



Caractérisation d'un périmètre de reboisement de pinède en vue de proposition des essences les plus appropriées, cas du Jbel Zemzem (Nord-ouest, Maroc)

Mariem BEN-SAID^{a,*}, Abdelilah GHALLAB^b, Farida BERRAD^b, Abdallah AOUADI^c,
Fadoua ASRAOUI^d, Majida EL ALAMI EL MOUTAOUAKIL^d

^a Laboratoire Biologie Appliquée et Pathologie, Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université Abdelmalek Essaâdi, B.P 93002, Tétouan, Maroc.

^b -Direction Régionale des Eaux et Forêts et de la Lutte Contre la Désertification du Rif, B.P 93000, Tétouan, Maroc.

^c Département d'Écologie, Université 8 Mai 1945 Guelma, BP 4010, Guelma 24000, Algérie.

^d Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université Abdelmalek Essaâdi, B.P 93002, Tétouan, Maroc.

Résumé

La dégradation accélérée des forêts est un défi majeur pour les gestionnaires. Le reboisement constitue alors une solution importante pour l'amélioration des services écosystémiques voire la survie des écosystèmes. Comparée à d'autres essences comme l'*Eucalyptus*, les pins renferment une biodiversité plus élevée. Nous avons étudié la phytodiversité d'un périmètre de reboisement avec quatre espèces et deux variétés de pins (*Pinus halepensis*, *P. pinaster* var. *maghrebiana* et var. *iberica*, *P. pinea* et *P. canariensis*) afin de proposer l'essence la plus convenable au reboisement. Sur les 38 relevés floristiques réalisés, 83 espèces ont été recensées appartenant à 34 familles. Les valeurs de l'indice de diversité étaient maximales dans les plantations de *P. halepensis* et *P. pinea* et minimales dans celles de *P. canariensis*. L'ordination multidimensionnel non métrique et la Classification Ascendante Hiérarchique ont montré trois groupes : groupe à *P. halepensis* et *P. pinea*, groupe à *P. maghrebiana* et *Quercus suber* et groupe à *P. iberica* et *P. canariensis*. *P. halepensis* et *P. pinea* ont montré un cortège floristique relativement riche mais avec un appauvrissement structurel comparé à la subéraie originale. Il ressort que le reboisement à base de *P. maghrebiana* et dans une deuxième place *P. halepensis* améliore la structure des peuplements et présente un potentiel important pour la gestion des reboisements au nord du Maroc.

Mots-clés : Plantation ; *Quercus suber* ; *Pinus* spp ; Diversité floristique ; Ordination ; Classification ascendante hiérarchique.

Characterizing a pine forest reforestation area to propose the most appropriate species, case of Jbel Zemzem (Northern west, Morocco)

Abstract

The accelerated degradation of forests is a major challenge for managers. Reforestation is therefore an important solution for improving ecosystem services and even the survival of ecosystems. Compared to other species such as *Eucalyptus*, pines contain higher biodiversity. We studied the phytodiversity of a reforested area with four pine species and two varieties (*Pinus halepensis*, *P. pinaster* var. *Maghrebiana* and var. *iberica*, *P. pinea* and *P. canariensis*) in order to offer the most suitable reforestation species. Of the 38 floristic surveys carried out, 83 species were identified belonging to 34 families. The diversity index values were highest in *P. halepensis* and *P. pinea* plantations and lowest in *P. canariensis*. Non-metric multidimensional ordination and Ascending Hierarchical Classification showed three groups: *P. halepensis* and *P. pinea* group, *P. maghrebiana* and *Quercus suber* group, and *P. iberica* and *P. canariensis* group. *P. halepensis* and *P. pinea* showed a relatively high floristic diversity but with a structural impoverishment compared to the original cork oak forest. It appears that the reforestation based on *P. maghrebiana* and in a second place *P. halepensis* improves stand structure and presents an important potential for the management of reforestation in northern Morocco.

Keywords: Plantation; *Quercus suber*; *Pinus* spp; Floristic diversity; Ordination; Ascending hierarchical classification.



Abréviations

<i>P. halepensis</i>	P.h
<i>P. pinaster</i> var. <i>maghrebiana</i>	P.pr.mag
<i>P. pinaster</i> var. <i>iberica</i>	P.pr.ib
<i>P. pinea</i>	P.p
<i>Pinus canariensis</i>	P.ca
<i>Quercus suber</i>	Q.s
Direction Régionale des Eaux et Forêts et de la Lutte Contre la Désertification	DREFLCD
Plan National de Reboisement	PNR
Plan Directeur de Reboisement	PDR
Plan Forestier National	PFN
Indice de Perturbation	IP
Ordination Multidimensionnel Non Métrique	NMDS
Classification Ascendante Hiérarchique	CAH

1. Introduction

Dans les régions méditerranéennes, le reboisement est considéré comme un outil fondamental pour freiner la dégradation progressive des forêts et leur maintien [1,2]. Du fait de la dégradation des forêts méditerranéennes, des efforts considérables sont déployés dans la région afin de mettre en place des plans de reboisements artificiels lorsque la régénération naturelle fait défaut [3]. Dans les régions semi-arides, les reboisements à base de *Pinus halepensis* Mill. (Pin d'Alep) remplissent plusieurs services écosystémiques notamment la réduction de l'érosion du sol [4]. La dégradation accélérée des écosystèmes forestiers causée par l'exploitation excessive et anarchique, le surpâturage et les feux de forêt récurrents [5,6], a orienté les autorités forestières marocaines vers l'adoption d'une politique de gestion basée essentiellement sur les opérations de reboisement [7]. Ces opérations consistent généralement à créer soit des plantations à fonction dominante de production du bois, et/ou de protection, soit des plantations dites de récréation [8].

De ce fait, le Département des Eaux et Forêts a lancé plusieurs projets de reboisement à travers l'ensemble du territoire, et qui sont passés par plusieurs phases afin d'instaurer une vraie politique de conservation et de valorisation des forêts marocaines. Tout d'abord, un plan national reboisement (PNR) a été lancé en 1970, dans le but d'améliorer la production forestière en invitant les services forestiers à mener des reboisements à base de conifères pour des fins productives [9,10]. Le PNR visait à consolider et compléter les forêts naturelles dans leur triple fonction susmentionnée [11], et proposait la satisfaction des besoins précités à l'horizon des années 2000, par la plantation de 662 000 ha étalée sur 30 ans et

répartie entre 355 000 ha de forêts de production et 115 000 ha de reboisement mixte. Cependant, l'application du PNR n'a pas atteint les objectifs tracés pour diverses raisons ayant trait au financement, aux contraintes sociales liées à une pression croissante sur les ressources forestières et aux conditions climatiques défavorables [11]. Ce qui a poussé les autorités à lancer en 1994 une nouvelle initiative dans le cadre du plan directeur de reboisement (PDR), suivis du Plan forestier national (PFN) lancé en 1999 et qui a visé à mettre en place une gestion forestière basée sur une approche participative [12,13]. L'importance de la superficie à reboiser à long terme s'élève à 5 000 000 ha, dans laquelle 1 500 000 ha sont à reboiser à l'horizon 2025 avec un programme d'action prioritaire de 500 000 ha en 10 ans dès la mise en place du PDR [11]. Durant la période 2004-2014, un programme décennal a été lancé en adoptant des projets de reboisement au niveau des différentes régions du Maroc. Ce programme a constitué une mise en œuvre des orientations stratégiques des différents documents qui cadrent la politique forestière au Maroc, envisageant des actions de développement forestières et péri-forestières autour de projets de reboisement.

Les travaux qui traitent l'aspect de la biodiversité des reboisements à l'échelle nationale sont relativement bien développés, notamment les reboisements en chêne liège au niveau de la forêt de Maâmora, et moins abondants dans le nord du Maroc (i.e., la région de Tanger-Tétouan). Parmi les recherches qui ont été réalisées sur le reboisement au niveau national nous citons : la régénération artificielle du *Quercus suber* L. (chêne liège) de la Maâmora [14-16], l'aspect économique des reboisements [17], l'importance du *P. halepensis* pour le pigeon ramier au Moyen-Atlas central [18]. Comme partout dans le Maroc, les provinces de Tanger et de Tétouan ont connu des opérations anciennes et importantes de reboisement. La consultation de l'archive relative aux périmètres de reboisement relevant de la Direction Régionale des Eaux et Forêts et de la Lutte Contre la Désertification (DREFLCD) du Rif montre que la superficie reboisée depuis 1942 jusqu'à 2010 est de l'ordre de 24102,68 ha au niveau des provinces de Tanger et de Tétouan. De ce fait, cette région est particulièrement importante pour toute étude concernant le reboisement. Pour cette raison, vient l'importance de ce présent travail qui vise, entre autres, à apporter des

élucidations sur la diversité floristique du sous-bois des reboisements selon les essences majeures plantées. L'importance de la forêt d'El Haouz (située au niveau de la commune d'Aalliyine, Nord du Maroc) vient de ses intérêts socioéconomiques multiples liés à sa richesse en essences reboisées et son accès relativement facile.

Peu connu, Jbel Zemzem est situé dans la partie ouest de la forêt d'El Haouz et considéré comme un véritable patrimoine fournissant une multitude de services socio-économiques en l'occurrence comme la sylviculture et l'exploitation forestière (comme le bois d'œuvre, le bois d'industrie, le bois de feu, les broussailles et branchages), ainsi que la présence de nombreux produits dont bénéficie la population riveraine, à savoir les champignons, les glandes et les plantes aromatiques et médicinales. Selon l'archive relatif aux périmètres de reboisement relevant de la DREFLCD, le périmètre de Zemzem a connu des opérations anciennes de reboisement à partir de la fin des années cinquante, où la superficie reboisée y est de l'ordre de 1182,27 ha, soit 4,91 % de la superficie totale reboisée au niveau des provinces de Tanger et Tétouan. Ce périmètre abrite des formations reboisées diversifiées à base de quatre essences de pins dont deux sont spontanées au Maroc, à savoir *P. halepensis*, *P. pinaster* Ait. subsp. *hamiltonii* (Ten.) H. del Villar var. *maghribiana* H. del Villar (pin maritime du Maghreb) et *P. pinaster* var. *iberica* H. del Villar (pin maritime d'Ibérie), en formation pure ou mixte, et deux sont exotiques *P. pinea* L. (pin pignon) et *P. canariensis* Chr. Smith (pin des Canaries) au voisinage d'une subéraie *Q. suber* originale assez dégradée.

Ce présent travail vise à : (1) l'étude de la diversité et la composition floristique du périmètre de reboisement de Jbel Zemzem, (2) la détermination des facteurs biotiques et abiotiques influençant la biodiversité de ces

plantations, et (3) la proposition des essences de reboisement présentant une structure plus riche permettant une meilleure conservation de l'écosystème forestier.

