

## TYPOLOGIE FONCTIONNELLE ET TAXINOMIQUE DES PINÈDES DE L'ALGÉROIS ET DE L'ORANAIS (ALGÉRIE)

Lila BRAKCHI-OUAKOUR<sup>1</sup>, Leila KADIK<sup>1</sup> & Sophie GACHET<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire d'Écologie végétale, Faculté des Sciences Biologiques, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène, BP 32 El Alia, Alger 16 111 (Algérie). E-mail : lbrakchi@hotmail.fr ; l\_kadik@yahoo.fr

<sup>2\*</sup> Auteur pour correspondance : Aix Marseille Université, IMBE UMR 7263-CNRS-IRD-UAPV, 13397 Marseille (France). E-mail : sophie.gachet@imbe.fr

**SUMMARY.**— *Functional and taxonomic typology of pine communities in Algiers and Oran areas (Algeria)* — Standard measurements of biodiversity, such as those based on species diversity and abundance, do not take into account the ecological and evolutionary characteristics of species *per se*, and provide us with an incomplete understanding of the causes and consequences of changes in biodiversity. Communities of Aleppo pines *Pinus halepensis* Mill. are under study in two Algerian phytogeographical areas: Algiers' subhumid and humid bioclimate, and Oran's semi-arid bioclimate. The purpose of this study is to analyse the floristic diversity of various communities of Aleppo pines, and to provide a typology based on twin approaches: a taxonomic analysis of the flora, and an analysis of the plants' functional traits in these two areas. Correspondence factor analysis (CFA) has been conducted in both cases, and the results have been compared and discussed. The taxonomic analysis brings out contrasting ecological descriptors (altitude, substrate, etc.) and explains the plants' distribution in relation to their environmental factors, but reveals no significant difference between the two areas under consideration. The functional analysis allowed for the identification of the main functional traits in each of the areas under study, and helped us define several functional groups in each case. A comparison of the results in both sectors shows that the organization of the Aleppo pine communities under consideration is principled upon phytogeographical, altitudinal, and disturbance gradients. Standard ecological factors evidenced by the taxonomic approach cannot single-handedly explain the dynamics of the communities; however, their functional traits have clarified and supplemented the flora's history in these two areas.

**RÉSUMÉ.**— Les mesures classiques de la biodiversité, telles que la richesse ou la diversité spécifique, ne tiennent pas intrinsèquement compte des caractéristiques écologiques et évolutives des espèces et ne renseignent qu'incomplètement sur les causes et conséquences des changements de biodiversité. Des formations à Pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill. sont étudiées dans deux secteurs phytogéographiques : l'Algérois à bioclimat subhumide et humide, et l'Oranais à bioclimat semi-aride. L'objectif de cette étude est d'analyser la diversité floristique des diverses formations à Pin d'Alep et de proposer une typologie selon deux approches, l'une fondée sur l'analyse taxinomique de la flore et l'autre sur l'analyse des traits fonctionnels des plantes de ces deux secteurs. Des Analyses Factorielles des Correspondances ont été réalisées dans ces deux cas et leurs résultats comparés et discutés. L'analyse taxinomique fait ressortir des descripteurs écologiques contrastés (altitude, substrat, etc.) et explique la répartition de la végétation par rapport aux facteurs écologiques, sans toutefois faire ressortir de différence significative entre les deux secteurs. L'analyse fonctionnelle a permis d'identifier les traits dominants dans chacun des deux secteurs, permettant ainsi de définir des groupes fonctionnels de plantes propres à chacun. La comparaison des résultats obtenus entre les deux secteurs montre que les formations étudiées s'organisent selon un gradient phytogéographique, un gradient altitudinal et un gradient de perturbations. Les facteurs écologiques classiques mis en évidence par l'approche taxinomique n'ont pas pu expliquer à eux seuls la dynamique des peuplements, mais l'apport des traits fonctionnels est venu compléter et préciser l'histoire de la mise en place de la végétation de ces deux secteurs.

---

Les écosystèmes méditerranéens sont caractérisés par des contraintes climatiques particulières (des étés chauds et secs, des hivers doux et pluvieux et des variabilités interannuelles fortes) mais également par une pression anthropique importante, essentiellement du fait de l'urbanisme, de la déforestation et du surpâturage (Daget, 1976 ; Di Castri *et al.*, 1981 ; Quézel & Médail, 2003). De par son histoire, sa géographie, des conditions écologiques et économiques particulières, ainsi que par la présence de nombreux écosystèmes dégradés, l'Algérie est un bon prototype des pays méditerranéens en développement. Le contexte sociopolitique instable qui y a prévalu au cours des

deux dernières décennies a eu pour conséquence directe une augmentation importante des feux de forêts entraînant une accélération de l'érosion des sols et un mouvement de migration important des populations humaines.

En Algérie, le Pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill. est très bien représenté dans presque tous les étages bioclimatiques, depuis le bord de mer jusqu'aux zones présahariennes (subhumide, semi-aride et aride). On constate depuis ces dernières décennies une augmentation de l'aire du Pin d'Alep qui se substitue au Chêne vert. Selon Kadik (2005), la déforestation due à l'action de l'homme (pâturage anarchique, coupes de bois, incendies fréquents) ainsi que d'autres phénomènes tels que l'aridification des milieux et le réchauffement climatique entraînent une translation de l'aire du Pin d'Alep du sud vers le nord. Dans le secteur algérois, les incendies répétés sur l'Atlas blidéen notamment ont favorisé son développement au détriment de celui du Chêne vert grâce à sa capacité de colonisation supérieure, due notamment à la présence de cônes sérotineux permettant la régénération après feu. Toutefois, il faut remarquer que, si l'aire du Pin d'Alep connaît une extension au nord, ses peuplements sont menacés de disparition en région méridionale où l'on assiste à une thérophytisation voire à une steppisation alarmante de ces formations sous l'effet de l'action anthropique et des changements climatiques (Kadik, 2005).

Le but de ce travail consiste à tester l'apport de la diversité fonctionnelle dans la typologie de la végétation de deux régions classiquement étudiées en termes de diversité taxinomique. Il vise aussi à examiner les conséquences biologiques de la substitution de ces formations à Pin d'Alep sur les autres habitats, par la présence de facteurs liés aux perturbations telles que les incendies, les coupes et le surpâturage.

Parmi les différentes hypothèses formulées en écologie à propos des variations du fonctionnement d'un écosystème en fonction de sa diversité, celle de Mac Arthur (1955) stipule qu'une augmentation de la richesse spécifique conduit à une plus grande stabilité de l'écosystème. Les travaux de recherche actuels examinent si ce lien est dû exclusivement à la richesse spécifique ou plutôt à un fonctionnement plus diversifié de l'écosystème. Dans ce dernier cas, une augmentation de biodiversité conduisant à une meilleure adaptabilité des systèmes écologiques face aux perturbations, ne peut être justement appréciée qu'en tenant compte du fonctionnement des écosystèmes (Burylo, 2010). La caractérisation fonctionnelle de la végétation repose sur les traits des espèces et permet de mieux comprendre les mécanismes responsables de l'évolution de ces communautés (Lavorel & Garnier, 2002 ; Garnier & Navas, 2013).

Notre hypothèse est que ce sont les traits biologiques individuels des espèces de plantes, plus encore que le nombre de ces espèces, qui déterminent leur réponse à une perturbation. Ainsi, afin de tester en quoi la prise en compte de la diversité fonctionnelle pourrait jouer un rôle important dans l'adaptation des systèmes écologiques face aux perturbations, nous avons considéré divers traits biologiques se rapportant à la morphologie des plantes (taille, forme des feuilles, etc.), à leur histoire de vie (tolérance à l'ombre, stratégie adaptative, etc.) ou à leur mode de régénération (dissémination des graines et du pollen, type de pollinisateur, etc.)

Le concept de groupes fonctionnels propose de classer les espèces selon une réponse commune aux facteurs de l'environnement afin de prédire les effets sur les processus écosystémiques et la dynamique de la végétation (Gitay & Noble 1997 ; Hooper *et al.*, 2005).

Un travail de comparaison entre l'approche taxinomique et l'approche fonctionnelle permettra de mieux situer leurs apports respectifs en milieu méditerranéen, notamment pour retracer l'historique de la dynamique de la végétation, souvent lié aux différentes pressions écologiques ou anthropozoïques.

Lavorel *et al.*, (1997) ont montré qu'il est possible de modéliser des schémas de l'état des milieux à partir des traits biologiques des espèces, ce qui permet de s'affranchir des différences de cortèges d'espèces au sein de contextes stationnels différents.

Les deux secteurs d'étude choisis sont localisés dans le nord de l'Algérie (secteur algérois, avec deux sous-secteurs) et à l'ouest (secteur oranais, avec trois sous-secteurs).

Les résultats de cette étude permettront aussi de mieux comprendre l'état des milieux dominés par le Pin d'Alep dans la partie septentrionale de l'Algérie et de mettre en évidence les pinèdes qui sont situées dans des conditions de survie difficile et donc menacées de disparition.

