richness.

Dans un deuxième temps, on a comparé la diversité à travers les valeurs moyennes des indices de diversités de Shannon et de Simpson. Les résultats montrent des différences significatives (Tab. 5) et conformes à l'hypothèse, à savoir une diversité plus faible sur serpentinite par rapport aux sites sur calcschistes. Quant à l'équitabilité, elle est élevée dans les 2 types de sites et significativement différente et supérieure chez les sites sur calcschiste.

En ce qui concerne la diversité assimilée au type β , l'indice de similitude de Sørensen montre une différenciation nette entre les 2 types de sites (Tab. 4).

Les diagrammes selon Pignatti et al. (1996) (Fig. 2) montrent une remarquable similitude entre les deux substrats pour tous les paramètres phytoécologiques d'Ellenberg. Le cortège floristique sur serpentinites montre des valeurs écologiques plus évidentes pour les sols pauvres en éléments nutritifs et pour les zones à températures relativement basses avec une faible teneur hydrique.

		H	S	E	D
Calcschiste	G3	3.082	33	0.882	0.9302
	G8	3.197	45	0.84	0.9382
	G11	2.981	34	0.845	0.9269
	G12	3.365	39	0.912	0.9547
	G15	2.971	33	0.85	0.921
	G21	3.408	49	0.871	0.95
	MOYENNE	3.167	38.83	0.867	0.937
Serpentine	G1	3.161	39	0.863	0.9368
	G2	3.209	38	0.876	0.9445
	G4	2.27	26	0.697	0.8402
	G5	2.259	24	0.711	0.8374
	G6	2.23	21	0.733	0.8264
	G7	2.491	24	0.784	0.8719
	G9	2.226	14	0.844	0.8677
	G10	2.322	34	0.653	0.8004
	G13	2.923	24	0.92	0.9306
	G14	2.568	23	0.819	0.8965
	G16	2.508	30	0.737	0.8681
	G17	2.451	22	0.793	0.8816
	G18	2.786	26	0.855	0.9148
	G19	2.972	35	0.836	0.9227
	G20	2.915	27	0.875	0.9282
G22	2.8	30	0.815	0.9144	
MOYENNE	2.631	27.3	0.8	0.8864	
Test T	P	0.001	0.002	0.052	0.013
	Sig	***	***	*	***

Tableau 5. Valeurs moyennes des indices de la diversité floristique pour les deux groupes: la richesse spécifique (S), l'indice de Shannon (H), l'indice d'Équitabilité (E) et l'indice de Simpson (D). * ou *** expliquent que les

différences sont significatives (Sig), selon le test t de comparaison des moyennes (à un niveau de significativité de $p < 0.05$).

Table 5. Mean values of plant diversity indices for the two groups: species richness (S), Shannon index (H), index of Equitability (E) and Simpson index (D). * or *** explained that the differences are significant (Sig), according the t-test applied to the comparison of means (significance level of $p < 0.05$).