2. Matériel et méthodes

2.1. Site d'étude

La présente étude a été conduite dans le périmètre de reboisement de Jbel Zemzem qui fait partie de la commune rurale Aalliyine (préfecture de M'diq-Fnideq) (Figure 1 a). La synthèse des documents administratifs portant sur les caractéristiques géographiques, topographiques et climatiques du périmètre de reboisement de Zemzem est présentée dans le Tableau 1. Le périmètre de Zemzem culmine vers une altitude de 435 m et s'insère dans un bioclimat subhumide à variante chaude (Tableau 1). Il reçoit des précipitations moyennes annuelles comprises entre 666 et 1000 mm et les températures moyennes annuelles y sont de l'ordre de 18,5 °C à 17,6 °C. Les sols de ce site varient entre des sols minéraux bruts et sols gris forestiers. Du point de vue géologique, la forêt de Zemzem est située sur des grès numidiens. Il s'agit d'une Klippe résultant de forts phénomènes tectoniques [19], qui est limité au Nord par l'oued Negro, à l'Est par la Méditerranée, à l'Ouest par la dorsale calcaire et au Sud par l'oued Smir. Vu l'importance de la forêt d'El Haouz, ce périmètre présente des intérêts multiples : (1) sa richesse en essences de reboisement où 4 espèces de pin (dont une avec deux variétés) au voisinage d'une subéraie originale y sont présentes ; (2) ses atouts touristiques vu sa situation géographique face au port de Marina, et (3) son accès relativement facile.

Tableau 1

Caractéristiques géographiques, topographiques et climatiques du périmètre de reboisement de Zemzem.

Situation foncière	Coordonnées géographiques	Altitude maximale (m)	P moy (mm)	T moy (°C)	Bioclimat
Domaniale	35°50' et 35°40' N 5°25' et 5°20' w	435	666-1000	18,5-17,6	Subhumide chaud
H moy (%)	Pente moyenne (%)	Orientation	Substrat	Type de sol	Profondeur du sol (cm)
68-88	15-30	NE-SW	Grès numidiens	Sols minéraux bruts et sols gris forestiers	30-60

P moy : précipitations moyennes annuelles; T moy : températures moyennes annuelles; H% moy : humidité moyenne.

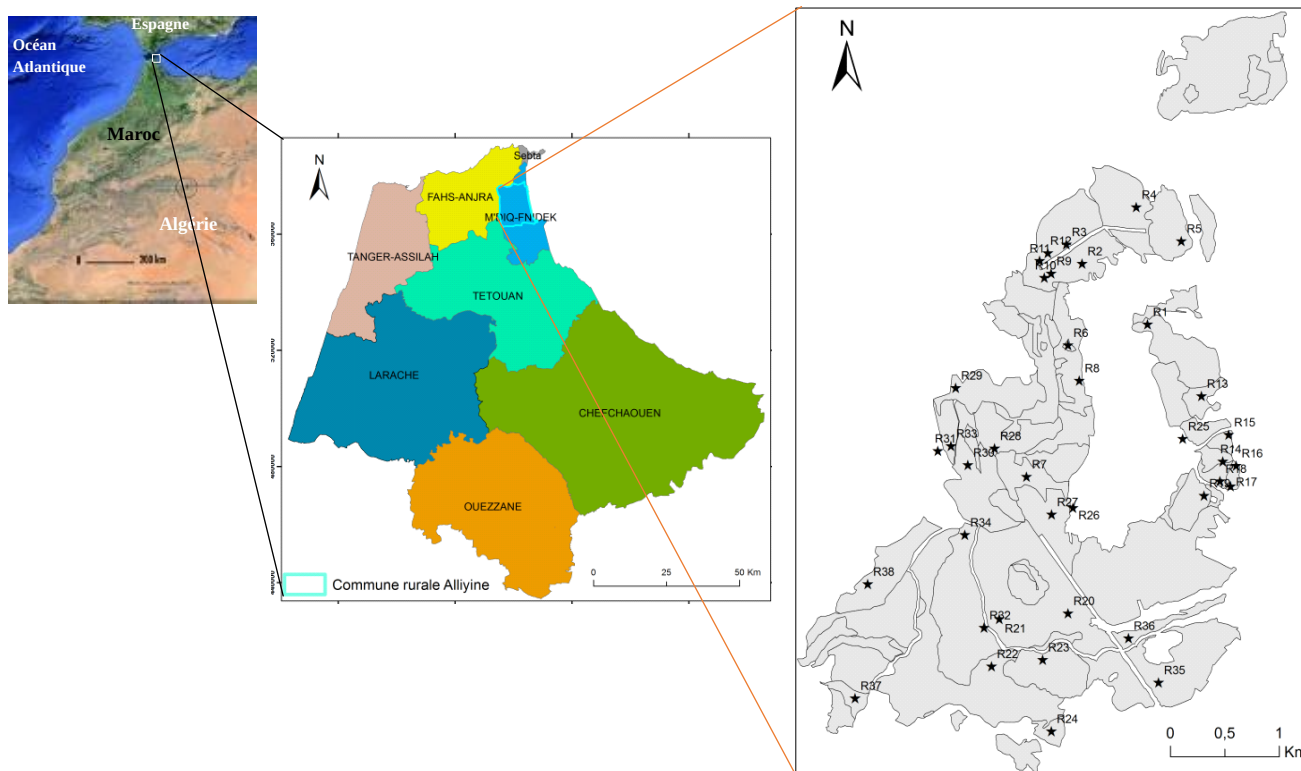


Figure 1a : Situation géographique du périmètre de reboisement de Zemzem au nord-ouest du Maroc

Figure 1b : Carte d'occupation du sol au niveau du site d'étude (les étoiles représentent les relevés R1, R2, ...).

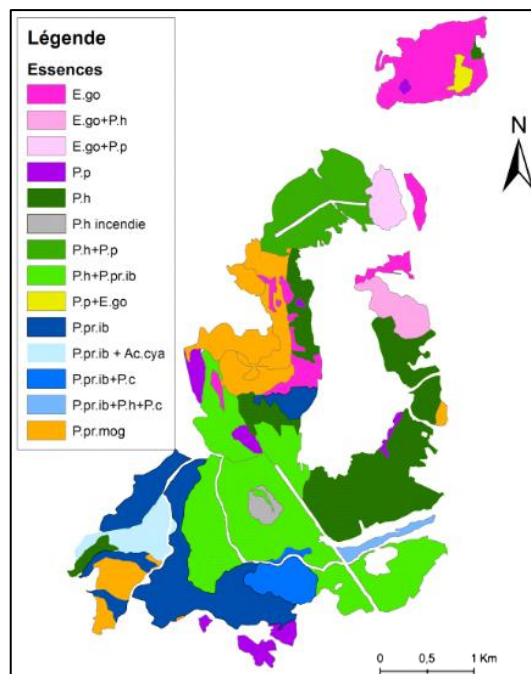


Figure 1c : L'ensemble des essences de reboisement existant au niveau de Zemzem

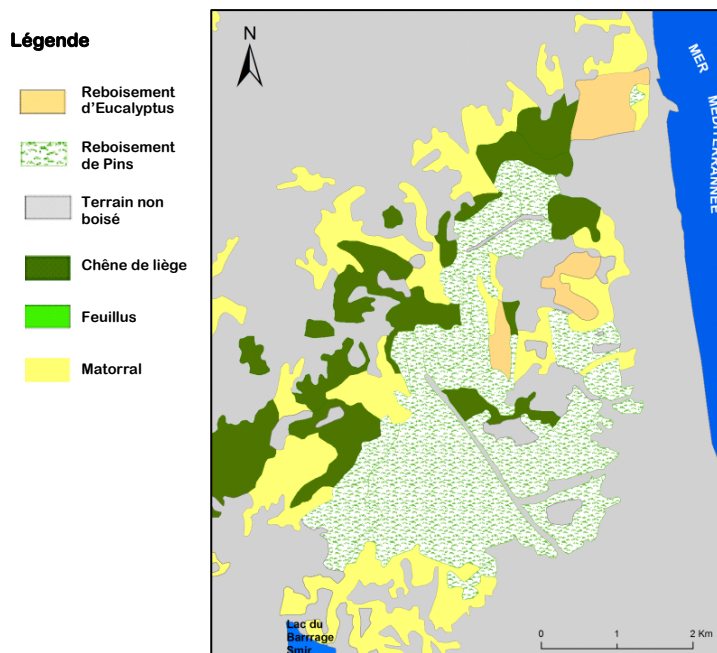


Figure 1d : Localisation des 38 relevés floristiques dans le périmètre étudié : E.go : *Eucalyptus gomphocephala* ; P.c : *P. canarinensis* ; P.h : *P. halepensis* ; P.p : *P. pinea* ; P.pr.mog : *P. pinaster* var. *maghrebiana* ; P.pr.ib : *P. pinaster* var. *iberica* ; Ac.cya : *Acacia cyanophylla*

Ce périmètre a connu des opérations anciennes de reboisement qui datent des années cinquante. La superficie y reboisée est de l'ordre de 1182,27 ha. L'étude de la carte des types de peuplements de la forêt d'El Haouz de 1996 (échelle 1/25000), nous a permis de préciser les formations végétales au niveau de Jbel Zemzem et de réaliser une comparaison avec l'état d'occupation actuelle de sol. Deux principales constatations sont ressorties : d'une part une tendance vers la conversion des matorrals en reboisement et d'autre part, une extension des agglomérations humaines et des terrains de culture au détriment des autres occupations du sol.

Sur le terrain, nous avons constaté l'existence de quelques pieds de chêne liège dispersés sur le versant ouest de Jbel Zemzem, au-delà de 190 m d'altitude, *Q. suber* apparaît en peuplement plus ou moins dégradés. Actuellement, les principales occupations de sol selon l'Inventaire Forestier National de 2014 sont indiquées dans la figure 1b. Le sous-bois est constitué par des espèces très variées, qui bien que très influencés par l'action humaine témoignent de la végétation originelle et du degré de conservation du milieu.

Les espèces sont réparties en fonction du substrat dans la totalité de la forêt d'El Haouz, on distingue des espèces du substrat calcaire, représentées essentiellement par : *Quercus coccifera* L. (chêne kermès), qui n'y constitue qu'un vestige de la végétation forestière et il n'existe au Maroc que dans le Rif, les Beni-Snassen et les environs de Taza (Benabid et Fennane, 1994). Quant aux espèces du substrat siliceux, on trouve : *Q. suber*, *Phillyrea angustifolia* L. (filaria), *Myrtus communis* L. (myrthe), et *Pistacia lentiscus* L. (lentisque) ; *Chamaerops humilis* L. (doux) occupe les matériaux argileux et argilo-calcaires. Les Cistaies sont représentées par *Cistus menspileinsis* L. (ciste de Montpellier), *C. ladaniferus* L. (ciste ladanifère), *C. salviifolius* L. (ciste à feuilles de sauge) et *C. crispus* L. (ciste crépu) en terrains superficiels. Quant aux Ericacées, si *Erica arborea* L. (bruyère arborescente) et *Arbutus unedo* L. (arbousier) indiquent les meilleurs sols, les autres, les xérophiles *E. umbellata* Loefl., *E. scoparia* L. et *Calluna vulgaris* (L.) Hull (callune commune) se développent sur les terrains les plus rocheux, dont la première est la plus caractéristique [8,20]. Les Cistacées et Ericacées sont les espèces de sous-bois les plus répandues dans le site d'étude.