Les mesures classiques de biodiversité telles que la richesse ou la diversité spécifique ne tiennent pas compte des caractéristiques écologiques et évolutives des espèces et renseignent donc mal sur les causes et conséquences des modifications de biodiversité. Nous avons donc voulu décrire ces communautés par une approche fonctionnelle centrée sur les traits des espèces, en plus de l'approche taxinomique.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

### ZONE D'ÉTUDE

Deux grandes zones phytogéographiques ont été retenues, l'une située dans le secteur algérois correspondant aux sous-secteurs A1 et A2 au sens de la classification de Quézel & Santa (1962) et l'autre dans le secteur oranais avec les sous-secteurs O1, O2 et O3 (Fig. 1).

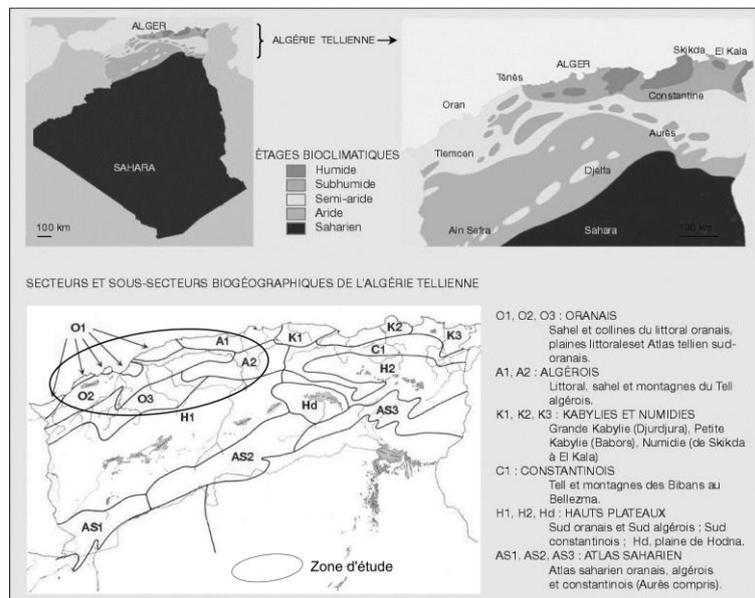


Figure 1.— Contextes bioclimatique et biogéographique de l'Algérie (Quézel & Santa, 1962-1963) modifié par (Amirouche & Misset, 2009)

#### *Secteur algérois, sous-secteur littoral (A1)*

Ce sous-secteur se situe dans la partie sublittorale de l'Algérie et comprend les forêts de Beni Habibas, Affaine, Taourira, Tazout Hassene, Larhat El Marsa, Gouraya et Ténès (Fig. 1, secteur A1). Ces stations sont en bioclimat méditerranéen subhumide et humide, variante à hiver chaud. Le bioclimat subhumide est cependant dominant dans cette région, comme l'atteste la présence d'espèces thermophiles (*Pinus halepensis*, *Pistacia lentiscus*, *Myrtus communis*, *Calicotome spinosa*, *Globularia alypum* et *Stachelina dubia*). Cette zone appartient au thermo méditerranéen, sur sols fersiallitiques et bruns calcaires (Kadik, 1983).

#### *Secteur algérois, sous-secteur de l'Atlas tellien (A2)*

Ce sous-secteur de l'Atlas tellien comprend l'Atlas blidéen qui s'élève jusqu'à 1000 m d'altitude, ainsi que le Djebel Mouzaia, les montagnes de Beni Miscera et de Beni Salah, les pics de Koudiat Chréa et de Sidi Abdelkader, et d'autres djebels tels que le Djebel Ferroukha et le Djebel Azroumouche. Du point de vue climatique, ce sous-secteur se classe dans le bioclimat méditerranéen subhumide et humide, variante à hiver frais et tempéré, situations beaucoup plus fraîches que celles

du littoral algérois précédent. Cependant, la variante à hiver frais règne localement dans les stations de Médéa et Chréa plus abritées, comme l'atteste la présence de certains végétaux mésophiles tels que *Juniperus oxycedrus*, *Lonicera implexa*, *Arbutus unedo* et *Cytisus arboreus* (Fig. 1, secteur A2). Cette zone appartient au thermo méditerranéen et méso méditerranéen sur sols bruns calcaires, marnes calcaires, sols rouges fersiallitiques et sols bruns faiblement lessivés (Kadik, 1983).

### Secteurs oranais (O1, O2, O3)

La région concernée correspond au Tell occidental algérien, partie de l'Atlas tellien, gros bourrelet montagneux orienté parallèlement à la côte méditerranéenne (Fig. 1). Elle est limitée au sud par les Hauts Plateaux steppiques, et s'étend d'est en ouest de l'embouchure du Chélif jusqu'aux frontières algéro-marocaines (plaine d'Oujda). La région est classée habituellement dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver tempéré et chaud. Les espèces forestières les plus répandues sont le Pin d'Alep, le Chêne vert, le Thuya (*Tetraclinis articulata*) et le Genévrier rouge (*Juniperus turbinata*). Les forêts de Pin d'Alep sont constituées de trois blocs : (i) les sahels littoraux (O1) présents à des altitudes inférieures à 400 m ; (ii) les basses et hautes plaines de l'Oranie, à des altitudes comprises entre 150 et 1200 m ; et (iii) les montagnes oranaises, qui atteignent 1300 m d'altitude (Tab. I).

TABLEAU I

Caractéristiques orotopographiques et bioclimatiques des régions du secteur oranais

Sous-secteurs		Principales localisations	Relief	Altitude (m)	Étage bioclimatique
O1	Les sahels littoraux	Monts des Traras, Sahel d'Oran et d'Arzew, Plateau mostaganémois, La Dahra	Montagnes (> 12 %)	0-400	Semi-aride inférieur à hiver chaud
O2	Basses plaines littorales	Plaine de la Mléta, Plaine de l'Habra, Plaine de la Macta, Plaine du Chélif	Plaines (< 12 %)	150-700	Semi-aride inférieur à hiver tempéré
	Hautes plaines intérieures	Bassins intérieurs de Maghnia, Sidi Bel Abbès et de Mascara	Plaines (<12 %)	600-1200	Semi-aride moyen à hiver tempéré
O3	Montagnes oranaises	Monts de Tlemcen, de Daya, de Saïda, de Frenda et de Tiaret	Montagnes (>12 %)	700-1300	Subhumide inférieur à hiver frais

### MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE

Un échantillonnage sur des surfaces de 100 m<sup>2</sup> a concerné toutes les formations à Pin d'Alep pures ou en mélange avec d'autres espèces telles que le Chêne vert, le Thuya, le Genévrier rouge et le Chêne kermès. Plusieurs cartes topographiques à différentes échelles sont utilisées provenant de l'Institut National de la Cartographie, ainsi que la carte du tapis végétal et des conditions écologiques (Barry & Celles, 1974) pour la répartition du Pin d'Alep en Algérie.

Les relevés réalisés comportent des données écologiques (altitude, exposition, pente et type de substrat) et floristiques, et sont basés sur la méthode phytosociologique avec une estimation de la moyenne du recouvrement (abondance-dominance) pour chaque espèce, afin de recenser l'ensemble des habitats de la flore des pinèdes et d'estimer la richesse et la diversité spécifiques.

À partir d'une matrice relevés x espèces, nous nous sommes intéressés à la signification écologique des espèces afin de déterminer les facteurs responsables de la répartition des communautés dans le secteur algérois, puis dans le secteur oranais. Nous avons également examiné la signification écologique des traits fonctionnels en faisant ressortir des groupes fonctionnels, et déterminé leur pertinence pour l'étude de la réponse de ces communautés de plantes aux facteurs écologiques.

### ANALYSES DE DONNÉES

#### AFC relevés x espèces

Une Analyse Factorielle des Correspondances a été réalisée avec le logiciel XLSTAT (2010) sur deux matrices initiales, l'une correspondant au secteur algérois comportant 160 relevés et 271 espèces, et l'autre au secteur oranais avec 109 relevés et 197 espèces.

#### AFC espèces x traits fonctionnels

Un trait fonctionnel est défini comme une caractéristique morphologique, physiologique ou phénologique mesurable à l'échelle de l'individu, de la cellule à l'organisme entier, sans référence à l'environnement ou à tout autre niveau

d'organisation (Violle *et al.*, 2007). Les espèces fonctionnellement semblables sont classées en groupes fonctionnels ayant les mêmes réponses à un changement environnemental, ou les mêmes effets sur le fonctionnement de l'écosystème (Gitay & Noble 1997).

Les espèces sont renseignées d'après leurs traits issus de la base de données BASECO (Gachet *et al.*, 2005) et de divers travaux de thèse (Médail, 1996 ; Bonnet, 2001 ; Gachet, 2002). L'ensemble des données est analysé par AFC, afin d'établir une correspondance entre les groupes fonctionnels et leur composition taxinomique et ainsi comparer la part apportée par ces deux types d'informations.