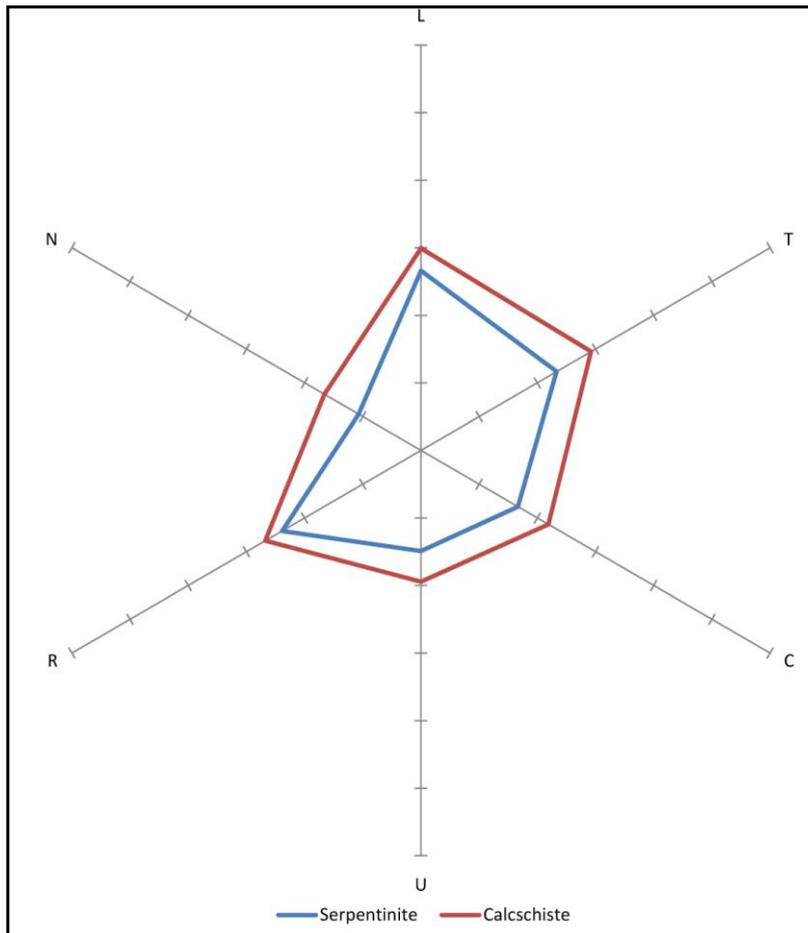


Figure 2. Diagramme des indices écologiques d'Ellenberg (voir les abréviations dans le texte).

Figure 2. Diagram of the ecological indexes according Ellenberg (see abbreviations in the text).

III. Singularités floristiques: endémismes et espèces serpentino-phytes.

L'analyse chorologique a un sens relatif, comme les espèces détectées ne représentent qu'une fraction de ceux qui sont effectivement présents sur les deux types de substrat. Du point de vue chorologique (Tab. 6, Fig. 3), les espèces rencontrées montrent que les aires chorologiques les plus représentées sont européennes, eurasiennes et méditerranéennes sur les deux substrats, serpentine et calcschiste. Les espèces avec gravitation boréale (CB) montrent un pourcentage plus élevé sur les serpentines. C'est peut-être en raison des conditions micro-climatiques et de la présence de zones refuges appropriées pour microthermes.

	Serpentine		Calcschiste		Communs		Totale	
	n.	%	n.	%	n.	%	n.	%
En - Endem	7	5,1	3	2,9	3	4,2	7	4,1
SM - Stenoméditerranéenne	16	11,7	12	11,5	12	16,9	16	9,4
EM - Euriméditerranéenne	15	10,9	13	12,5	8	11,3	20	11,8
MM - Méditerranéenne-montagnard	2	1,5	3	2,9	0	0,0	5	2,9
EE - Européo-Eurasiatique	57	41,6	47	45,2	34	47,9	70	41,2
SA - Subatlantique	6	4,4	5	4,8	3	4,2	8	4,7
OR - Orophyte Centro-Sud Europe	5	3,6	4	3,8	1	1,4	8	4,7
ES - Euro-Sibérienne	22	16,1	11	10,6	7	9,9	26	15,3
SC - Subcosmopolite	7	5,1	6	5,8	3	4,2	10	5,9
	137		104		71		170	

Tableau 6. Aires chorologiques des taxons recensées sur les deux types de substrats.

Table 6. Chorotypes of the taxa detected on both substrates.