2.2. Essences de reboisement étudiées

Dans le bassin méditerranéen, les pins sont des éléments essentiels de la végétation [21]. En plus des essences autochtones (*P. halepensis*, *P. pinaster* avec une sous-espèce et deux variétés : *P. pinaster* subsp. *hamiltonii* var. *maghribiana* et *P. pinaster* var. *iberica*), Plusieurs espèces exotiques ont été introduites dans le périmètre étudié (Figure 1c), afin d'essayer de compenser la dégradation du couvert forestier. On y trouve : *P. pinea* et *P. canariensis*, *Eucalyptus gomphocephala* dc. (*Eucalyptus*) et *Acacia cyanophylla* Lindl. (*Acacia* bleu) [20].

Le périmètre de Zemzem renferme donc une diversité d'essences reboisées ce qui lui confère une importance capitale pour une étude comparative de leur diversité floristique et ce sont les pins qui y occupent la superficie la plus importante (Photo 1).

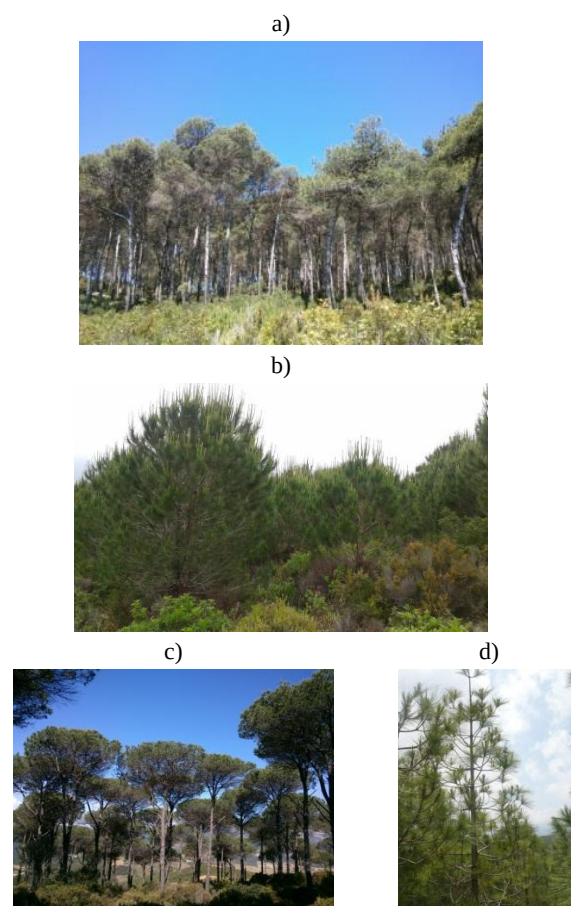


Photo 1. Essences de reboisement étudiées à Jbel Zemzem en peuplement pure. (a) pin d'Alep, (b) pin maritime (jeune peuplement), (c) pin pignon, (d) pin des Canaries (Photo de Ben-Said Mariem, Mai 2014).

- Le Pin d'Alep : Il est le résineux le plus répandu et le plus connu dans toute la région méditerranéenne soit comme arbre spontané, soit comme essence de reboisement [22] (Photo 1 a). Au Maroc, le pin d'Alep couvre près de 60000 ha, répartis en colonies éparpillées sur les chaînes montagneuses du pays depuis le niveau de la mer (région de Mlilia) jusqu'à environ 2000 m (vallée de Tessaout). Il est présent dans le Rif, en particulier sur le versant méditerranéen, dans le Moyen-Atlas central et certaines vallées du Haut-Atlas ; de beaux peuplements s'observent encore à Bni Snassène et les montagnes de Debdou dans la partie orientale du pays [23]. Au niveau de Zemzem, cette essence est également la plus dominante, avec 244 ha en formation pure, 25,31 ha en formation mixte avec l'Eucalyptus, 248 ha avec le pin maritime d'Ibérie et 78 ha avec le pin pignon.

- Le pin maritime : C'est une espèce méditerranéo-atlantique, au Maroc, ses surfaces naturelles ne dépassent pas 12000 ha, répartis entre le Rif (montagnes de Chefchaouen, de Ketama, etc.), le Moyen-Atlas (environs d'Ifrane, de Bou Iblane, de Bou Nacer, etc.) et le Haut-Atlas, surtout oriental [23] (Photo 1 b). Du point de vue altitudinal, il monte depuis le littoral (Tangérois) jusqu'à 2200m dans le Haut-Atlas et se rencontre principalement dans le subhumide et l'humide tempérés, frais et froids, en général sur des marnes et des calcaires [23]. *P. pinaster* var *maghrebiana* est un arbre endémique marocain présent dans le Rif et le Moyen-Atlas, alors que le pin maritime d'Ibérie est un arbre rare au Maroc et présents uniquement dans le Rif [24].

La variété *ibérica* se rencontre sur les versants méditerranéens du Rif (Punta cirès et Nakhla) sur un sol siliceux et gréseux, alors que la variété *maghrebiana* se trouve dans le Rif, le Moyen Atlas et le Haut Atlas oriental sur tous bons sols [8].

- Pin pignon ou pin parasol : *P. pinea* est reconnaissable à son port très étalé en parasol, d'où son nom vernaculaire le pin parasol [25] (Photo 1 c). Il se développe sous bioclimats semi-aride à humide (variante chaude à tempérée), indifférent à la nature chimique du sol, préfère les sables d'origine dunaire du littoral, présente une bonne résistance aux embruns, végète aussi sur les encroûtements calcaires superficiels, et supporte l'hydromorphie et les sols marneux [8]. Cette espèce demeure une essence de

reboisement intéressante grâce à sa très grande plasticité vis-à-vis du sol du fait qu'elle supporte aussi bien des sables très profond que des encroûtements calcaires, possédant ainsi une faculté à s'adapter dans toute la région méditerranéenne [8,26] et une grande résilience durant les périodes de sécheresse [27]. En plus de sa fonction environnementale de stabilisation des dunes, le pin pignon est aussi très apprécié pour ses graines comestibles entrant dans de nombreuses recettes méditerranéennes depuis l'Antiquité [25,28]. Des études récentes ont démontré leur utilité dans le maintien de la biodiversité locale [29]. Son aire de répartition comprend la région septentrionale de la méditerranée, de la péninsule Ibérique à l'Anatolie jusqu'aux côtes de la mer noire [30].

- Pin des Canaries : Comme son nom l'indique, le pin des Canaries est une espèce endémique des îles des Canaries, c'est l'une des pins ayant une distribution la plus restreinte dans le monde [31] (Photo 1 d). C'est une espèce à croissance rapide (70 à 110 cm de hauteur par an) malgré sa fragilité lors de son installation et croit depuis le bioclimat semi-aride supérieur jusqu'à l'humide, sur un sol profond, calcaire ou siliceux et a besoin d'une bonne alimentation en eau (DEFCS, 1978). Vu sa faculté à se développer sous une large variété des conditions climatiques, cette essence a été introduite partout dans le monde (bassin méditerranéen, Afrique, Moyen-Orient) [31]. Dans l'ensemble du bassin méditerranéen, *P. canariensis* est largement utilisé comme plante ornementale [26].

2.3. Données floristiques

Les relevés floristiques ont été effectués dans des placettes de 200 m², cette surface est considérée comme suffisante pour les groupements forestiers méditerranéens de faible hétérogénéité [32], étant donné que la diversité végétale dans les reboisements est généralement faible et la strate arborescente est très souvent représentée par l'essence principale de reboisement et rarement par d'autres essences (telles que le chêne liège dans notre cas) avec plusieurs espèces herbacées. Dans chaque échantillon, la présence/absence des espèces a été marquée et considérée dans l'analyse des données (la valeur 1 indique que l'espèce est présente et la valeur 0 en cas d'absence). Pour chaque espèce, le type biologique et le type morphologique ont été déterminés. L'identification

des espèces a été réalisée par le Professeur Mohamed Kadiri, botaniste à l'Université Abdelmalek Essaâdi (Tétouan, Maroc), avec la contribution de Dr. Abdelilah Ghallab, ingénieur forestier et de Feu Abdelmalek Benabid, botaniste et Professeur à l'Ecole Forestière des Ingénieurs du Salé. L'identification a été basée sur la Flore Pratique du Maroc, volumes 1 et 2^{1*}. Pour chaque placette, nous avons noté les coordonnées géographiques, l'orientation et l'altitude à l'aide d'un GPS (*Global Positioning System*). Trente-huit relevés (notés R1, R2, ...) ont été effectués dans l'ensemble du périmètre (Figure 1 d) répartis comme suivant : 12 relevés dans les plantations du pin d'Alep, 7 dans les plantations de pin pignon, 14 dans le pin maritime (6 dans la variété *ibérica* et 4 dans la variété *maghrebiana*), 2 au sein de pin des canaries, ainsi que 3 relevés ont été pris dans des peuplements naturels de chêne liège. Les coordonnées géographiques des placettes ont servi pour extraire les données climatiques (températures moyennes annuelles en °C et Précipitations moyennes annuelles en mm) depuis la base de données élaborée par Ghallab [33]. Selon l'archive relatif aux périmètres de reboisement relevant de la DREFLCD, l'âge des peuplements échantillonnés est compris entre 64 et 19 ans. L'échantillonnage a été conduit durant le printemps de 2014.

Pour estimer le degré de dégradation du site d'étude, nous nous sommes basés sur le type biologique qui en représente un bon indice. En effet, Loisel et Gomilla [34] ont défini un indice de perturbation (IP) permettant d'évaluer la thérophytisation de l'écosystème, en se basant sur le nombre relatif des thérophytes et des chaméphytes.

Cet indice s'exprime comme suit :

$$IP = \frac{(\text{Nombre des chamaephytes} + \text{Nombre des thérophytes})}{\text{Nombre total des espèces}} \times 100$$

Pour quantifier la diversité structurelle des peuplements échantillonnés nous avons calculé l'indice de diversité de Shannon H' dont la formule est :

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

avec p_i : proportion relative du recouvrement moyen de l'espèce i dans l'échantillon calculé comme le rapport entre le recouvrement moyen de l'espèce i et le recouvrement total de toutes les espèces. La valeur de cet indice varie entre 1 (une seule espèce) à S (toutes les espèces ont la même abondance) où S représente le nombre d'espèces présentes [35].