Les traits utilisés sont habituellement classés en trois catégories : traits morphologiques, traits d'histoire de vie et traits de régénération (Lavorel *et al.*, 1997). Les traits que nous avons choisis sont ceux de BASECO (Gachet *et al.*, 2005) et ont été jugés importants pour l'étude du rôle des communautés végétales dans l'écosystème méditerranéen (Tab. II) :

- les types biologiques (au sens de Raunkiaer) : phanérophytes, chaméphytes, hémicryptophytes, géophytes et thérophytes ;
- les stratégies démographiques de Grime (1974) : espèces rudérales (R), espèces compétitrices (C), espèces tolérantes au stress (S) et leurs combinaisons ;
- le mode de dissémination des diaspores (Mollinier & Muller, 1938 *in* Van Der Pijl, 1982) : espèces anémochores, zoochores, barochores, hydrochores, autochores ;
- la tolérance à l'ombre, dont les modalités retenues sont : héliophile, sciaphile, tolérant ;
- la phénologie : annuelle, bisannuelles caduques, sempervirentes, vivaces ;
- les vecteurs de pollinisation : anémogames, entomogames, autogames ;
- et divers traits se rapportant à la morphologie de la plante : type de feuillage (caduque, sempervirent), type de feuille (aiguille, écaille graminéenne, microphyllie, macrophyllie) et consistance des feuilles (malacophylle, sclérophylle).

TABLEAU II

*Traits de vie et classes retenues pour l'identification des groupes fonctionnels*

<i>Types morphologiques</i>	
<p><b>1. Type de feuillage</b> Lavorel &amp; al., (1997)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caduc</li> <li>• Sempervirent</li> </ul>	<p><b>3. Consistance de la feuille</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Malacophylle</li> <li>• Sclerophylle</li> <li>• Succulente</li> </ul>
<p><b>2. Type de feuilles</b> Gondard (2001)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aiguilles, écailles ou épineuses</li> <li>• Graminée</li> <li>• Microphyllie</li> <li>• Macrophyllie</li> </ul>	<p><b>4. Types biologiques</b> Raunkiaer (1934)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Thérophyte</li> <li>• Géophyte</li> <li>• Hémicryptophyte</li> <li>• Chaméphyte</li> <li>• Phanérophyte</li> </ul>
<i>Traits d'histoire de vie</i>	
<p><b>1. Cycle de vie</b> Véla (2002)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Annuelle</li> <li>• Bisannuelle</li> <li>• Vivace</li> </ul>	<p><b>3. Stratégies adaptatives</b> Grime (1974)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SR (stress- rudérales)</li> <li>• CR (compétitrices- rudérales)</li> <li>• CS (compétitrices-tolérantes)</li> <li>• C (compétitrices)</li> <li>• S (tolérantes au stress)</li> <li>• R (espèces rudérales)</li> <li>• CSR (stratégie triple)</li> </ul>
<p><b>2. Tolérance à l'ombre</b> (Rameau <i>et al.</i>, 1993)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Héliophile</li> <li>• Sciaphile</li> <li>• Tolérant</li> </ul>	
<i>Traits de régénération</i>	
<p><b>1. Type de dissémination</b> (Van der Pijl, 1982)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anémochore</li> <li>• Zoochore</li> <li>• Autochore</li> <li>• Barochore</li> <li>• hydrochore</li> </ul>	<p><b>2. Type de pollinisateur</b> Van Der Pijl, (1982)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anémogame/entomogame</li> <li>• Entomogame</li> <li>• Anémogame</li> <li>• Autogame/entomogame</li> </ul>

## INDICES DE BIODIVERSITÉ

L'indice de diversité le plus couramment utilisé dans la littérature est celui de Shannon, basé sur la théorie de l'information, qui présente l'intérêt de combiner richesse taxinomique et équitabilité (Odum, 1969). La richesse représente le

nombre d'espèces existant dans un peuplement, et l'équitabilité se définit par le degré de régularité des espèces dans un peuplement.

L'indice de diversité spécifique de Shannon  $H'$  est le suivant :

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i \text{ avec : } p_i = n_i/N$$

où  $n_i$  est le nombre d'individus pour l'espèce  $i$  et  $N$  est l'effectif total (les individus de toutes les espèces).

Généralement et quel que soit le groupe taxinomique, l'indice de Shannon est compris entre moins de 1 et 4,5 mais rarement plus. Une valeur voisine de  $H' = 0,5$  est déjà très faible. Cet indice convient bien à l'étude comparative des communautés car il est relativement indépendant de la taille des relevés.

L'indice de Shannon  $H'$  et sa valeur maximale  $H_{\max}$  permettent de déterminer l'équitabilité "E" :

$$E = H'/H_{\max} = H'/\log_2(S)$$

avec  $S$  = nombre d'espèces.

L'équitabilité varie entre 0 et 1, elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs correspond à une seule espèce du peuplement, et tend vers 1 lorsque chacune des espèces est représentée par le même nombre d'individus (Ramade, 1994).

## RÉSULTATS

### INDICES DE BIODIVERSITÉ

#### Analyse secteur algérois / secteur oranais

Les mesures de diversité ont d'abord été réalisées sur les deux secteurs comparativement (Tab. III). Le Chi-2 calculé est inférieur au Chi-2 théorique et la p-value (0,84) calculée supérieure au seuil de significativité  $\alpha = 0,05$ . Il n'y a donc pas de différence significative entre les secteurs algérois et oranais au regard des paramètres utilisés pour le calcul de la diversité floristique, que celle-ci soit mesurée à partir de l'indice de Shannon, de la richesse spécifique ou de l'équitabilité. Malgré une richesse spécifique importante dans le secteur algérois (271 espèces, contre 197 dans le secteur oranais), l'indice de Shannon montre une diversité élevée dans les deux secteurs (4,22 pour le secteur algérois et 4,45 pour le secteur oranais). Cependant, l'équitabilité se situe entre 0,52 et 0,58 pour toutes les pinèdes : ces valeurs s'expliquent par la présence dans chaque milieu de quelques espèces dominantes, et on parle alors de diversité moyenne pour les deux secteurs (Fig. 2).

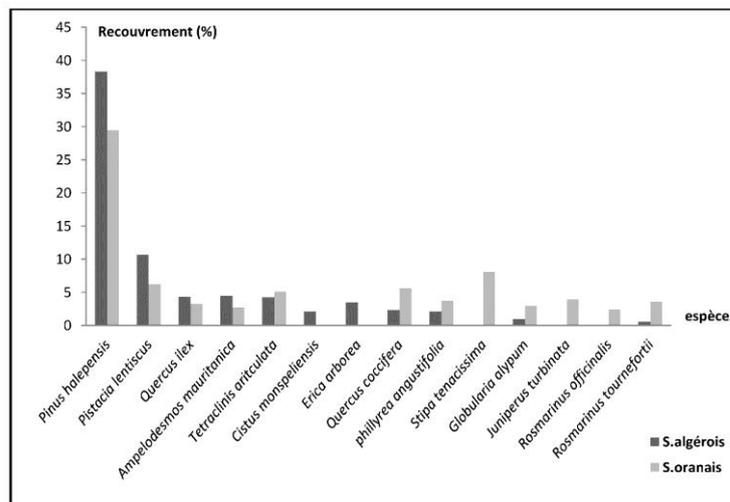


Figure 2.— Recouvrement des espèces des pinèdes des secteurs algérois et oranais.

TABLEAU III

*Évolution de trois mesures de la diversité des pinèdes*

	Secteur algérois	Secteur oranais
H (indice de Shannon)	4,22	4,45
Richesse spécifique	271	197
Équitabilité	0,52	0,58
Khi <sup>2</sup> calculé 0,050 ; Khi <sup>2</sup> théorique 3,84 ; p-value 0,82 ; alpha 0,05		

*Analyse des cinq sous-secteurs*

Nous avons appliqué le calcul de la diversité spécifique pour les cinq sous-secteurs étudiés appartenant aux secteurs algérois et oranais (Tab. IV).

TABLEAU IV

*Évolution de trois mesures de la diversité des pinèdes au niveau des cinq sous-secteurs*

Secteurs	Secteur algérois		Secteur oranais		
	Littoral	Atlas tellien (blidéen)	Sahels littoraux (O1)	Basses et hautes plaines	Atlas tellien
Richesse spécifique	200	188	94	90	146
H (indice de Shannon)	3,90	4,14	4,10	4,53	4,22
Équitabilité	0,50	0,54	0,62	0,69	0,58
Khi <sup>2</sup> calculé 0,61 ; Khi <sup>2</sup> théorique 9,48 ; p-value 0,96 ; alpha 0,05					

Le Chi-2 calculé est inférieur au Chi-2 théorique et la p-value (0,90) calculée supérieure au seuil de significativité  $\alpha = 0,05$  : il n'y a donc pas de différence entre les cinq sous-secteurs. Une diversité légèrement plus élevée dans le secteur oranais s'accompagne de l'équitabilité la plus forte dans les basses et hautes plaines oranaises, suivies par les sahels littoraux et l'Atlas tellien. Le secteur algérois présente des valeurs d'indices de diversité légèrement plus faibles, mais ces résultats restent cependant peu significatifs.