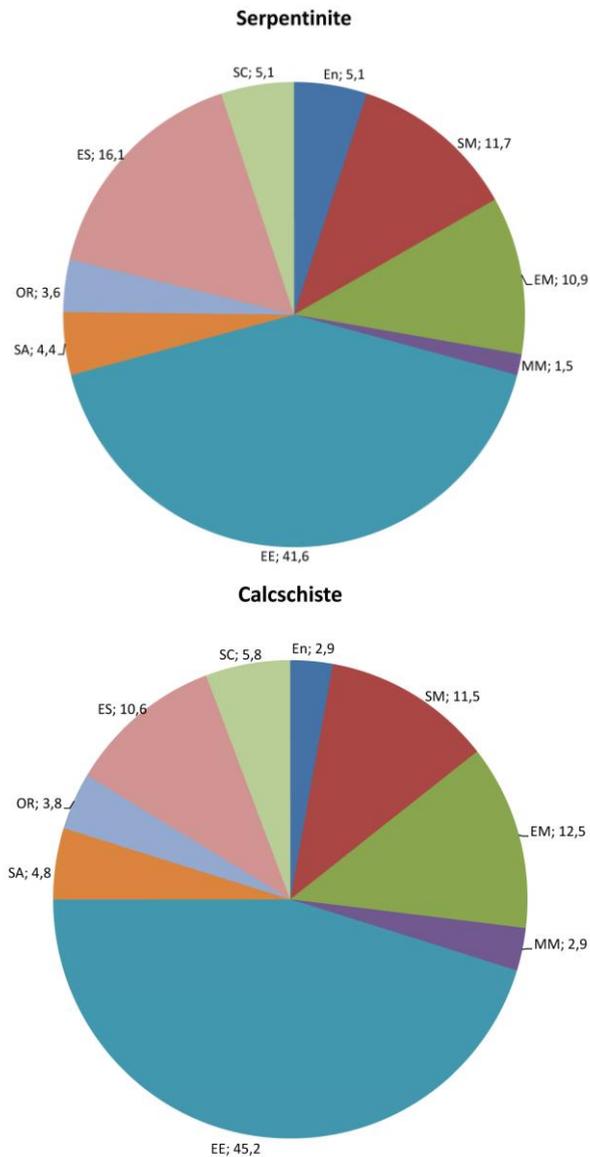


Figure 3. Spectres de distribution des espèces, calculé selon leurs proportions dans les relevés. Voir les abréviations des types chorologiques dans le tab. 6.
Figure 3. Spectra of species distribution, calculated according to their proportions in the releves. See chorotypes abbreviations in the tab 6.

Pour notre étude, les taxons les plus intéressants seraient ceux appartenant plutôt à des aires réduites. Les espèces appartenant aux aires plus restreintes montrent un pourcentage plus élevé sur serpentinite. L'aire chorologique qui correspondrait à un endémisme dans le sens large du terme est représentée par 5 espèces: *Centaurea aplolepa* Moretti ssp. *aplolepa*, *Cerastium utriense* Barberis (endémiques de une petite zone entre Genova et le Piemonte), *Leontodon anomalus* Ball (dans les Alpes Apuanes, les Apennins Tosco-Emilien, la Ligurie occidentale - Finale - et le Groupe de Voltri), *Phyteuma scorzonerifolium* Vill. (Endémiques des Alpes centre-ouest et le nord des Apennins) et *Viola bertolonii* Pio emend. Merxm. & W. Lippert (endémique d'une petite zone du NW de Genova). Chacun d'entre eux ont été trouvés sur serpentinite, tandis que sur les calcschistes ont été observées seulement *Centaurea aplolepa* et *Viola bertolonii*.

Espèces serpentinoxytes	Exclusive	Préférentielle	Serpentinite	Calcschiste
<i>Asplenium cuneifolium</i> Viv.	+	-	+	-
<i>Cerastium utriense</i> Barberis	+	-	+	-
<i>Viola bertolonii</i> Pio emend. Merxm. & W. Lippert	+	-	+	+
<i>Daphne cneorum</i> L.	-	+	+	-
<i>Sesamoides interrupta</i> (Boreau) G. López	-	+	+	-
<i>Linum campanulatum</i> L.	-	+	+	-
<i>Sesleria pichiana</i> Foggi Rossi et Pignotti	-	+	+	+

Tableau 7. Espèces serpentinoxytes détectées (serpentinite et/ou calcschiste).

Table 7. Detected serpentinoxytes (serpentine and /or calc-schist).

Un autre aspect de la spécificité de la flore de cette zone est la présence d'espèces spécialisées connues comme serpentinoxytes (endémisme écologique) et normalement adaptées et inféodées à la serpentinite ou dans les sols avec des métaux lourds (Tab. 7). 7 espèces serpentinoxytes ont été identifiées sur la zone d'étude dont 3 sont

considérées comme exclusives et 4 préférentielles. Cependant, la présence de ces espèces n'est pas toujours liée à la serpentinite comme le montre les cas de *Viola bertoloni* et *Sesleria pichiana*.

Les spectres biologiques (Tab. 8, Fig. 4) des espèces détectées montrent une remarquable similitude entre les deux substrats. Les hémicryptophytes l'emportent clairement sur les phanérophytes, camephytes et géophytes. Les thérophytes sont réduites en nombre.