2.4. Analyse statistique multivariée des relevés

Pour montrer une relation probable entre l'indice de diversité spécifique H' et l'altitude et les facteurs climatiques (précipitations moyennes annuelles et températures moyennes annuelles), une régression linéaire a été réalisée. De plus, afin de mettre en évidence les affinités entre les essences de reboisement étudiées, nous avons effectué une analyse d'ordination multidimensionnelle non métrique NMDS (*Non-metric multidimensional scaling*), basée sur l'indice de similarité de Jaccard, sur une matrice de présence-absence [36]. Cette analyse a été conduite à l'aide du package *vegan* [37] implémenté dans le logiciel R version R 4.0.2 [38]. Cette approche d'ordination a l'avantage théorique que les hypothèses sous-jacentes liées à la linéarité ou la contingence ne sont ni nécessaires ni spécifiées [39].

La pertinence et la qualité de l'ajustement de l'ordination multidimensionnelle NMDS ont été évaluées par le diagramme de Shepherd ainsi que la mesure des ajustements linéaires et non métriques, en utilisant les fonctions *stressplot()* et *goodness()* dans le logiciel R [40]. Pour mieux interpréter les graphiques obtenus par la NMDS, nous avons réalisé une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Comme son nom l'indique, cette méthode permet de mettre en évidence des classes ayant des affinités communes [41]. La représentation graphique donne un dendrogramme (ou diagramme en arbre) dont l'interprétation est la plus facile en comparaison avec les autres méthodes de classification et le plus utilisée [42].

En effet, le recours à la fois aux méthodes d'ordination et de classification aide à décrire, analyser la végétation et ressortir des gradients environnementaux qui la régissent [43]. La période d'échantillonnage s'est étendue d'avril à mai 2014, coïncidant ainsi avec la saison favorable de croissance. Les analyses floristiques ont été conduites via le logiciel

¹ Fennane M., Ibn Tattou M., Mathez J., Ouyahya A. & El Oualidi J. (eds) 1999 - Flore pratique du Maroc, vol. 1 Trav. Inst. Sci. Sér. Bot. 36, Rabat. et Fennane M., Ibn Tattou M., Ouyahya A. & El Oualidi J. (eds) 2007 - Flore pratique du Maroc, vol. 2 Trav. Inst. Sci. Sér. Bot. 38, Rabat.

Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation), tandis que l'analyse multivariée ACH a été réalisée à l'aide du package *vegan* dans R [37,38].

3. Résultats

Sur les 38 relevés effectués dans le périmètre de Zemzem, nous avons recensé 83 espèces, réparties en 69 genres et 34 familles. La répartition des familles n'est

pas homogène (Figure 2 a ; Tableau I en annexe), celles les mieux représentées sont les Asteraceae (22 %), les Lamiaceae (8 %) et les Ericaceae, Pinaceae, Fabaceae (6 %). La majorité des familles n'ont été représentée que par une seule espèce. La catégorie « autres familles » regroupe dix-neuf familles qui ne comportent qu'une seule espèce chacune (Tableau I en annexe).

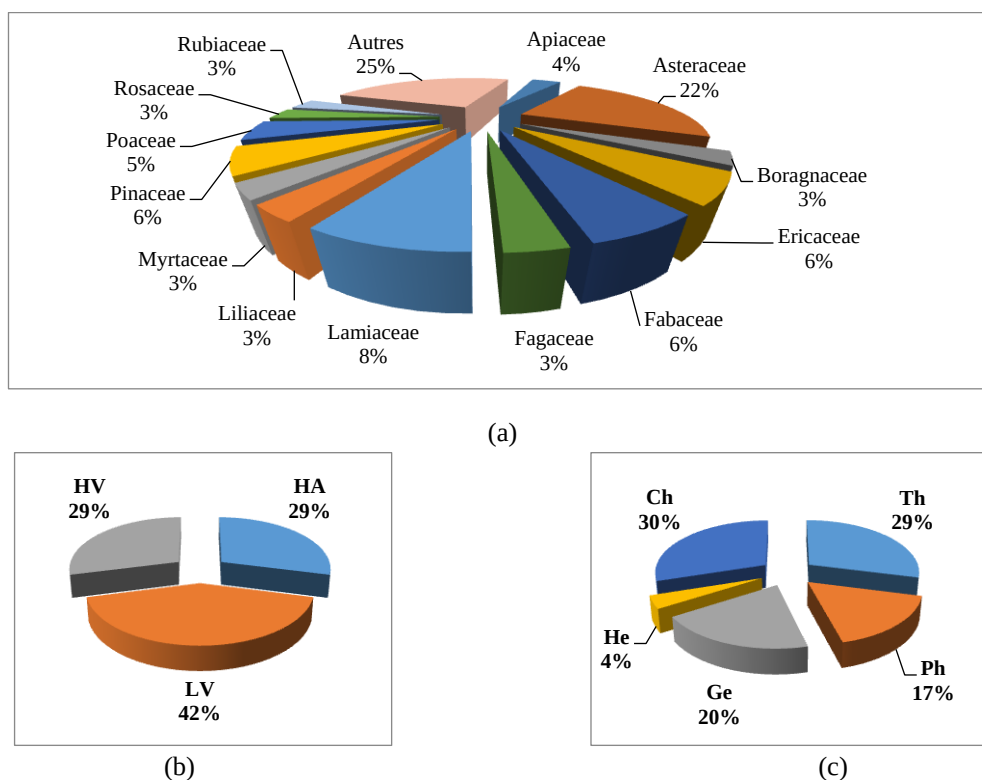


Figure 2 :

- (a) Pourcentage des familles recensées au niveau du périmètre de Zemzem
 (b) Composition floristique selon les types morphologiques: LV : ligneux vivaces ; HV : herbacés vivaces ; HA : herbacés annuelles.
 (c) Composition floristique selon les types biologique : Th : thérophytes ; Ph : phanérophytes ; Ge : Géophytes ; He : Hhémicryptophytes ; Ch : Chamaephytes.

Du point de vue morphologique, les ligneux vivaces (LV) dominant avec 42 %, suivis par les herbacés vivaces (HV) et annuelles (HA) avec 29 % (Figure 2b). Concernant le type biologique, une dominance des chamaephytes (Ch) et des thérophytes (Th) a été constatée, avec respectivement 30 % de 29 %, tandis que les phanérophytes (Ph) ne constituent que 17 % (Figure 2c ; Tableau I en annexe). Au niveau du périmètre étudié, la valeur de l'indice de perturbation

(IP) est de l'ordre de 60 %, un taux élevé traduisant un état de dégradation importante. La richesse spécifique par relevé est différente entre les essences (Figure 3). Le nombre moyen d'espèces pour chaque essence montre des valeurs maximales dans les pinèdes maritime et d'Alep et minimales dans la pinède de Canaries. L'indice de diversité de Shannon H' montre une tendance similaire (Figure 3), ou il est plus faible dans les plantations de *P. canariensis* (2.22), alors que les

plantations de *P. halepensis* et *P. pinaster* var. *maghrebiana* et les peuplements naturels du *Q. suber* montrent des valeurs maximales proches (respectivement 2,89 ; 2,88 et 2,87).

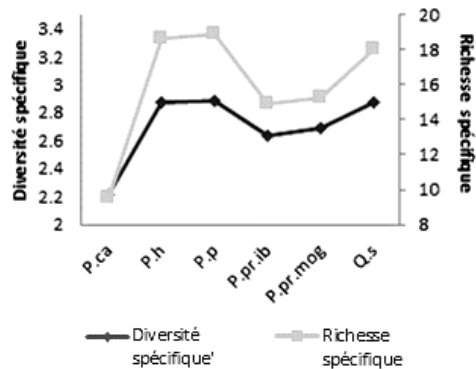


Figure 3. Moyennes de la diversité spécifique de Shannon (H') et de la richesse spécifique (nombre d'espèces) pour les quatre essences de reboisement et les peuplements naturels de chêne liège étudiés (P.ca : *P. canariensis* ; P.h : *P. halepensis* ; P.p : *P. pinea* ; P.pr.ib : *P. pinaster* var. *iberica* ; P.pr.mog : *P. pinaster* var. *maghrebiana* ; Q.s : *Q. suber*).

La diversité est relativement élevée dans les placettes élevées (vers 400 m) par rapport aux basses altitudes (Figure 4a). L'influence des paramètres climatiques sur la diversité des peuplements est évidente. L'augmentation de la température ne permet pas une diversification des peuplements étudiés, tandis que les valeurs élevées des précipitations corrélées à l'altitude favorisent la diversité (Figure 4b et 4c).

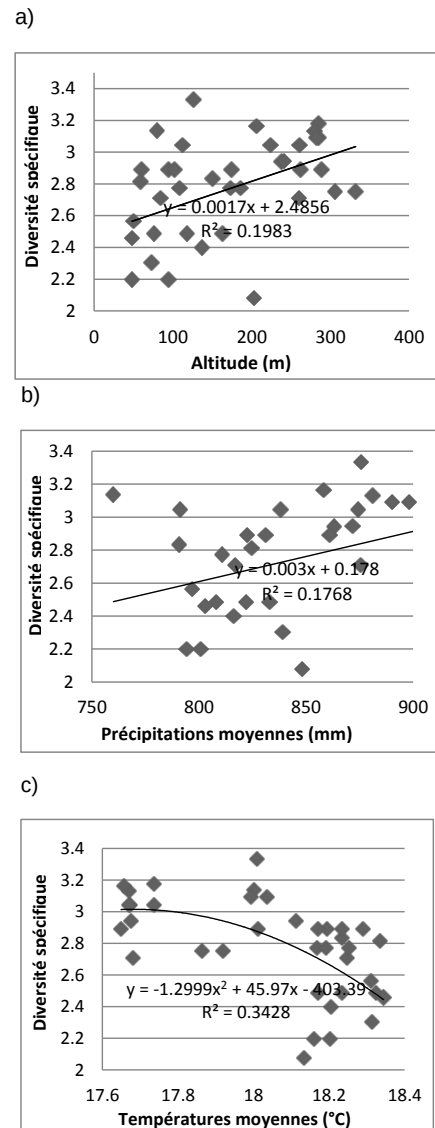


Figure 4. Régression linéaire entre l'indice de Shannon H' et : (a) l'altitude, (b) les précipitations moyennes, et (c) les températures moyennes.

L'évaluation de la qualité de l'ordination multidimensionnel (NMDS) a illustré un bon ajustement avec une forte corrélation entre la distribution des valeurs de dissimilarité et les distances d'ordination ($r^2 = 0,84$) (Figure 5).

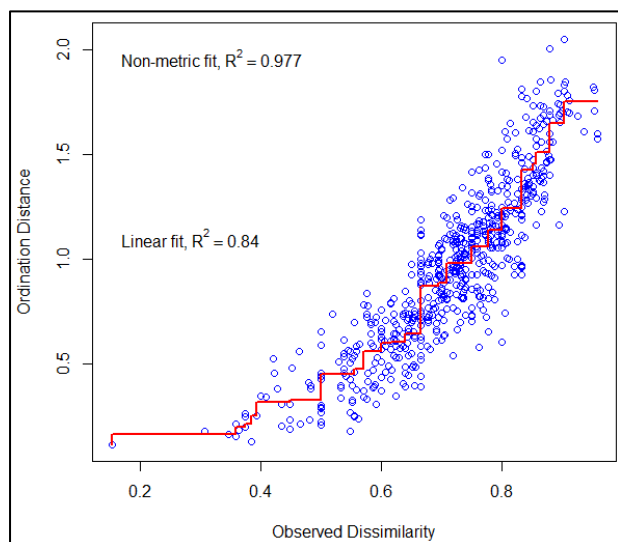


Figure 5. Le diagramme de stress de Shepherd montrant la qualité de l'ordination de NMDS.