## MESURE DES DIVERSITÉS SPÉCIFIQUE ET FONCTIONNELLE

*AFC relevés x espèces de l'Algérois*

À partir des contributions relatives les plus élevées des relevés et des espèces, l'analyse des axes de l'ordination nous permet de dégager les remarques suivantes :

- L'AFC réalisée sur l'ensemble des relevés floristiques du secteur algérois (Fig. 3) met en évidence un « effet Guttman », qui est un nuage de points en forme d'arche indiquant une redondance entre les deux variables étudiées ; ceci se produit fréquemment lorsque la répartition des espèces est soumise à un gradient environnemental fort, comme dans le cas présent où des prélèvements ont été effectués depuis l'Atlas blidéen vers le littoral. Nous avons ici un double gradient : un gradient altitudinal de l'Atlas blidéen corrélé à l'humidité du milieu, et un gradient phytogéographique opposant le sous-secteur de l'Atlas blidéen au sous-secteur littoral.

- Pour compléter cela, nous avons procédé à l'interprétation du troisième axe de l'AFC, en ne retenant que les relevés et espèces qui présentent des contributions relatives élevées. La figure 4 (A et B) réunit dans sa partie négative des espèces connues comme étant propres aux milieux ouverts et se développant sur substrats calcaire et marneux. Sur le plan taxinomique, il s'agit d'espèces de matorrals alticoles où dominent les nanophanérophites, chaméphytes et hémicryptophytes appartenant à la classe des *Rosmarineta officinalis* (Rivas-Martinez *et al.*, 1991), telles que

*Helianthemum cinereum rubellum* et *Bupleurum balansae*. D'autres espèces, comme *Juniperus oxycedrus*, *Phillyrea angustifolia* et *Clematis cirrhosa*, témoignent d'un état forestier malgré une ouverture importante de ces milieux. D'autres, franchement forestières, correspondant à la partie positive de l'axe 3, comme *Quercus faginea* et *Quercus suber*, caractérisent des milieux plus humides sur sols à tendance calcifuge. L'axe 3 traduit ainsi un gradient physiognomique opposant les forêts aux matorrals alticoles de l'Atlas blidéen, et un gradient édaphique opposant les milieux calcicoles aux milieux calcifuges.

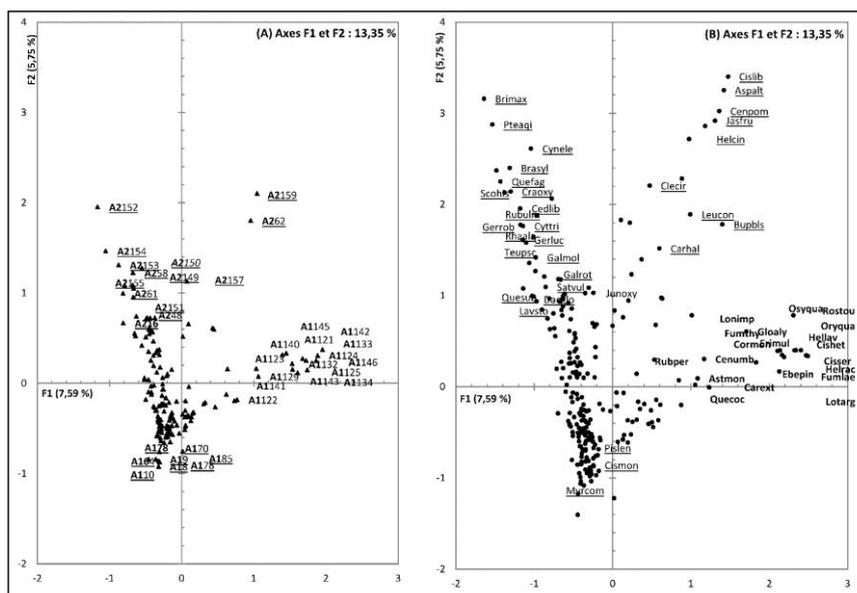


Figure 3.— Ordination des relevés (A) et des espèces (B) de l'approche floristique dans le plan factoriel défini par les axes 1 et 2 de l'AFC du secteur algérois.

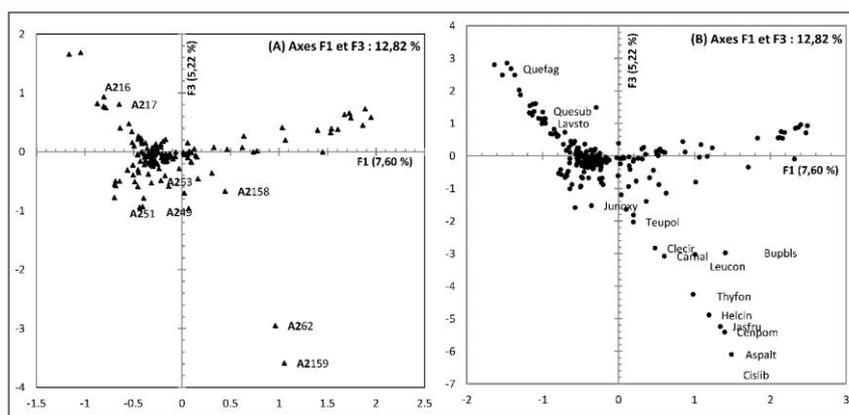


Figure 4.— Ordination des relevés (A) et des espèces (B) de l'approche floristique dans le plan factoriel défini par les axes 1 et 3 de l'AFC du secteur algérois. Les noms des espèces et relevés qui contribuent le plus à l'ordination sont indiqués.

#### AFC espèces x traits fonctionnels de l'Algérois

L'examen de la figure 5 révèle que les contributions relatives les plus élevées de l'axe 1 opposent un groupe d'espèces appartenant à des relevés effectués dans l'Atlas blidéen du côté

positif, à un groupe d'espèces de relevés du littoral algérois du côté négatif. L'axe 1 traduit donc un gradient d'altitude.

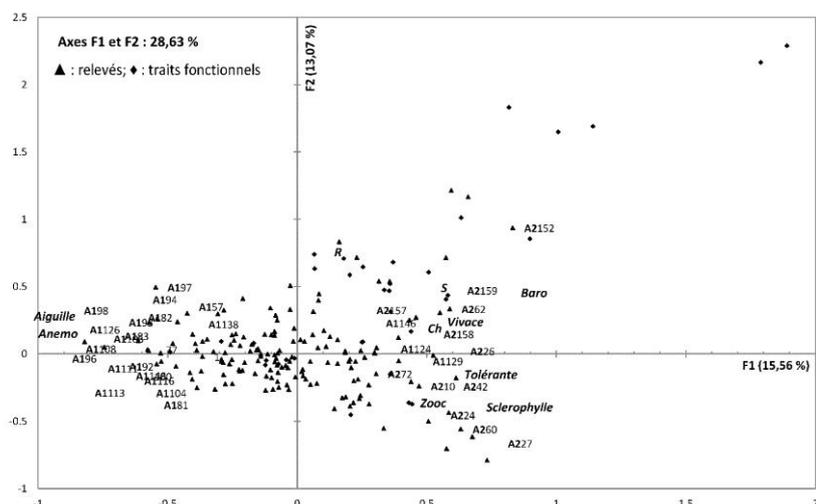


Figure 5.— Ordination des relevés (triangles noirs) et des traits (losanges noirs) de l'approche fonctionnelle dans le plan factoriel défini par les deux premiers axes de l'AFC du secteur algérois. Les traits et relevés qui contribuent le plus à l'axe 1 sont indiqués.

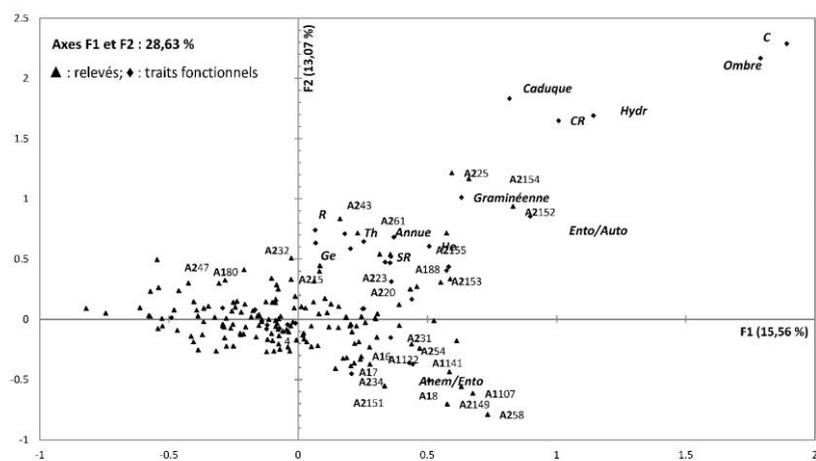


Figure 6.— Ordination des relevés (triangles noirs) et des traits (losanges noirs) de l'approche fonctionnelle dans le plan factoriel défini par les deux premiers axes de l'AFC du secteur algérois. Les traits et relevés qui contribuent le plus à l'axe 2 sont indiqués.