	Serpentinite		Calcschiste		Communs		Totale	
	n.	%	n.	%	n.	%	n.	%
Ch - Chamaephyta	19	13,9	15	14,4	12	16,9	22	12,9
G - Geophyta	16	11,7	12	11,5	7	9,9	21	12,4
He - Hemicryptophyta	72	52,6	51	49,0	31	43,7	92	54,1
Ph - Phanerophyta	27	19,7	24	23,1	21	29,6	30	17,6
Te - Terophyta	3	2,2	2	1,9	0	0,0	5	2,9
	137		104		71		170	

Tableau 8. Formes de vie des taxons recensés sur les deux types de substrats.
Table 8. Life forms of the taxa detected on both substrates.

IV. Analyse canonique (PCA): sols et flore.

L'analyse canonique qui permet d'associer dans la même analyse les deux matrices (sols et flore) à travers une approche par l'analyse des composantes principales (PCA) montre d'une manière nette qu'il existe une structuration et une différenciation des deux types de sites. En effet, les résultats obtenus au niveau du cortège floristique, en corrélation avec les éléments chimiques montrent une différenciation des sites par l'axe principal 1 (Fig. 5). L'isolation des deux groupes opposés est très nette et correspond aux 2 types de substrats. Le premier groupe correspond aux relevés sur serpentinites et il est en corrélation avec la partie positive de l'axe et le second correspond aux relevés sur substrat calcschiste et il est corrélé au côté négatif de l'axe. L'axe 2 est plus corrélé aux espèces rares et à faibles représentations qui différencient certains relevés par rapports aux autres.

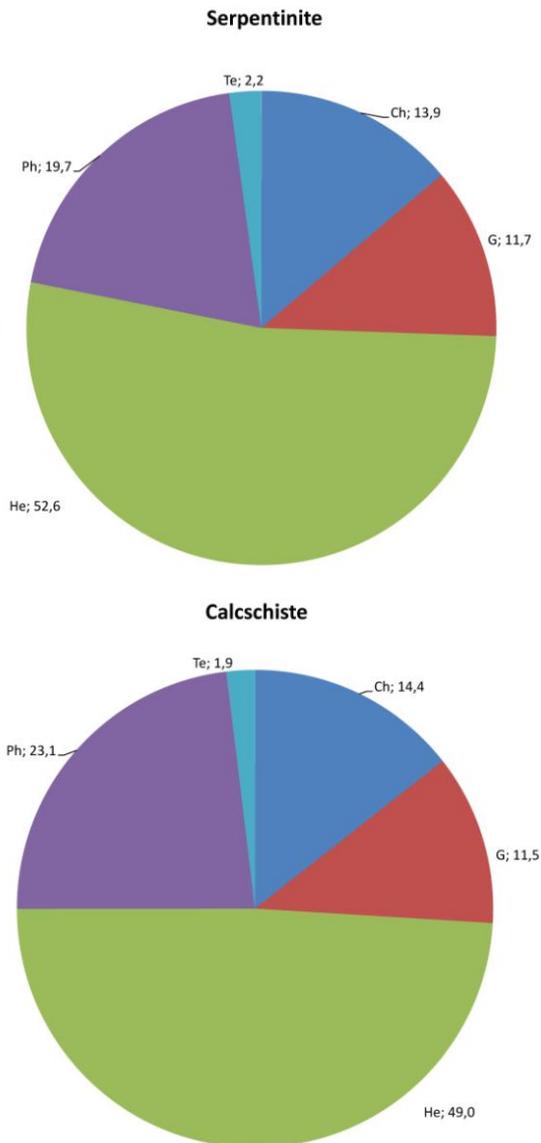


Figure 4. Spectres biologiques des espèces, calculés selon leurs proportions dans les relevés. Voir les abréviations des formes de vie dans le tab. 8.

Figure 4. Spectra of life forms, calculated according to their proportions in the releves. See abbreviations in the tab. 8.