Trois groupes ont été mis en évidence par le positionnement multidimensionnel (NMDS), le premier regroupe les échantillons réalisés sous le P.h et le P.p, le second regroupe les échantillons de P.pr.mag et de Q.s, et le dernier est relatif aux plantations de P.pr.ib et de P.ca (Figure 6a ; voir Tableau I en annexe pour les abréviations des noms des espèces utilisées dans la NMDS). Afin de mieux comprendre les groupes mis en évidence par la NMDS dans le site d'étude, nous avons réalisé une Classification Ascendante Hiérarchique sur les relevés. Les résultats obtenus par la CAH rejoignent ceux précédemment présentés par la NMDS. L'individualisation de trois groupes est ainsi révélée (Figure 6 b).

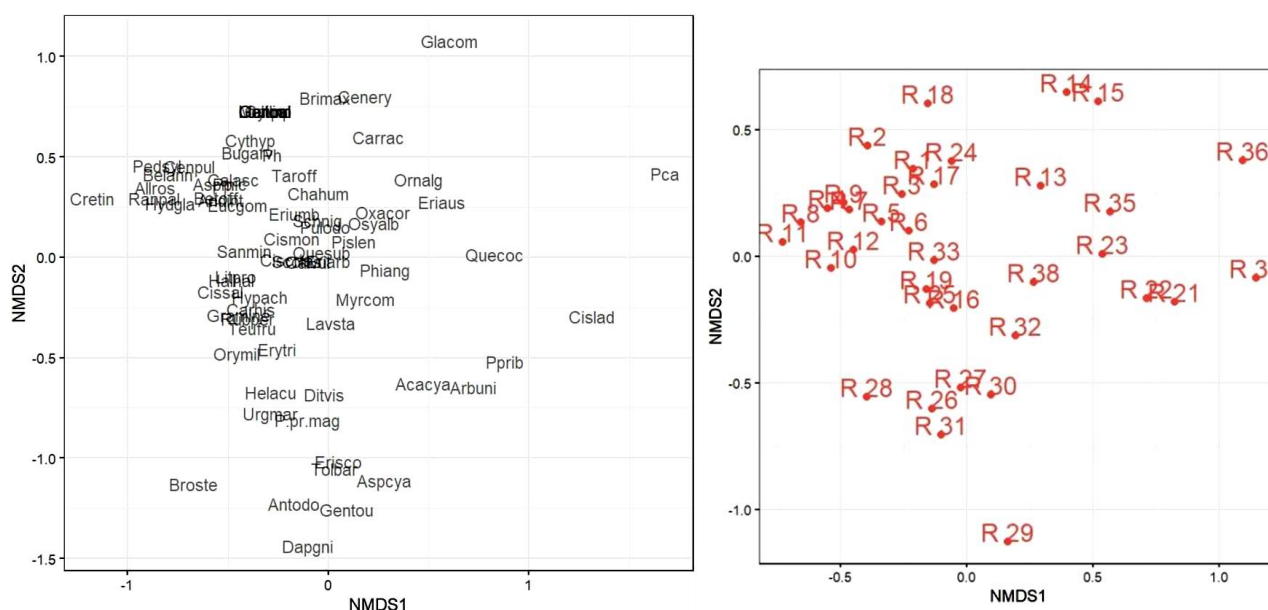


Figure 6a Positionnement multidimensionnel non-métrique (NMDS) appliqué aux données de présence-absence des espèces et aux relevés floristiques, en utilisant l'indice de similarité de Jaccard

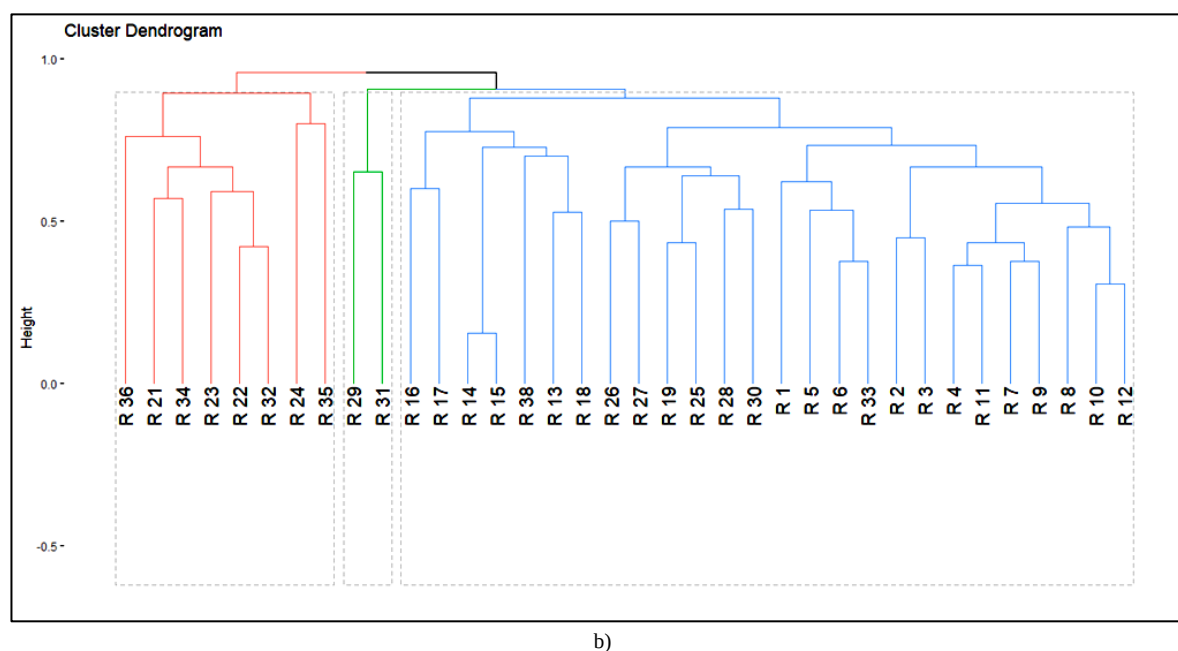


Figure 6b : Dendrogramme visualisant le résultat de la Classification Ascendante Hiérarchique (avec l'indice de similarité de Jaccard) appliquées sur les relevés. Pour les abréviations des espèces voir Tableau I de l'annexe.

4. Discussion

Dans ce travail nous avons étudié la diversité et la composition floristique du périmètre de reboisement de Zemzem et déterminé les facteurs biotiques et abiotiques influençant la biodiversité de ces plantations afin de proposer les essences de reboisement ayant une structure plus riche et permettant une meilleure conservation de l'écosystème forestier. L'essence de reboisement détermine le sous-bois des plantations et conditionne leur richesse [44]. Plusieurs études reportent que ces plantations sont pauvres en biodiversité dû essentiellement à la suppression des espèces environnantes durant les opérations de reboisement [45-47]. Cependant, la richesse spécifique est élevée sous les pins par rapport à d'autres essences [48] et elle varie selon les espèces de pins prise en compte, elle est par exemple faible sous *P. helepis* [47, 49, 50] comparé au pin maritime *P. pinaster* [47]. De ce fait, l'inventaire floristique montre une diversité relativement faible, cette tendance est très marquée sous les plantations exotiques particulièrement dans le cas de *P. canariensis* comme il a été souvent mentionné dans la littérature [44]. Le nombre d'espèces sous le pin d'Alep et le pin pignon est sensiblement plus élevé par rapport aux plantations de pin maritime du Maghreb,

mais ce dernier montre une structure plus diversifiée rapprochée à celle observée dans les peuplements naturels de chêne liège, corroborant ainsi les résultats obtenus par Taiqui *et al.* [47]. La pinède à base de pin maritime du Maghreb présente un avantage remarquable, qui réside dans le fait que le regroupement de cette essence avec le chêne liège laisse penser une structure similaire. En effet, l'utilisation des essences autochtones en reboisement est largement soutenue, contrairement aux opérations de reboisements avec des essences exotiques qui est fortement critiquée. Ces essences autochtones occupaient une place de choix dans les productions forestières du Rif, les formations de chêne liège ont actuellement, cependant, un rôle économique régional mineur par rapport aux plantations de production qui sont devenues graduellement importantes (Grovel, 1996). De plus, les plantations du *P.ca* se caractérisent par une strate arborée monospécifique et les strates arbustive et herbacée ont été quasi-absentes en comparaison avec les autres pinèdes avec les 3 strates qui ont été bien représentées avec un recouvrement important, ce qui pourrait expliquer les valeurs faibles de diversité sous *P. canariensis*. Ce résultat supporte largement les observations des études antérieures qui rapportent que

dans les peuplements aménagés les débris ligneux sont absents [51].

Quoique ces essences soient préconisées dans la restauration des écosystèmes perturbés et que les peuplements matures aménagés sont par certains aspects structurels similaires aux forêts dans leur phase optimale du cycle forestier (canopée fermée et absence de sous-bois), il est actuellement démontré qu'elles pourraient menacer la structure et la composition et la dynamique de la végétation en termes de succession et dominance, interférer avec la flore microbienne souterraine, ainsi que de bouleverser les associations mutualistes caractérisant les communautés autochtones [51,3]. Cependant, le mélange d'essences de reboisement augmente l'hétérogénéité structurelle et peut induire un sur-rendement des peuplements en comparaison avec les plantations monospécifiques [52].

Dans le bassin méditerranéen, malgré son importance dans la protection et le maintien des forêts, le reboisement est lié à de plusieurs problématiques [1]. Les reboisements à l'aide d'espèces exotiques ont un effet perturbateur sur la végétation locale [44]. Au cours des XVIII^e et XIX^e siècles, l'utilisation des espèces exotiques (telles que *Pinus* spp., *Eucalyptus* spp. et *Acacia* spp.) a été largement recommandée dans les écosystèmes méditerranéens dégradés afin d'améliorer leur productivité et biodiversité [3]. Ces peuplements forment des étendues de bois régulières et identiques dominées par une ou deux essences [44].

Une étude menée par Chirino *et al.* [46] sur les plantations du P.h au Sud Est de l'Espagne montre que la richesse globale et la diversité ont présenté les valeurs les plus basses dans les communautés reboisées que celles naturelles. Dans notre étude, la valeur élevée de l'indice de perturbation obtenue traduit un état de dégradation importante, où les principaux impacts notés résident dans l'extension des habitats humains aux dépens de terrains reboisés, le pâturage et le prélèvement du bois. Les trois fonctions de base des actions de reboisement sont la production du bois, la protection du sol, et la récréation. Qu'il s'agisse de *P. halepensis*, de *P. pinaster* ou de *P. canariensis*, ils peuvent tous être utilisés aussi bien pour la production que la protection [8].