Les contributions relatives les plus élevées de l'axe 1 opposent également trois groupes fonctionnels :

- Le premier groupe est caractérisé par trois traits fonctionnels : Tolérant, Zoochore, Sclérophylle, qui sont présents du côté positif de l'axe 1 et dont les espèces associées sont *Quercus ilex*, *Phillyrea angustifolia*, *Rhamnus alaternus*, *Rosa canina*, *Rubus ulmifolius*, *Ruscus aculeatus* et *Smilax aspera*.

- Le deuxième groupe, également du côté positif de l'axe 1, comporte quatre traits fonctionnels : Chaméphyte, S, Vivace et Barochore ; les espèces correspondant à ce groupe sont *Ajuga reptans*, *Helichrysum stoechas*, *Fumana ericoides*, *Fumana thymifolia*, *Helianthemum hirtum*, *Linum narbonense*, *Phagnalon saxatile*, *Ruta chalepensis*, *Stachelina dubia* et *Bupleurum rigidum*.

- Du côté négatif de l'axe 1, se trouvent deux traits fonctionnels dominants: Anémogame et Aiguille, dont les espèces correspondantes forment un troisième groupe : *Pinus halepensis*, *Juniperus oxycedrus*, *Erica arborea* et *Erica multiflora*. Au plan dynamique, l'axe 1 montre ainsi le passage d'un milieu composé de formations mésophiles assez perturbées, à des formations plus thermophiles caractérisées par une ouverture du milieu où prévalent les ligneux bas.

Les contributions relatives les plus élevées de l'axe 2 (Fig. 6) regroupent, au pôle positif, des végétaux classiquement rencontrés dans l'Atlas blidéen formant un groupe dominé par des espèces présentant les traits fonctionnels suivants : Ombre, Hydrochore, C et CR, dont les représentants sont *Asplenium trichomanes*, *Cotyledon umbilicus veneris*, *Pteridium aquilinum*, *Crataegus oxyacantha*, *Cytisus triflorus* et *Brachypodium sylvaticum*. Certains relevés montrent que cette région a subi une dégradation intense attestée par la présence d'un groupe d'espèces présentant les traits suivants : Thérophyte, Annuelle, Graminée, SR et R, cette dernière catégorie étant importante dans la zone, révélant ainsi des milieux colonisés par des taxons nitrophiles et subnitrophiles. Il s'agit, dans ce groupe, d'espèces liées aux cultures : *Avena sterilis*, *Torilis arvensis*, *Aegilops triuncialis*, *Anagallis arvensis*, *Brachypodium distachyum*, *Bromus madritensis*, *Bromus hordeaceus*, *Hordeum murinum*, *Lolium rigidum*, *Galium rotundifolium*, *Senecio vulgaris* et *Lagurus ovatus*.

Les relevés situés du côté négatif de l'axe 2 font la transition entre l'Atlas blidéen et le littoral algérois. Les moyennes altitudes de l'Atlas blidéen comprennent des espèces dominées par un seul trait lié au vecteur de pollinisation Anémogame/Entomogame (*Quercus ilex* et *Rhamnus alaternus*). Un autre groupe d'espèces Anémogame/Entomogame, constitué de *Chamaerops humilis*, *Ceratonia siliqua*, *Pistacia lentiscus* et *Pistacia terebinthus*, occupe les milieux secs et arides du sublittoral algérois.

Les principaux facteurs d'organisation de la végétation au sein du secteur algérois sont donc la compétition interspécifique (dynamique forestière) et la rudéralité (perturbations anthropiques).

#### AFC relevés x espèces de l'Oranais

Le premier axe de la figure 7 (C et D) présente dans sa partie positive un lot d'espèces dominé par *Juniperus turbinata* dans les sahels littoraux, alors que les autres espèces sont présentes mais assez rares, telles que *Asteriscus maritimus*, *Genista sparthioides* et *Retama monosperma*, qui se développent le plus souvent sur des substrats bien drainés, chauds et à texture sableuse.

Du côté négatif de l'axe, deux espèces sont représentées : *Helianthemum racemosum* et *Helianthemum lavandulifolium*, qui poussent généralement sur les substrats calcaire et marneux des plaines du Chelif. L'axe 1 matérialise donc un gradient de textures des sols, allant des sols les plus légers, sableux, vers des sols légèrement plus lourds et légèrement plus humides.

Parmi les espèces à plus fortes contribution, le deuxième axe oppose (Fig. 7) :

- Du côté négatif, des taxons thermoxérophiles caractérisent les matorrals les plus chauds et les plus secs (Telegh, Sidi Bel Abbes) : *Stipa tenacissima*, *Genista quadriflora*, *Fumana thymifolia*, *Fumana laevigata*, *Helianthemum cinereum*, *Sideritis montana* et *Satureja fontanesii*.

- Du côté positif, des espèces préforestières et forestières venant dans des ambiances plus humides et plus fraîches que précédemment : *Smilax aspera*, *Olea europaea*, *Calicotome spinosa*, *Arbutus unedo*, *Rhamnus alaternus*, *Rubia peregrina*, *Quercus coccifera* et *Juniperus oxycedrus* dans les basses et moyennes altitudes (Sidi Bel Abbes et Chlef). Cet axe matérialise donc un gradient d'humidité (atmosphérique et édaphique) croissant, depuis le pôle négatif vers le pôle positif.

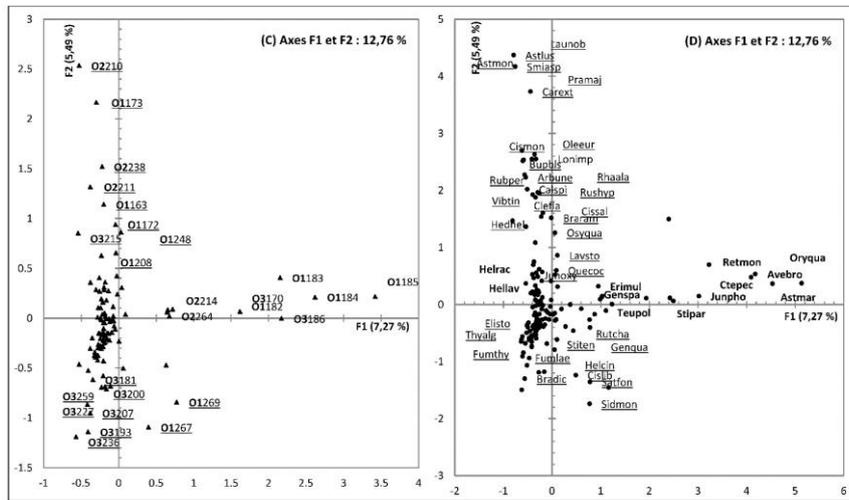


Figure 7.— Ordination des relevés (C) et des espèces (D) de l'approche floristique dans le plan factoriel défini par les deux premiers axes de l'AFC du secteur oranais. Les noms des espèces et relevés qui contribuent le plus à l'ordination sont indiqués. Les noms des relevés et espèces relatifs à l'axe 2 sont soulignés.

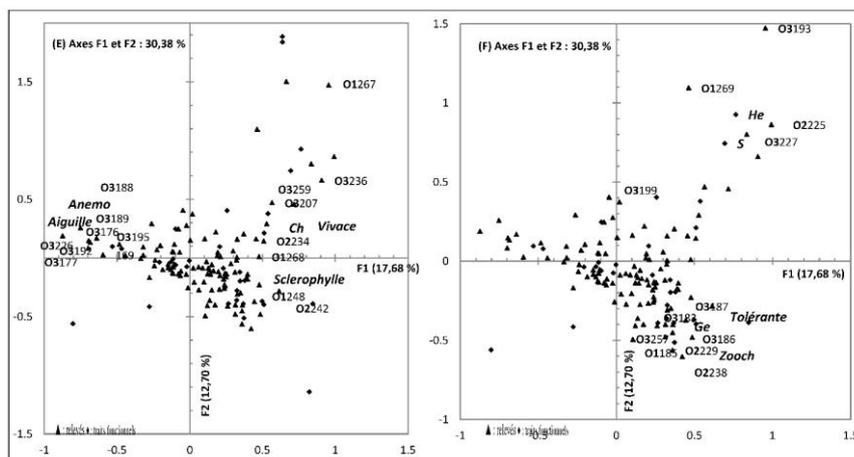


Figure 8.— Ordination des relevés (triangles noirs) et des traits (losanges noirs) de l'approche fonctionnelle dans le plan factoriel défini par les deux premiers axes de l'AFC du secteur oranais. Les traits et relevés qui contribuent le plus sont indiqués.