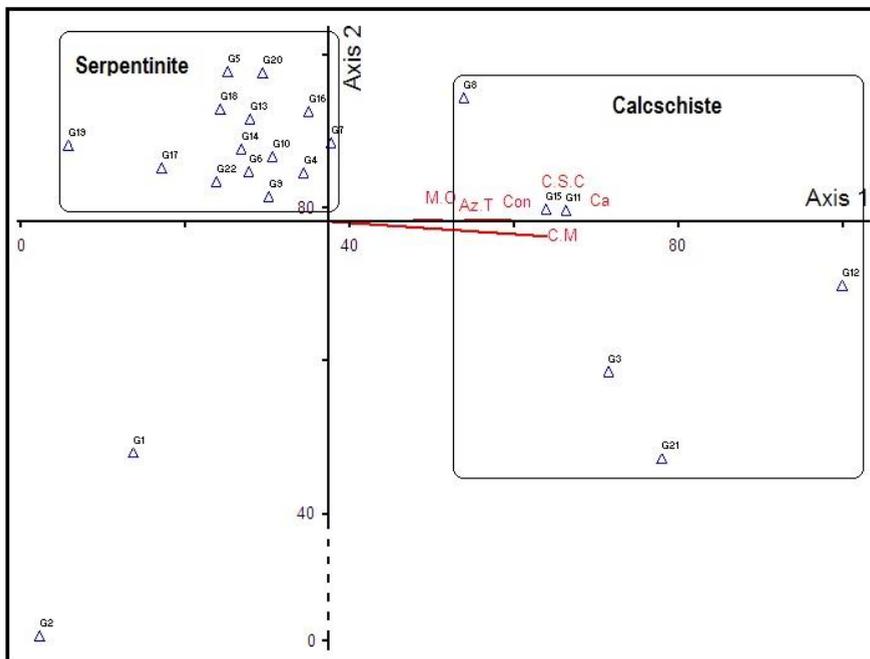


Figure 5. Présentation des deux groupes de relevés définis par les axes 1 et 2 de l'analyse PCA.

Figure 5. Ordination of the two groups of releves on axes 1 and 2 of PCA.

CONCLUSIONS

Malgré la proximité et le contact entre les deux types de substrats et malgré la possibilité d'échanges des éléments chimiques à cause de différents facteurs (ruissellement, vent...) on trouve une corrélation nette entre la différenciation des sols, la diversité et la singularité floristique, exprimée par des différences quantitatives et qualitatives des relevés floristiques.

Généralement, l'effet serpentine au niveau des sols est lié à l'intensité du métamorphisme, l'ancienneté de la roche et son état d'altération. Il se traduit au niveau des sols par des taux élevés de Mg, un rapport Ca/Mg faible et inférieur à 1 et la présence de métaux lourds.

En ce qui concerne les zones étudiées l'effet serpentine n'est pas très prononcé notamment à cause de la faible teneur en Mg échangeable et un rapport Ca/Mg qui n'est pas très favorable.

BIBLIOGRAPHIE

- Ater M., Lefévre C., Gruber W. & Meerts P., 2000. A phytogeochemical Survey of the flora of ultramafic and adjacent normal soils in North Morocco. *Plant and Soil*, 218: 127-135.
- Baker A.J.M., Proctor J., & Reeves R.D. 1992. The vegetation of ultramafic (serpentine) soils. *Proceedings of the First International Conference on Serpentine Ecology*. Intercept, Hampshire, UK. p. 509.
- Barberis G. & Mariotti M., 1983. Ricerche geobotaniche sulle zone umide del Gruppo di Voltri (Appennino ligure- piemontese). *Arch. Bot. (Forlì)* 57 (1-2) (1981):50-91..
- Bossolasco A., 1948 - Il «Ciclone di Genova» nel quadro del tempo in grande - *Geofisica pura e applicata* 11: 122-126.
- Brady K.U., Kruckeberg A.R. & Bradshaw Jr. H.D., 2005. Evolutionary Ecology of Plant Adaptation to Serpentine Soils. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 36: 243-266.
- Brooks R.R., 1987. Serpentine and its vegetation. A multidisciplinary approach. *Dioscorides*, Portland.
- Burroni A., Levi N., Marroni M., & Pandolfi L. 2003. Lithostratigraphy and structure of Lago Nero unit (Chenaillet massif, western Alps): comparison with internal Liguride units of northern Apennines. *Ofioliti*, 28: 1-11.
- Chiarucci A. 2004. Vegetation ecology and conservation on Tuscan ultramafic soils. *The Botanical Review* 69:252–268.
- Chiarucci A. & Maccherini S., 2007 . Long-term effects of climate and phosphorus fertilisation on serpentine vegetation *Plant Soil*. 293: 133-144.
- Chiarucci A., Robinson B.H., Bonini I., Petit D., Brooks R. & De Dominicis V., 1998. Vegetation of Tuscan ultramafic soils in relation to edaphic and physical factors. *Folia Geobotanica* 33: 113-131.
- Chiarucci A., Maccherini S., I. Bonini, & V. De Dominicis. 1999. Effects of nutrient addition on community productivity and structure of serpentine vegetation. *Plant Biology* 1: 121–126.
- Chiarucci A., Rocchini D., C. Leonzio, & V. De Dominicis. 2001. A test of vegetation-environment relationship in serpentine soils of Tuscany, Italy. *Ecological Research* 16: 627–639.