Cependant, le reboisement avec le pin d'Alep ne réduit significativement pas l'érosion à long terme (30 ans) en comparaison avec la végétation naturelle, par

conséquent, ce type de reboisement n'est pas efficace pour améliorer le couvert du sol et conserver la végétation et le sol dans des paysages non dégradés [46]. La croissance rapide du pin maritime fait de cette espèce l'une des essences d'intérêt aux montagnes marocaines, en faisant ainsi une espèce très rentable pour les forestiers [22]. En effet, la variété *maghrebiana* est considérée comme l'une des essences les plus intéressante pour le Maroc, car elle a la capacité d'être introduit dans tout le bioclimat subhumide, depuis les piémonts jusqu'à 1800m d'altitude, sur tous bons sols, même calcaires [8].

L'ordination NMDS et la classification CAH ont permis la mise en évidence de trois groupes dans les plantations de pins étudiées : le groupe qui réunit P.h et P.p apparait homogène, Q.s avec P.pr.mag forme le second groupe et le troisième groupe regroupe P.ca et P.pr.ib. Ces résultats montrent que chaque groupement présente une structure sensiblement homogène, cela peut être dû au fait que l'extension géographique limitée de notre site d'étude ne permet pas une variation importante sur le plan écologique.

La structure de la subéraie survivante encore aux alentours des plantations résineuses a évolué vers une formation simple ne présentant pas une particularité floristique, à l'exception de l'espèce *Crepis tingitana* Salz, ex Ball, endémique de la péninsule tingitane. Par rapport à d'autres essences, les plantations en pin d'Alep ont acquis un cortège floristique, quoiqu'il soit appauvri, proche à celui qui caractérisaient la subéraie

La biodiversité des forêts rifaines est de plus en plus menacée par la dégradation humaine accélérée surtout par la culture du kif et par l'extension des reboisements monospécifiques en résineux [9]. Dans les zones méditerranéennes, la régénération naturelle est l'alternative privilégiée plutôt qu'artificielle [53]. La conservation des forêts naturelles, ou la restauration des écosystèmes perturbés avec des espèces autochtones s'avère urgente pour réduire les impacts d'érosion et améliorer la diversité floristique et la résilience écosystémique [46]. Cependant, les plantations artificielles provoquent une détérioration de la biodiversité, de la stabilité et des services écosystémiques [54]. Le maintien des peuplements monospécifiques qui se développent dans des conditions actuelles de stress serait excessivement fragile aux effets du changement climatique [55]. Actuellement, la

conversion des reboisements monospécifiques de conifères en peuplements à structure et composition hétérogènes représente un défi majeur pour les gestionnaires [56]. Cette conversion pourrait contribuer au maintien d'une productivité supérieure à long terme par rapport aux peuplements monospécifiques [55].

Dans le site d'étude, la dominance des thérophytes et chaméphytes est plus liée à la pression anthropique et les phanérophytes n'ont été représentés que par les essences de reboisement. Pour les formations forestières, les incendies constituent une grande menace qui peut ravager plusieurs hectares en quelques heures. Dans le Rif, les feux de forêts sont devenus un phénomène récurrent et difficilement contrôlables dans la plupart commencent à se propager dans les périmètres de reboisement à base de résineux [24]. Le pin d'Alep est très sensible à l'incendie ce qui est lié à l'ambiance sèche qui l'accompagne, ses cônes, persistants très longtemps, éclatent et facilitent la propagation rapide du feu [57]. Son couvert très clair sous lequel se maintient, même lorsque le peuplement est fermé, un sous-bois très combustible [57]. Les incendies et la pression humaine sur la forêt en convertissant ces écosystèmes en terrains agricoles ou habitations se traduisent par un déclin progressif du couvert végétal persistant [19]. Dans le site d'étude, les incendies ont dernièrement provoqué d'importants dégâts. Les documents administratifs (non publiés) montrent que les feux ont ravagé environ 9.38 ha de pin d'Alep en 2002 et 130 ha en 2012 à Jbel Zemzem. Taouil [19] a signalé que Jbel Zemzem figure parmi les *dchars* (des agglomérations humaines caractérisant les zones rurales) les plus peuplés avec un taux de construction récente d'environ 66 % auquel s'ajoute la construction massive de vastes complexes touristiques aux alentours du site.

Jusqu'à présent, au Maroc, les études portant aussi bien sur les forêts « semi-naturelles » qu'artificielles négligent l'aspect lié aux interactions biotiques surtout compétitives entre les essences de reboisement et leur incidence sur la production du bois (la réduction de la croissance de l'espèce la moins compétitive). Récemment certaines études ont évoqué la question des interactions biotiques dans les forêts du Rif [voir par exemple 58] mais les reboisements n'ont pas fait l'objet de ce genre d'étude dont les résultats pourraient significativement aider dans les projets d'aménagement sylvicole. Par ailleurs, de nombreuses études ont élucidé

le rôle des interactions interspécifiques entre les pins. En effet, dans une forêt mixte de pins méditerranéens, Ledo et al. [59] ont constaté qu'en raison de sa capacité compétitive et de sa régénération réussie, *P. pinea* peut devenir dominant sur *P. pinaster*. La disponibilité en eau constitue le plus grand obstacle pour les reboisements, même pour les espèces exhibant une tolérance beaucoup plus élevée au stress hydrique [60]. Ce qui pourrait accentuer l'effet compétitif entre les arbres et provoquer leur mortalité. *P. pinea* et *P. halepensis* ont eu des réponses de croissance semblables à l'effet de compétition, ce qui pourrait être dû au fait qu'ils font face à la compétition de façon comparable [61]. Cependant, *P. halepensis* a exhibé une croissance moyenne plus élevée que *P. pinea* pendant la période étudiée. Cela suggère que la prévention d'une interaction compétitive interspécifique forte pourrait retarder le remplacement à long terme de *P. pinea* par *P. halepensis* et favoriser la gestion forestière dans les peuplements mixtes avec deux espèces occupant des niches écologiques similaires mais peuvent engendrer divers biens et services [61]. De plus, malgré la résilience de *P. pinea*, cette espèce sera probablement menacée par des conditions plus arides attendues pour la région méditerranéenne, avec un déclin conséquent de la résistance de l'espèce plutôt qu'un rétablissement ; ces données récentes devraient être prises en compte dans les plans de gestion [62].

5. Conclusion

L'ensemble des formations végétales du périmètre de Zemzem présente une structure relativement simple, où la majorité des espèces inventoriées ne représentent pas une grande valeur patrimoniale. Le nombre d'espèces recensées dans les plantations de pin d'Alep et de pin pignon est élevé mais le cortège floristique de pinède maritime s'approche le plus de celui de la subéraie avoisinante. Les îlots de chêne liège apparaissent dilués au sein de ces plantations artificielles, et la dégradation de ces écosystèmes a donné une formation assez pauvre largement dominée par les *Erica* ssp. et *Cistus* ssp. Il ressort que l'utilisation de *P. pinaster* ou *P. halepensis* offre des avantages remarquables par rapport aux autres essences (*P. pinea* et dans une moindre mesure le *P. canariensis*).

Comme toute étude, le présent travail a aussi certaines limitations. Nous citons les principales limitations qui devraient être prise en compte dans les prochains travaux : 1) la répartition des échantillons devrait être homogène dans les plantations, 2) l'étude d'un ensemble de périmètres dans toute la région Tanger-Tétouan-Al Hoceima permettrait de mieux cerner les particularités des essences et de comparer leur diversité, et 3) la prise en compte des paramètres physico-chimiques du sol ainsi que des traitements sylvicoles entrepris s'avère cruciale pour mieux interpréter les facteurs régissant la diversité des plantations.

Remerciements

Nous remercions Fatima Zohra Nakiss, Mhammad Houssni, Abderrazak Moudou, Zakaria Bouhmid, Hesham Awedah, Fahd Darasy, Meriem Akkar, Iman Mechhidan et Soukaina Belhaj pour leur aide précieuse dans les travaux de terrain. Nous sommes très reconnaissants au Professeur Mohamed Kadiri et Feu Abdelmalek Benabid pour l'identification des espèces. Nous sommes également reconnaissants à la Direction Régionale des Eaux et Forêts et de la Lutte Contre la Désertification du Rif et au Service des Études de l'Aménagement et de la Planification pour leur accueil chaleureux de MB durant un stage de Master de six mois au cours de l'année 2014.