#### AFC espèces x traits fonctionnels de l'oranais

L'examen de la figure 8 (E) révèle que, du côté négatif, les contributions relatives les plus élevées de l'axe 1 correspondent à un groupe de traits majoritaires (Aiguilles et Anémogames) appartenant à deux espèces physionomiquement dominantes : *Pinus halepensis* et *Juniperus oxycedrus*. Il s'agit de forêts peu fermées à Pin d'Alep, situées dans le sous-secteur O3 (Telegh et Saida) à des altitudes variant entre 800 et 1280 m. À l'opposé, le côté positif de l'axe 1 englobe tous les relevés hétérogènes des matorrals des sahels et plaines littorales où dominent les Chaméphytes de basses altitudes. Trois traits fonctionnels sont présents sur cet axe : Chaméphyte, Sclérophylle et Vivace. Les espèces correspondant à ces traits sont *Cistus monspeliensis*, *Cistus salvifolius*, *Helichrysum stoechas*, *Fumana thymifolia*, *Globularia alypum*, *Lavandula dentata*, *Lavandula stoechas*, *Stachelina dubia*, *Teucrium chamaedrys* et *Teucrium flavum*. Par conséquent, cet axe

exprime un gradient physionomique allant des forêts à ambiance fraîche vers des matorrals à ambiance plus xérique.

L'axe 2 permet la distinction du côté positif (Fig. 8F) d'espèces comprenant le type biologique He et la stratégie adaptative S, comme *Leontodon hispidulus*, *Leuzea conifera*, *Astragalus incanus* et *Sanguisorba minor*. Ce groupe fonctionnel correspond à des matorrals thermo-xérophiles dominés par le Pin d'Alep (*Pinus halepensis*), le Chêne kermès (*Quercus coccifera*) et le Thuya (*Tetraclinis articulata*) des monts de Saida. Ces formations clairsemées sont soumises à l'action anarchique du pâturage et forment un deuxième groupe fonctionnel avec les traits Thérophyte et Annuelle, comprenant : *Bombycilaena discolor*, *Brachypodium dichotomum*, *Briza maxima*, *Scleropoa rigida*, *Crucianella angustifolia*, *Euphorbia falcata*, *Hutchinsia petraea*, *Linaria simplex*, *Micropus bombicinus*, *Plantago psyllium*, *Schismus barbatus*, *Sideritis montana*, *Tuberaria guttata* et *Xeranthemum inapertum*. D'autres espèces caractérisées également par ces deux traits (Thérophytes et Annuelles) sont plus liées aux cultures : ce groupe d'espèces est anthropozoogène, ce qui explique son extension au fur et à mesure que les milieux se dégradent ; il intègre *Avena sterilis*, *Bromus rubens*, *Buffonia tenuifolia*, *Carlina lanata*, *Fumana capreolata*, *Hippocrepis unisiliquosa* et *Valerianella coronata*.

Le pôle négatif de l'axe 2 est caractérisé par un groupe fonctionnel formé à partir des traits Zoochore et Tolérance à l'ombre : *Asparagus acutifolius*, *Quercus ilex*, *Rhamnus alaternus*, *Rubia peregrina*, *Rubus ulmifolius*, *Ruscus hypophyllum*, *Smilax aspera*, *Viburnum tinus*, *Rosa canina* et *Crataegus oxyacantha* ; il s'agit d'espèces mésophiles, d'ambiance bioclimatique nettement plus humide et plus fraîche des monts de Saida.

L'organisation verticale de la végétation conditionne donc le premier axe, alors qu'un gradient d'ouverture des milieux semble émerger le long de l'axe 2. Le secteur oranais témoigne ici de l'impact de l'action anthropique sur l'évolution de la forêt méditerranéenne.

## DISCUSSION

L'objectif de ce travail consistait à faire ressortir l'apport de la diversité fonctionnelle dans la typologie de la végétation de deux régions classiquement étudiée sous l'angle de la diversité taxinomique. De nombreuses questions se posent en effet depuis plusieurs années quant au lien entre diversité spécifique et diversité fonctionnelle (Petchey & Gaston, 2002 ; Hooper *et al.*, 2005). Dans un article de synthèse, Hooper *et al.* (2005) notent que la résolution des relations entre diversité taxinomique, diversité fonctionnelle et structuration des communautés est l'un des cinq champs de recherche pour lesquels de fortes incertitudes persistent requérant donc de nouvelles études. Certains facteurs peuvent influencer de façon opposée la diversité spécifique et la diversité fonctionnelle. En particulier, la compétition entre espèces contribue à limiter la diversité spécifique par exclusion compétitive (Palmer, 1994) mais favorise simultanément la diversité fonctionnelle en limitant la similarité des espèces sur le plan fonctionnel (Mac Arthur & Levins, 1967).

Nous avons choisi d'utiliser les traits fonctionnels à titre comparatif de l'approche taxinomique pour caractériser des groupes fonctionnels qui répondraient à divers changements environnementaux. En effet, au-delà des aspects strictement taxinomiques décrits ci-dessus, nous nous sommes attachés, lorsque l'information était disponible, à caractériser les types fonctionnels d'espèces trouvées dans les différents milieux. Notre étude a montré qu'il n'y a pas de lien significatif entre la richesse spécifique, l'indice de Shannon, l'équitabilité et le type de secteur. Au-delà de ces indices de diversité spécifique, les deux secteurs étudiés s'ordonnent le long d'un gradient phytogéographique, sur la base de leurs compositions floristique et fonctionnelle. La flore analysée au travers des traits fonctionnels d'une part et de la taxinomie d'autre part montre que les traitements utilisés dans notre analyse constituent des résultats peu différents d'un point de vue floristique, mais qui se différencient en revanche sur la base de la diversité de leurs traits de vie.

L'existence de cet axe suggère que certaines combinaisons de traits fonctionnels peuvent induire des modes de réponse similaires.

Dans le secteur algérois, l'approche fonctionnelle montre que l'Atlas blidéen met en évidence un gradient de caractère forestier, inféodé aux traits Zoochore et Sclérophylle ; d'autre part, les traits Chaméphyte, Vivace, Barochore et stratégie S présentent des contributions assez élevées qui s'expliquent par le caractère relativement ouvert de ces milieux forestiers ; ils s'opposent au sous-secteur du littoral algérois, lié quant à lui aux matorrals et aux forêts claires où les traits Anémochore et Aiguilles sont majoritaires.

Un autre point majeur mis en évidence par notre étude quant à l'influence des caractéristiques spatiales du secteur algérois sur la distribution des traits fonctionnels, concerne les stratégies de dissémination. Nous avons en effet montré que les taxons anémochores contribuent surtout aux forêts peu fermées du littoral algérois, alors que les taxons zoochores dominent dans les altitudes élevées de l'Atlas blidéen.

Au niveau de l'ensemble des traits fonctionnels, l'effet de la perturbation se traduit d'une façon générale par une augmentation des thérophytes, des taxons rudéraux et des anémochores. Selon (Gondard *et al.*, 2004), il existe en général une augmentation des espèces disséminées par le vent les premières années après un abandon cultural ou un feu, représenté dans notre cas par le littoral algérois. Les espèces anémochores se rencontrent plus spécialement dans les milieux ouverts dominés par des conifères (principalement du Pin d'Alep) alors que les espèces disséminées par les animaux dominent dans les stades les plus âgés de la succession secondaire, comme c'est le cas des forêts de l'Atlas blidéen. L'augmentation des thérophytes s'explique donc par l'ouverture du milieu, profitable aux taxons passant la saison estivale (coïncidant avec le passage du feu) sous forme de graines enfouies dans le sol.

Les relevés de l'Atlas blidéen dominés par des espèces compétitrices CR (marqueurs d'une ambiance forestière) se développant dans les milieux peu perturbés indiquent la progression vers un milieu forestier plus mature et plus stable (Vela, 2002), alors que la diminution des espèces stress-tolérantes (SR) en fonction de l'altitude indique l'amoindrissement des facteurs écologiques défavorables (sécheresse, ensoleillement). Les espèces de type R sont plus abondantes dans les groupes de relevés situés à basse altitude sur le littoral algérois.

Il ressort que le principal gradient d'organisation fonctionnelle est la dynamique forestière, à travers la réponse des espèces à la compétition interspécifique; viennent ensuite les perturbations anthropiques via la réponse des espèces rudérales. L'augmentation des rudérales après perturbation constitue le premier grand phénomène observé, ce qui va dans le sens de nombreux autres résultats (Clément & Touffet, 1990 ; Gosselin, 2004) ; elle peut être liée à des taux élevés d'azote sous forme de nitrates dans le sol (Frontier & Pichod-Viale, 1993). Sur l'ensemble du secteur algérois, les sites les moins pâturés sont les moins pourvus en espèces rudérales comme signalé par Vela (2002) et confirmé dans notre cas sur l'Atlas blidéen.