- Chiarucci A., Bonini I. & Fattorini L. 2003, Community dynamics of serpentine vegetation in relation to nutrient addition and climatic variability *Journal of Mediterranean Ecology* vol. 4: 23–30.
- Chiesa S., Cortesogno L., Forcella F., Galli M., Messiga B., Pasquarè G., Pedemonte G.M., Piccardo G.B. & Rossi P.M., 1975, Assetto strutturale ed interpretazione geodinamica del Gruppo di Voltri, *Boll. Soc. Geol. It.*, 94: 555-581.
- Cornara L., Roccotiello E., Minganti V., Drava G., De Pellegrini R., & Mariotti M.G. 2007. Level of trace elements in Pteridophytes growing on serpentine and metalliferous soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 170: 1–7.
- Crawford J., 2008 - Multi-scale investigations of alpine vascular plant species in the San Juan Mountains of Colorado, USA GLORIA target region. *Scientifica Acta* 2: 65-69.
- Dorize L. 1997. L'approche classique du climat en Méditerranée occidentale. in: Tabeaud M., Pech P. & Siom L. (Eds.) *Géo-Méditer. Géographie Physique et Méditerranée*. Publications de la Sorbone, 103-111.
- Eldridge M.M., 2011. Serpentinities and Other Ultramafic Rocks: Why They Are Important for Earth's History and Possibly for Its Future In: Harrison, S. P. and N. Rajakaruna (Eds.). *Serpentine: Evolution and Ecology in a Model System*, pp. 3-28. University of California Press, Berkeley, CA, USA.
- Ellenberg H., Weber H.E., Düll R., Wirth V-, Werner W., Paulissen D., 1992. *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. 2nd ed. *Scripta Geobotanica* 18: 1–248.
- Galli M., Bezzi A., Piccardo G.B., Cortesogno L., & Pedemonte G.M. 1972. Le ofioliti dell'Appennino Ligure: un frammento di crosta mantello dell'antica Tetide. *Mem. Soc. Geol. Ital.* 11.
- Good R., 1953. *The Geography of the Flowering Plants*. 2nd Edit. Longmans, Green & Co. 452 pp.
- Grytnes J.A. & Birks H.J.B., 2003, The influence of scale and species pool on the relationship between vascular plant species richness and cover in an alpine area in Norway. *Plant Ecology* 169: 273-284.
- Harrison S.P. & Rajakaruna N. (Eds.) 2011. *Serpentine: Evolution and Ecology in a Model System*, University of California Press, Berkeley, CA, USA.
- Hoogerduijn Strating, E.H., Piccardo G.B., Rampone E., Scambelluri M., & Vissers R.L.M., 1990, The structure and petrology of the Erro – Tobbio peridotite (Voltri Massif, Ligurian Alps): a two day excursion with emphasis on processes in the upper mantle, *Ofioliti*, 15: 119 – 184.
- Hoogerduijn Strating, E.H., Rampone E., Piccardo G.B., Drury M.R., & Vissers R.L.M., 1993, Subsolidus emplacement of mantle peridotites during incipient oceanic rifting and opening of the mesozoic Tethys (Voltri Massif, NW Italy), *Journal of Petrology*, 34: 901-927.