Références

- [1] Quézel P., Barbéro M., Loisel R., 1990. Les reboisements en région méditerranéenne. Incidences biologiques et économiques. T. XII, n° 2 pp 103-114. <http://www.foret-mediterraneenne.org/fr/catalogue/id-456-les-reboisements-en-region-mediterraneenne-incidences-biologiques-et-economiques>
- [2] Peñuelas J., Sardans J., Global Change and Forest Disturbances in the Mediterranean: Breakthroughs, Knowledge Gaps and Recommendations. *Forests* 12 (603) (2021): 1-27. <https://doi.org/10.3390/f12050603>
- [3] Gauquelin T., Michon G., Joffre R., Duponnois R., Génin D., Fady B., et al., Mediterranean forests, land use and climate change : a social-ecological perspective. *Regional Environmental Change*, 18 (3) (2016): 623-636. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-0994-3>
- [4] Derak M., Cortina J., Multi-criteria participative evaluation of *Pinus halepensis* plantations in a semiarid area of southeast Spain. *Ecological indicators*, 43 (2014): 56-68. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.02.017>
- [5] Benbrahim K. F., Tribak A., 2004. Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation : impact du phénomène au Maroc. *Sécheresse*, 15 (4) : 307-320.
- [6] Ajbilou R., Marañón T., Arroyo J., Ecological and biogeographical analyses of Mediterranean forests of northern Morocco. *Acta Oecologica*, 29 (1) (2006): 104-113. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2005.08.006>
- [7] Mostafa E., Boukhari E., Brhadda N., Najib G., Evaluation of success factors of cork oak reforestation in the Maâmora forest. *Geo-Eco-Trop*, 38 (2) (2014) : 325-338. <https://doi.org/10.1007/s13595-015-0479-4>
- [8] DEFCS (Direction des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols), 1978. Guide pratique du reboiseur au Maroc. Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire, 373p.
- [9] Grovel R., La préservation des forêts du Rif centro-occidental : un enjeu de développement de la montagne rifaine / Preservation of forests in the central western Rif massif : a key element in the development of the Rif Mountains. *Revue de géographie alpine*, tome 84 (4) (1996) : 75-94.
- [10] Boujrouf S., La montagne dans la politique d'aménagement du territoire du Maroc /The place of mountain areas in Morocco's national planning and development policies. *Revue de géographie alpine*, 84 (4) (1996) : 37-50. https://www.persee.fr/doc/rga_0035-1121_1996_num_84_4_3884
- [11] AEFCS (Administration des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols), 1997. Le Plan Directeur de Reboisement : une nouvelle stratégie de reboisement. Actes de la journée d'information du 29 Avril 1997
- [12] Melhaoui Y., 2002. Protection et gestion participative des écosystèmes forestiers du RIF. In : Deuxième atelier international sur la foresterie participative en Afrique. Préparer l'avenir : des conditions de vie durables en milieu rural grâce à la gestion participative des ressources forestières Arusha (Tanzanie). <http://www.fao.org/3/Y4807B/Y4807B00.htm>
- [13] Naggar M., Les questions forestières au Maroc et la gouvernance territoriale, *Revue Forestière Française*, 3 (2013) : 255_263. <https://doi.org/10.4267/2042/51854>
- [14] Lepoutre B., 1967. Régénération artificielle du chêne-liège et équilibre climatique de la subéraie en forêt de la Maâmora. Station de Recherches Forestières de Rabat.
- [15] Belghazi B., Ezzahiri M., Amhajar M., Benziane M., Régénération artificielle du chêne-liège dans la forêt de la Maâmora (Maroc). *Forêt méditerranéenne*, 22 (3) (2001) : 253-261. <http://www.foret-mediterraneenne.org/fr/catalogue/id-754-regeneration-artificielle-du-chene-liege-dans-la-foret-de-la-maamora-maroc->
- [16] Belghazi B., Badouzi M., Belghazi T., Moujjani S., Semis et plantations dans la forêt de chêne-liège de la Maâmora (Maroc), *Forêt méditerranéenne*, 32 (3) (2011) : 1-13. <http://www.foret-mediterraneenne.org/fr/catalogue/id-1656-semis-et-plantations-dans-la-foret-de-chene-liege-de-la-maamora-maroc->
- [17] Ellatifi M., 2012. « L'économie de la forêt et des produits forestiers au Maroc : bilan et perspectives ». Thèse Doc. Sc. Econ., Univ Montesquieu, Bordeaux IV, 424p. <https://www.sudoc.fr/162536453>
- [18] Hanane S., Importance des reboisements en pins pour les oiseaux forestiers nicheurs : cas du pigeon ramier (*Columba palumbus*) dans une plantation de pin d'Alep au Moyen-Atlas Central (Maroc). 34 (3) (2013) : 209-214. http://www.foret-mediterraneenne.org/upload/biblio/foret_med_2013_3_209-214.pdf
- [19] Taouil A., 2001. « Milieu naturel et utilisation du sol dans le Haouz méditerranéen de Tétouan, Rif occidental, Maroc : Facteurs physiques, système agro-sylvopastoral, production et évolution de l'espace ». Thèse Doct. Univ. Amsterdam Fac. Social and Behavioural Sciences, 275p. <https://hdl.handle.net/11245/1.195222>
- [20] SEAFBV (Service des Aménagements des Forêts et des Bassins Versants), 1999. Étude d'aménagement de la forêt d'El Haouz, 44p.

- [21] Fyllas N.M., Dimitrakopoulos P.G., Andreas Y., Troumbis A.Y., Regeneration dynamics of a mixed Mediterranean pine forest in the absence of fire. *Forest Ecology and Management*, 256 (8) (2008): 1552-1559. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.06.046>
- [22] Benabid A., Fennane M., Connaissances sur la végétation du Maroc : Phytogéographie, phytosociologie et séries de végétation. *Lazaroo* 14 (1994) : 21-97.
- [23] HCEFLCD, 2014. Site officiel du Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification. <http://www.eauxetforets.gov.ma/SitePages/Index.aspx> (Consulté le 27/02/2014).
- [24] Benabid A., 2002. Le Rif et le Moyen-Atlas (Maroc) : Biodiversité, Menaces, Préservation. Mountains High Summit Conference for Africa. UNEP/Nairobi, May 2002.
- [25] Fady B., 2005. Biodiversité des populations de conifères : existe-t-il une spécificité méditerranéenne ? Université Paul Cézanne - Aix-Marseille III. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00176373>
- [26] Gausson H., Les résineux d'Afrique du Nord. Écologie, reboisements. In : *Revue internationale de botanique appliquée et d'agriculture tropicale*, 32^e année, 361-362 (1952) : 505-532. https://www.persee.fr/doc/jatba_0370-5412_1952_num_32_361_6543
- [27] Oliveras I.J., Martínez-Vilalta J., Jiménez-Ortiz M.J., Lledó A., Escarré A., Piñol J., Hydraulic properties of *Pinus halepensis*, *Pinus pinea* and *Tetraclinis articulata* in a dune ecosystem of Eastern Spain. *Plant Ecology* 169 (1) (2003): 131-141. <https://doi.org/10.1023/A:1026223516580>
- [28] Mutke S., Calama R., González-Martínez S.C., Montero G., Gordo F.J., Bono D. et al., Mediterranean Stone pine: botany and horticulture. *Horticultural Reviews* 39 (2012): 153-201. <https://doi.org/10.1002/9781118100592.ch4>
- [29] Bonari G., Acosta A. T., Angiolini C., Mediterranean coastal pine forest stands: understorey distinctiveness or not? *Forest Ecology and Management* 391(2017): 19-28. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.002>
- [30] Sghaier T., Garchi S., Khouaja A., Étude de la croissance des reboisements de Pin pignon (*Pinus pinea*) en Kroumirie tunisienne. *Geo-Eco-Trop* 30 (1) (2006) : 01-10. https://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_301_01.pdf
- [31] Navascues Melero M., 2005. "Genetic Diversity of the Endemic Canary Island Pine Tree, *Pinus canariensis*". Thèse Doct. Ecole Sc. Bio. Univ. East Anglia, 229p. <https://doi.org/10.6084/M9.FIGSHARE.1108027.V1>
- [32] Benabid A., 1984. Étude phytocéologique des peuplements forestiers et préforestiers du Rif Centro-occidental (Maroc). *Travaux de l'Institut Scientifique, Série Botanique*, 34 : 64.
- [33] Ghallab A., 2018. « Modélisation de la Distribution Potentielle Actuelle des Espèces Forestières Majeures dans le Rif Occidental du Maroc et Prédiction de l'Impact du Changement Climatique ». Thèse Doct. Université Abdelmalek Essaâdi, Maroc.
- [34] Loisel, R. and Gomila, H. (1993) Traduction des effets du débroussaillage sur les écosystèmes forestiers et pré forestiers par un indice de perturbation. *Annales de la Société des Sciences Naturelles et d'Archéologie de Toulon et du Var*, 123-132.
- [35] Roselt/Oss, 2009. Surveillance environnementale à long terme en réseau circumsaarien : Synthèse Afrique du Nord « Flore – végétation – occupation des terres », document de travail OSS-USTHB, 65p. <http://www.oss-online.org/fr/la-surveillance-environnementale-dans-le-circum-sahara-synth%C3%A8se-r%C3%A9gionale-%C3%A9cologie>
- [36] Dixon P., VEGAN, a package of R functions for community ecology. *Journal of Vegetation Science*, 14 (6) (2003) : 927–930. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2003.tb02228.x>
- [37] Oksanen J., Blanchet F.G., Friendly M., Kindt R., Legendre P., McGlinn D., et al. 2020. Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-7. <https://cran.r-project.org/package=vegan>
- [38] R Development Core Team, 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- [39] Kenkel N.C., On selecting an appropriate multivariate analysis. *Canadian Journal of Plant Science*, 86 (2006) : 663–678. <https://cdnsiencepub.com/doi/10.4141/P05-164>
- [40] Borcard, D., Gillet, F., & Legendre, P., 2018. Numerical ecology with R. Springer. <https://www.springer.com/gp/book/9781441979766>
- [41] Cherif I., 2012. « Contribution à une étude phytocéologique des groupements à *Tetraclinis articulata* du littoral de Honaine (Algérie occidentale) ». Mémoire Magister, Univ. Tlemcen Fac. Sc. de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, 207p. <http://dspace.univ-tlemcen.dz/handle/112/1986>
- [42] Bouxin G., 2008. La classification numérique des relevés de végétation. 45p.
- [43] Meddour R., 2011. « La méthodologie phytosociologique Braun-blanketo-tixenienne ». Univ. Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Fac. Sc. Biologiques et Agronomiques, Algérie, 40p.
- [44] Djegoa J. G. et Sinsin B., Impact des espèces exotiques plantées sur la diversité spécifique des phytocénoses de leur sous-bois. *Systematics and Geography of Plants*, 76 (2006): 191-209. <https://www.jstor.org/stable/20649711>
- [45] Pastor, L., 1995. Repoblaciones forestales con *Pinus halepensis* en la Provincia de Alicante. Evaluación ecológica del método de revegetación habitual en la cuenca mediterránea española. In : Pastor-López, A., Seva-Román, E. (Eds.), *Restauración de la Cubierta Vegetal en Ecosistemas Mediterráneos*. Instituto de Cultura Juan Gil-Albert, Alicante, pp. 81–120.
- [46] Chirino E., Bonet A., Bellot J., Sanchez J.R., Effects of 30-year-old Aleppo pine plantations on runoff, soil erosion, and plant diversity in a semi-arid landscape in southeastern Spain. *Catena*, 65 (1) (2006) : 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.09.003>
- [47] Taiqui L., Martin J., Seva E., Structure, diversité et dynamique des subéraies du paysage rural de Chefchaouen. *Annales de la recherche forestière au Maroc*, 39 (2008): 43-57.
- [48] Rigual A., 1984. Flora y vegetación de la Provincia de Alicante (El paisaje vegetalalicantino). Instituto de Estudios Juan Gil-Albert, Alicante. https://sirio.ua.es/libros/BEducacion/flora_vegetacion/index.htm
- [49] Alrababah, M.A., Biodiversity of semi-arid Mediterranean grasslands: impact of grazing and afforestation. *Applied Vegetation Science*, 10 (2) (2007), 257–264.
- [50] Gómez-Aparicio, L., Zavala, M.A., Bonet, F.J., Zamora, R., Are pine plantations valid tools for restoring Mediterranean forests? An assessment along abiotic and biotic gradients. *Forest Ecology and Management*, 19 (2009) : 2124–2141.
- [51] Bilek L., Remes J., Zahradnik D., Managed vs. unmanaged: Structure of beech forest stands (*Fagus sylvatica* L.) after 50 years of development, Central Bohemia. *Forest Systems*, 20 (1) (2011) : 122–138. https://redib.org/Record/oai_articulo722362-managed-vs-unmanaged-structure-beech-forest-stands-fagus-sylvatica-l-after-50-years-development-central-bohemia
- [52] Riofrío J., del Río M., Pretzsch H., Bravo F., Changes in structural heterogeneity and stand productivity by mixing Scots pine and Maritime pine. *Forest Ecology and Management*, 405(2017): 219-228. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.036>
- [53] Moreno-Fernández D., Cañellas I., Barbeito I., Sánchez-González M., Ledo A., Alternative approaches to assessing the natural regeneration of Scots pine in a Mediterranean forest. *Annals of Forest Science*, 72 (2015) : 569–583. <https://doi.org/10.1007/s13595-015-0479-4>
- [54] Li Y., Xu J., Wang H., Nong Y., Sun G., Yu S., Liao L., Ye S., Long-term effects of thinning and mixing on stand spatial structure: a case study of Chinese fir plantations. *iForest-*