Dans le secteur oranais, l'approche floristique a fait ressortir un gradient d'humidité atmosphérique et édaphique et montre d'une part des espèces se développant sur substrats drainés et chauds à texture sableuse des sahels littoraux et, d'autre part, des espèces venant dans des ambiances humides et subhumides de basses et moyennes altitudes. En complément de l'approche taxinomique, l'approche fonctionnelle met l'accent sur deux traits dominants (Aiguilles et Anémogame) correspondant à des formations à *Pinus halepensis* et *Juniperus oxycedrus* se développant à des altitudes élevées (800 à 1280 m) mais ayant subi une dégradation comme la majorité des forêts méditerranéennes. Une grande richesse en hémicryptophytes est observée dans les forêts de Pin d'Alep des monts de Saida à climat plus humide. Les taxons zoochores correspondent aux milieux fermés, qui ont cependant subi une anthropisation intense (défrichage, pâturages, etc.) se traduisant par l'envahissement par des thérophytes. Cela montre également que les espèces rudérales (R) varient essentiellement à cause des aléas climatiques qui affectent ces thérophytes (de modalités R et RS) (Véla, 2002). Du fait de l'intensité de l'action anthropique,

Quézel *et al.*, (1986) ont observé le passage d'une végétation de type forestier à un matorral ; dans notre étude, le cortège floristique suppose également qu'il y a une régression des phanérophytes et des lianes au profit de la composante herbacée. Il s'agit de matorrals moyens dominés par les espèces suivantes : *Pinus halepensis*, *Quercus coccifera* et *Tetraclinis articulata* des sahels et plaines littorales. Ces matorrals comptent également des espèces pionnières et éphémères à caractère xérophytique et de distribution méditerranéenne, telles que *Asterolinon linum stellatum*, *Evax pygmaea*, *Galium parisiense*, *Linum strictum* et *Tuberaria guttata* (Rivas-Martinez, 1977). Cependant, la position méridionale et l'ouverture de ces matorrals favorisent le développement d'espèces de lumière telles que *Rosmarinus eriocalyx*, *Globularia alypum* et *Stipa tenacissima*, qui viennent se substituer au Diss (*Ampelodesmos mauritanica*). En parallèle, la dominance de formations à *Juniperus turbinata* dans les sahels littorales dénote la présence d'un milieu plus perturbé car beaucoup plus exposé aux vents, ce qui est confirmé par la présence d'espèces telles que *Helianthemum racemosum* et *Helianthemum lavandulifolium* ; ces deux espèces se développent généralement sur les substrats calcaire et marneux des sahels et plaines littorales.

La contribution des espèces thérophytes est élevée après perturbation ; c'est le second grand phénomène observé. L'augmentation des thérophytes s'explique par l'ouverture du milieu, profitable aux taxons passant la saison estivale sous forme de graines enfouies dans le sol (Trabaud *et al.*, 1997). Ces espèces pionnières des zones dégradées constituent l'un des premiers stades arbustifs dans les milieux post-incendies. Elles jouent, à ce titre, un rôle clé dans la dynamique et le fonctionnement du tapis végétal. Ces effets de la perturbation sont visibles aussi bien dans le secteur algérois que dans le secteur oranais.

Cette étude a permis d'éclairer les relations entre diversités spécifique et fonctionnelle et a exposé les avantages et les inconvénients des deux approches dans les sites de l'algérois et de l'oranais (Tab. V). L'approche fonctionnelle montre le véritable intérêt à utiliser les traits fonctionnels des plantes dans l'optique d'une méthode prédictive et quantitative de l'impact des modes de gestion sur la biodiversité (Shipley *et al.*, 2006). Cela passe aussi par une meilleure compréhension du lien entre diversités spécifique et fonctionnelle, ces deux composantes de la diversité pouvant parfois varier indépendamment (Petchey & Gaston, 2002 ; De Bello *et al.*, 2009), ce qui n'est toutefois pas le cas dans nos analyses : la symétrie entre les patrons de diversités spécifique et fonctionnelle dans les secteurs étudiés laisse à penser que les mécanismes à l'origine de la coexistence des espèces reposent sur des différences fonctionnelles entre espèces.

## CONCLUSION

La typologie des formations à Pin d'Alep proposée dans ce travail a satisfait les objectifs fixés au départ. L'utilisation des groupes fonctionnels dans une analyse telle que l'AFC a permis d'améliorer qualitativement la précédente typologie taxinomique, en précisant la définition des différents types fonctionnels et la répartition des espèces au sein des deux secteurs phytogéographiques étudiés. Cette démarche a permis en particulier de définir 23 traits fonctionnels correspondant à 18 groupes fonctionnels montrant la mise en place des forêts de Pin d'Alep selon un gradient altitudinal puis un gradient de perturbations allant des milieux les mieux conservés vers les milieux les plus dégradés.

Les gradients privilégiés par l'approche fonctionnelle sont un gradient phanérophytes / thérophytes, un gradient stress-tolérance / compétition et un gradient zoochores / anémochores, les traits constituant un moyen de s'affranchir en partie du particularisme des régions littorales et de l'Atlas blidéen. En complément, sur la base de leur composition floristique, les sous-secteurs étudiés s'ordonnent le long de trois gradients également, matérialisés par un gradient d'altitude corrélée à l'humidité, un gradient édaphique et un gradient physiognomique.

TABLEAU V

Bilan des avantages et inconvénients des approches taxinomique et fonctionnelle

	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
APPROCHE TAXINOMIQUE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etablissement des groupements végétaux et des associations végétales.</li> <li>- Donne une signification par rapport à un facteur écologique.</li> <li>- Capacité des espèces à répondre à un changement environnemental.</li> <li>- Permet de déterminer l'autoécologie des espèces.</li> <li>- Mesures de la biodiversité dans la végétation qui sont de bons indicateurs de l'histoire et de la « qualité environnementale » d'un écosystème.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compréhension assez générale de la performance d'une espèce en lien avec son environnement.</li> <li>- Absence de prise en compte de plusieurs compartiments fonctionnels des écosystèmes (Alard <i>et al.</i>, 1998).</li> <li>- Certaines comparaisons de la diversité spécifique entre deux communautés peuvent donner des résultats peu significatifs.</li> <li>- Faible valeur prédictive sur le statut dynamique (Alard <i>et al.</i>, 1998) pour les mesures classiques de la biodiversité.</li> </ul>
APPROCHE FONCTIONNELLE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet de déceler les mécanismes mis en place par différentes espèces pour faire face aux changements environnementaux.</li> <li>- Regroupe les espèces par similitude d'utilisation des mêmes ressources (Chapin <i>et al.</i>, 1990) et partage des mêmes traits biologiques (Lavorel &amp; Garnier 2002).</li> <li>- Une espèce peut être définie par des traits fonctionnels, permettant ainsi de mieux appréhender la structure des communautés.</li> <li>- La classification en groupes fonctionnels offre un cadre intéressant pour l'étude des réponses des espèces, des communautés et des écosystèmes aux changements environnementaux, (Lavorel <i>et al.</i>, 1997).</li> <li>- L'étude des traits permet de décrire la réponse des espèces selon des gradients environnementaux.</li> <li>- Recherche des liens entre facteurs et historique du milieu et caractéristiques (traits biologiques) des espèces.</li> <li>- Les traits fonctionnels des plantes peuvent être considérés comme des descripteurs de la niche écologique des espèces (McGill <i>et al.</i>, 2006).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Problèmes du niveau de compétence requis en botanique pour déterminer les traits fonctionnels d'une espèce.</li> <li>- Faible variation des valeurs des traits fonctionnels entre communautés par rapport à la composition floristique (De Bello <i>et al.</i>, 2009)</li> <li>- Une moindre importance de l'hétérogénéité des conditions environnementales.</li> <li>- Une plus grande importance des forces intervenant localement (ex. la compétition interspécifique) pour la diversité fonctionnelle que pour la diversité spécifique.</li> </ul>

La diversité fonctionnelle varie quant à elle de manière directionnelle le long d'un gradient de dégradation. Les traits identifiés sont quasiment identiques entre les deux secteurs et correspondent au type de dissémination, à la stratégie adaptative et au type biologique, lesquels jouent un rôle important dans le fonctionnement des plantes.

La répartition des traits fonctionnels des plantes montre que la maturation du peuplement forestier augmente en fonction de l'altitude en relation avec la variante « fraîche », en même temps que les espèces sciaphiles, les espèces zoochores et les espèces des milieux humides. En revanche, les espèces héliophiles, stress-tolérantes et anémochores dominent à basse altitude en relation avec la variante « tempérée et chaude » caractéristique des régions littorales. Le secteur algérois montre ainsi une diversité fonctionnelle très significative, avec des traits plus diversifiés que ceux du secteur oranais.

La distribution de la végétation actuelle s'explique en partie par les conditions écologiques prévalant à son installation, et comme montré par Lavorel & Garnier (2002), les traits offrent justement la possibilité de lier le fonctionnement des écosystèmes (ex. les cycles biogéochimiques) à la dynamique des communautés de plantes (ex. abondance relative des espèces et de leurs traits). Venant en complément de l'approche taxinomique classiquement employée, l'approche fonctionnelle s'est révélée pertinente dans le cas des pinèdes de l'Algérois et de l'Oranais, en améliorant la compréhension du fonctionnement de ces milieux vulnérables.