- Kristy U., Brady Arthur R., Kruckeberg A.R. & H.D. Bradshaw Jr. 2005. evolutionary ecology of plant adaptation to serpentine soils. *University of Washington, Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 36: 243–66.
- Kruckeberg A., 1984. California serpentines: flora, vegetation, geology, soils and management problems. *University of California Publication in Botany* 78: 1-180.
- Locher T., 1957. Zur geologie der gruppe von Voltri. *Mitt. Geol. Inst. ETH Univ. Zurich*, ser. C. 71.
- Mariotti, M.G. 1994. Osservazioni sulle formazioni a *Buxus sempervirens* e a *Genista salzmannii* della Liguria orientale. *Memorie della Accademia Lunigianese di Scienze* 59:77–125.
- Marsili S., Roccotiello E., Carbone C., Marescotti P., Laura Cornara L., and Mariotti M.G., 2009. Plant Colonization on a Contaminated Serpentine Site In: *Soil and Biota of Serpentine: A World View Northeastern Naturalist* 16(Special Issue 5): 297–308.
- McCune B. & Mefford, M.J. 1999. PC-ORD, multivariate analysis of ecological data, version 4. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- Ministero Politiche Agricole e Forestali, 1999. Decreto Ministeriale 13 settembre 1999. Approvazione dei “Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo”. *Gazzetta Ufficiale* n.248 del 21 ottobre 1999, Supplemento Ordinario n. 185.
- Mueller-Dumbois D., Ellenberg H. 1974. *Aims and Methods of vegetation Ecology*. John Wiley and Sons, New York.
- Parrot J.F., Ricou L.E., 1976. Evolution de assemblages ophiolitiques au cours de l’expansion océanique. *Cah. O.R.S.T.O.M.*, ser. Geol., vol. VIII (1): 49-65.
- Pielou E.C., 1969. *An introduction to Mathematical Ecology*. Witley-Interscience ed., New York.
- Pignatti S., 1982. *Flora d’Italia*. Edagricole, Bologna.
- Pignatti S., Ellenberg H., Pietrosanti S., 1996. Ecograms for phytosociological tables based on Ellenberg’s Zeigerwerte. *Ann. Bot. (Roma)*, vol. 54: 5-14.
- Pignatti S., Menegoni P., Pietrosanti S., 2005. Bioindicazione attraverso le piante vascolari. Valori di indicazione secondo Ellenberg (Zeigerwerte) per le specie della Flora d’Italia. *Braun-Blanquetia*, 39 (97 pp.). Camerino
- Proctor J. & Woodell R.J., 1975. The ecology of serpentine soils. *Advances in Ecological Research* 9: 255-365.
- Raunkiær, C., 1905. Types biologiques pour la géographie botanique. Oversight over Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Forhandling: 347-438.

- Rivas-Martinez S., 2004. Clasificación Bioclimática de la Tierra. Versión 27-08-2004.
http://pendientedemigracion.ucm.es/info/cif/book/bioc/global_bioclimatic_s_0.htm
- Rivas-Martinez S., Penas A. & Diaz T.E., 2004. Bioclimatic Map of Europe.
<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/cif/form/maps.htm>
- Roberts B. & Proctor, J. (eds). 1992. The Ecology of Areas with Serpentinized Rocks: a World View. Kluwer Acad. Publishers, Dordrecht.
- Selvi F., 2006. Diversity, geographic variation and conservation of the serpentine flora of Tuscany (Italy). *Biodiversity and Conservation* (2007) 16:1423–1439.
- Shannon C.E., 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27: 379-423; 623-656.
- Simpson E. H., 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163: 688.
- Sørensen T., 1957. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab* 5 (4): 1–34.
- Takhtajan A. 1986. *Floristic Regions of the World*. UCP. Berkeley.
- USDA (United States Department of Agriculture), 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. 11th edition. 346 p.
- Vagge I. 1997. Le garighe a *Genista desoleana* Valsecchi ed *Euphorbia spinosa* L. subsp. *ligustica* (Fiori) Pign. della Liguria orientale (Italia NW). *Fitosociologia* 32:239–243.
- Vergnano Gambi O. 1992. The distribution and ecology of the vegetation of ultramafic soils in Italy. In: Roberts B.A. and Proctor J. (eds), *The Ecology of Areas with Serpentinized Rocks: A World View*. Kluwer, Dordrecht, pp. 217–248.
- Whittaker R.H. (ed.), 1954. *The ecology of the serpentine soils: a Symposium*. Ecology 35.