## RÉFÉRENCES

- AMIROUCHE, R. & MISSET, M.T. (2009).— *Flore spontanée d'Algérie : différenciation cogéographique des espèces et polyploidie*. Cahiers Agriculture, Libbey Eurotext, Montrouge, FRANCE, Montrouge, France, 8
- ALARD, D., POUDEVIGNE, I., DUTOIT, T. & DECAËNS, T. (1998).— Dynamique de la biodiversité dans un espace en mutation. Le cas des pelouses calcicoles de la Vallée de la Seine *Acta Oecologica*, 19 : 275-284.
- BARRY, J.P., CELLES, J.C & FAUREL, L. (1974).— *Notice de la carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques. Feuille d'Alger au 1000000<sup>e</sup>*. C.R.B.T.
- BONNET, V. (2001).— *Analyse spatiale et fonctionnelle de la réponse des communautés végétales après incendie en basse Provence calcaire*. Thèse de doctorat, Université Aix- Marseille 3, Marseille.
- BURYLO, M. (2010).— *Relations entre les traits fonctionnels des espèces végétales et leurs fonctions de protection contre l'érosion dans les milieux marneux restaurés de montagne*. Thèse de doctorat, Université de Grenoble.
- CHAPIN, F.S., SCHULZE, E. & MOONEY, H.A. 1990.— The ecology and economics of storage in plants. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 21:423-447.
- CLÉMENT, B. & TOUFFET, J. (1990).— Plant strategies and secondary succession on Brittany heathlands after severe fire. *J. Veget. Sci.*, 1: 195-20.
- DAGET, P. (1976).— *Modèles mathématiques en écologie*. Masson, Paris.
- DE BELLO, F., THUILER, W., LEPS, J., CHOLER, P., CLÉMENT, J.C., MACEK, P., SEBASTIA, M.T & LAVOREL, S. (2009).— Partitioning of functional diversity reveals the scale and extent of trait convergence and divergence. *J. Veget. Sci.*, 20: 475-486.
- DE FOUCAULT, B. (1980).— Les prairies permanentes du bocage virois (Basse Normandie, France) : typologie, phytosociologie et essai de reconstitution des séries évolutives herbagères. *Doc. Phytosoc.*, n°5, 1-109.
- DIAZ, S. & CABIDO, M. (2001).— Vive la différence : plant functional diversity matters to ecosystem processes. *TREE*, 16 (11): 646-655.
- DI CASTRI, F., GOODALL, D.W., & SPECHT, R.L. (1981).— *Mediterranean-type shrublands*. Ecosystems of the world n°11. Elsevier, Amsterdam.
- FRONTIER, S. & PICHOD-VIALE, D. (1993).— *Écosystèmes. Structure, fonctionnement, évolution*. Paris, Masson.
- GACHET, S. (2002).— *Organisation de la biodiversité forestière : vers une modélisation de la dynamique du sous-bois en fonction des pratiques sylvicoles*. Thèse de doctorat, Université Aix Marseille 3, Marseille.
- GACHET, S., VÉLA, E. & TATONI, T. (2005).— BASECO: A floristic and ecological database of Mediterranean French flora. *Biodiv. Conserv.*, 14:1023-1034.
- GARNIER, E. & NAVAS M.L. (2013).— *Biodiversité fonctionnelle des plantes*. De Boeck Ed.
- GITAY, H. & NOBLE, I.R. (1997).— What are functional types and how should we seek them? Pp 3-19 In: T.M. Smith, H.H. Shugart & F.I. Woodward (eds). *Plant functional types. Their relevance to ecosystem properties and global change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- GONDARD, H. (2001).— *Un facteur de la diversité végétale sous climat méditerranéen : l'exploitation forestière. Cas des peuplements de Pin d'Alep (Pinus halepensis) du Sud de la France*. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences et Techniques de Saint Jérôme. Université Aix Marseille III.
- GONDARD, H., ROMANE, R., SHAER Z., GRANDJANNY, M. & RENAUX, R. (2004).— Conséquences d'une coupe rase ou d'une éclaircie sur la richesse spécifique et le mode de dissémination des espèces végétales dans des forêts de Pin d'Alep du Var (Sud de la France). *Forêt méditerranéenne*, XXV, no 1, mars 2004.
- GOSSELIN, M. (2004).— *Impacts des modalités d'exploitation : perturbations du sol, devenir des rémanents. Biodiversité et gestion forestière: connaître pour préserver. Synthèse bibliographique*. Cemagref Editions, Paris.
- GRIME, J.P. (1974).— Vegetation classification by reference to strategies. *Nature*, 250: 26-31.
- HOOPER, D.U., CHAPIN, F.S., EWEL, J.J., HECTOR, A., INCHAUSTI, P., LAVOREL, S., LAWTON, J.H., LODGE, D.M., LOREAU, M., NAEEM, S., SCHMID, B., SETALA, H., SYMSTAD, A.J., VANDERMEER, J., & WARDLE, D.A. (2005).— Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecol. Monogr.*, 75: 3-35.
- KADIK, B. (1983).— *Contribution à l'étude du Pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) en Algérie. Écologie, dendrométrie, morphologie*. O.P.U. Alger.
- KADIK, L. (2005).— *Étude phytosociologique et phytoécologique des formations à Pin d'Alep Pinus halepensis Mill. de l'étage bioclimatique semi-aride algérien*. Thèse de Doctorat d'État, Université H. Boumédiène, Alger.
- LAVOREL, S. & GARNIER, E. (2002).— Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Funct. Ecol.*, 16: 545-556.
- LAVOREL, S., MC INTYRE, S., LANDSBERG, J. & FORBES, T.D.A. (1997).— Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance. *TREE*, 12: 474-478.
- MEDAIL, F. (1996).— *Structuration de la biodiversité de peuplements végétaux méditerranéens en situation d'isolement*. Thèse de Doctorat. Université Aix- Marseille 3, Marseille.
- MAC ARTHUR, R. (1955).— Fluctuations of animal populations and a measure of community stability. *Ecology*, 36: 533-536.

- MAC ARTHUR, R.H. & LEVINS, R. (1967).— The limiting similarity, convergence and divergence of coexisting species. *Am. Nat.*, 101: 377-385.
- MC GILL, B.J., ENQUIST, B.J., WEIHER, E. & WESTOBY, M. (2006).— Rebuilding community ecology from functional traits. *TREE*, 21: 178-185.
- ODUM, E.P. (1969).— The strategy of ecosystem development. *Science, New Series*, 164: 262-270.
- PALMER, M. (1994).— Variation in species richness towards an unification of hypotheses. *Folia Geobot. & Phytotax.*, 29: 511-530.
- PETCHAY, O.L. & GASTON, K.J. (2002).— Functional diversity (FD), species richness and community composition. *Ecol. Lett.*, 5: 402-411.
- QUEZEL, P. & BARBERO, M. (1986).— Aperçu syntaxonomique sur la connaissance actuelle de la classe de *Quercetea ilicis* au Maroc. *Ecologia Mediterranea*, XI: 105-111.
- QUÉZEL, P. & MÉDAIL, F. (2003).— *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier, Paris.
- QUÉZEL, P. & SANTA, S. (1962).— *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Vol.1, CNRS éd., Paris.
- RAMADE, F. (1994).— *Éléments d'écologie – écologie fondamentale*. Ed. Ediscience.
- RAMEAU, J.C., MANSION, D. & DUME, G. (1993).— *Flore forestière française, Tome 2 Montagnes*. Institut pour le développement forestier, Orléans.
- RIVAS-MARTINEZ, S. (1977).— Sur la syntaxonomie des pelouses thérophytiques de l'Europe occidentale.- *Colloques phytosociologiques*, VI: *les pelouses sèches*. Lille, p. 55-71.
- RIVAS-MARTINEZ, S., DIAZ, T., PRIETO, J.A., LOIDI, J. & PENAS, A. (1991).— *Festuco hystricis-Ononidetea striatae y Rosmarinetea officinalis*, Classes de végétation indépendantes. *Itinera Geobot.*, 5: 505-516.
- SHIPLEY, B., VILE, D. & GARNIER, E. (2006).— From plant traits to plant communities: a statistical mechanistic approach to biodiversity. *Science*, 314: 812-814.
- TRABAUD, L., MARTINEZ-SANCHEZ, J.J., FERRANDIS, P., GONZALEZ-OCHOA, A.I. & HERRANZ, J.M. (1997).— Végétation épigée et banque de semences du sol : leur contribution à la stabilité cyclique des pinèdes mixtes de *Pinus halepensis* et *Pinus pinaster*. *Can. J. Bot.*, 75: 1012-1021.
- VAN DER PIJL, L. (1982).— *Principles of dispersal in higher plants*. New-York, Springer-Verlag.
- VELA, E. (2002).— *Biodiversité des milieux ouverts en région méditerranéenne. Le cas des pelouses sèches du Lubéron*. Thèse de doctorat de l'université Aix-Marseille III.
- VOLLE, C., NAVAS, M.L., VILE, D., KAZAKOU, E., FORTUNEL, C., HUMMEL, I. & GARNIER, E. (2007).— Let the concept of trait be functional. *Oikos*, 116: 882.
- WALKER, B.H. (1992).— Biodiversity and ecological redundancy. *Conserv. Biol.*, 6:18-23.
- XLSTAT, 2010. — *XLStat version 2010*. www.xlstat.com.