-
- Biogeosciences and Forestry, 14 (2020): 113–121.
<https://doi.org/10.3832/for3489-014>
- [55] Jourdan M., Cordonnier T., Dreyfus P., Riond C., de Coligny F., Morin X., Managing mixed stands can mitigate severe climate change impacts on ecosystem functioning. *bioRxiv*, (2020) : 1–15. <https://doi.org/10.1101/2020.06.13.149856>.
- [56] Albanesi E., Gugliotta O.I., Mercurio I., Mercurio R., Effects of gap size and within-gap position on seedlings establishment in silver fir stands. *iForest–Biogeosciences and Forestry*, 1 (2008): 55–59. <http://www.sisef.it/forest/>
- [57] Bedel J., 1986. Aménagement et gestion des peuplements de pin d'Alep dans la zone méditerranéenne française. Le pin d'Alep et le pin brutia dans la sylviculture méditerranéenne. Options Méditerranéennes: Série Etudes; n. 1986-I, Paris: CIHEAM, pp 109–125.
- [58] Ben-Said M., Ghallab A., Lamrhari H., Carreira J.A., Linares J.C., Taïqui L., Characterizing spatial structure of Abies marocana forest through point pattern analysis. *Forest Systems*, 29 (2) (2020) : e016. <https://doi.org/10.5424/fs/2020292-16754>
- [59] Ledo A., Cañellas I., Barbeito I., Javier F., Calama R. A., Gea-izquierdo G., Species coexistence in a mixed Mediterranean pine forest: Spatio-temporal variability in trade-offs between facilitation and competition. *Forest Ecology and Management*, 322 (2014): 89 – 97. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.02.038>
- [60] Zheng Y., Zhao W., Zhang G., Spatial Analysis of a Haloxylon Ammodendron Plantation in an Oasis-Desert Ecotone in the Hexi Corridor, Northwestern China. *Forests*, 8 (6) (2017): 200: 1–14. <https://doi.org/10.3390/f8060200>
- [61] Cattaneo N., Bravo-Oviedo A., Bravo F., Analysis of tree interactions in a mixed Mediterranean pine stand using competition indices. *European Journal of Forest Research*, 137 (1) (2018): 109–120. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10342-017-1094-8>
- [62] Piraino S., Assessing *Pinus pinea* L. resilience to three consecutive droughts in central-western Italian Peninsula. *iForest–Biogeosciences and Forestry*, 13 (3) (2020): 246. <https://doi.org/10.3832/for3320-013>
-

Annexe

Tableau I.

Inventaire floristique du site d'étude et codes attribués aux espèces dans l'ordination multidimensionnelle NMDS. HA : Herbacée Annuelle, HV : Herbacée Vivace, LV : Ligneuse Vivace, Ph : Phanérophyte, Ch : Chamaephyte, He : Hémicryptophyte, Ge : Géophyte, Th : Thérophyte.

Espèces	Familles	Type Morphologique	Type Biologique	Abréviation
<i>Acacia cyanophylla</i> Lindl.	Fabaceae	LV	Ph	Acacya
<i>Allium roseum</i> L.	Amaryllidaceae	HV	Ge	Allros
<i>Andryala integrifolia</i> L.	Asteraceae	HA	Th	Andint
<i>Anthroxanthum odoratum</i> L.	Poaceae	HV	Ge	Antodo
<i>Arbutus unedo</i> L.	Ericaceae	LV	Ph	Arbuni
<i>Aristolochia baetica</i> L.	Aristolochiaceae	HA	Ge	Aribae
<i>Asperula cynanchica</i> L.	Rubiaceae	HV	Ge	Aspcya
<i>Asphodilus microcarpus</i> Viv.	Liliaceae	HV	Ge	Aspmic
<i>Bellis annua</i> L.	Asteraceae	HA	Th	Belann
<i>Betonica officinalis</i> L.	Lamiaceae	HV	Ge	Betoff
<i>Brachypodium pomelianum</i> Maire	Apiaceae	HA	Th	Brahor
<i>Briza maxima</i> L.	Poaceae	HA	Th	Brimax
<i>Bromus sterilis</i> L.	Poaceae	HA	Th	Broste
<i>Buglossodes arvensis</i> L.	Boraginacées	HA	Th	Bugarv
<i>Calamintha ascendans</i> Jord.	Lamiaceae	HV	He	Calasc
<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	Ericaceae	LV	Ch	Calvul
<i>Carlina hispanica</i> Lam. (= <i>C. corymbosa</i> L.)	Asteraceae	HV	Ge	Carhis
<i>Carlina racemosa</i> L.	Asteraceae	HA	Th	Carrac
<i>Centaureum erythraea</i> Raf.	Gentianaceae	HA	Th	Cenery
<i>Centaurea pullata</i> L.	Asteraceae	HA	Th	Cenpul
<i>Centranthus calcitrapae</i> (L.) Dufr.	Caprifoliaceae	HA	Th	Cencal
<i>Chamaerops humilis</i> L.	Palmaceae	HV	Ch	Chahum
<i>Cistus crispus</i> L.	Cistaceae	LV	Ch	Ciscris
<i>Cistus ladaniferus</i> L.	Cistaceae	LV	Ch	Cislad
<i>Cistus monspeliensis</i> L.	Cistaceae	LV	Ch	Cismon
<i>Cistus salvifolius</i> L.	Cistaceae	LV	Ch	Cissal
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq. (= <i>C. oxyacantha</i> L. subsp. <i>monogyna</i> (Jacq.) Rouy & Gam. = <i>C. maura</i> L.)	Malaceae	LV	Ph	Cramon
<i>Crepis tingitana</i> Salz, ex Ball	Asteraceae	HA	Th	Cretin
<i>Cytinus hypocistis</i> ssp. <i>hypocistis</i> L.	Cytinaceae	HV	Ge	Cythyp
<i>Cytisus linifolius</i> (L.) Lam	Fabaceae	LV	Ch	Cytlin
<i>Daphne gnidium</i> L.	Thymelaeaceae	LV	Ch	Dapgni
<i>Daucus carota</i> L.	Apiaceae	HA	Th	Daucar

Espèces	Familles	Type Morphologique	Type Biologique	Abréviation
<i>Dittrichia viscosa</i> (L.) Greuter (= <i>Inula viscosa</i> (L.) Ait.)	Asteraceae	HV	Ch	Ditvis
<i>Erica arborea</i> L.	Ericaceae	LV	Ch	Eriarb
<i>Erica australis</i> L.	Ericaceae	LV	Ch	Eriaus
<i>Erica scoparia</i> L.	Ericaceae	LV	Ch	Erisco
<i>Erica umbellata</i> Loeft.	Ericaceae	LV	Ch	Eriumb
<i>Eryngium tricuspidatum</i> L.	Apiaceae	HV	He	Erytri
<i>Eucalyptus gomphocephala</i> DC	Myrtaceae	LV	Ph	Eucgom
<i>Galactites tomentosa</i> Moench	Asteraceae	HA	Th	Galtom
<i>Genista tournefortii</i> Spach	Fabaceae	LV	Ch	Gentou
<i>Gladiolus communis</i> L. (= <i>G. byzantinus</i> Mill.)	Iridaceae	HV	Ge	Glacom
<i>Halimium halimifolium</i> (L.) Willk.	Cistaceae	LV	Ch	Halhal
<i>Hedypnois glabra</i> F.W.Schmidt (= <i>Hedypnois rhagadioloides</i> (L.) F.W.Schmidt)	Asteraceae	LV	Ch	Hydgla
<i>Helianthemum tuberaria</i> (L.) Mill. (= <i>Tuberaria lignosa</i> (Sweet) Samp.)	Cistaceae	HA	Th	Helacu
<i>Hypochaeris achyrophorus</i> L.	Asteraceae	HA	Th	Hypach
<i>Inula crithmoides</i> L.	Asteraceae	LV	Ch	Inucri
<i>Lavandula stoechas</i> L.	Lamiaceae	LV	Ch	Lavsta
<i>Leontodon tingitanus</i> (Boiss. & Reut.) Ball	Asteraceae	HA	Th	Leotin
<i>Lithodora prostrata</i> (Loisel.) Griseb. subsp. <i>lusitanica</i> (Samp.) Valdés (= <i>L. diffusa</i> (Lag.) I.M. Johnston = <i>Lithospermum fruticosum</i> L. subsp. <i>diffusum</i> (Lag.) Maire)	Boraginaceae	LV	Ch	Litpro
<i>Lonicera implexa</i> Ait.	Rosaceae	LV	Ph	Lonimp
<i>Medicago lupulina</i> L.	Fabaceae	HA	Th	Medlup
<i>Mentha pulegium</i> L.	Lamiaceae	HV	Ch	Menpul
<i>Mentha suaveolens</i> Ehrh. (= <i>M. rotundifolia</i> auct. non (L.) Huds.	Lamiaceae	HV	Ch	Menrot
<i>Myrtus communis</i> L.	Myrtaceae	LV	Ch	Myrcom
<i>Ornithogalum algeriense</i> Jord. & Fourr. subsp. <i>algeriense</i> (= <i>O. comosum</i> L.)	Asparagaceae (ex-Liliaceae)	HV	Ge	Ornalg
<i>Oryzopsis miliacea</i> (L.) Röser & H.R.Hamasha	Poaceae	HV	Ge	Orymil
<i>Osyris alba</i> L.	Santalaceae	LV	Ch	Osyalb
<i>Oxalis corniculata</i> L.	Oxalidaceae	HV	Ge	Oxacor
<i>Pedicularis sylvatica</i> L. subsp. <i>lusitanica</i> (Hoffmanns. & Link) Cout.	Orobanchaceae	HA	Th	Pedsyl
<i>Phagnalon saxatile</i> (L.) Cass.	Asteraceae	HA	Th	Phasax
<i>Phillyrea angustifolia</i> L.	Oleaceae	LV	Ph	Phiang
<i>Pinus canariensis</i> Chr. Smith	Pinaceae	LV	Ph	Pca
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	Pinaceae	LV	Ph	Ph
<i>Pinus pinaster</i> Ait. var. <i>iberica</i> H. del Villar	Pinaceae	LV	Ph	Pprib

Espèces	Familles	Type Morphologique	Type Biologique	Abréviation
<i>Pinus pinaster</i> Ait. subsp. <i>hamiltonii</i> (Ten.) H. del Villar var. <i>maghrebiana</i> H. del Villar	Pinaceae	LV	Ph	Pprmog
<i>Pinus pinea</i> L.	Pinaceae	LV	Ph	Pp
<i>Pistacia lentiscus</i> L.	Anacardiaceae	LV	Ch	Pislen
<i>Polygonum aviculare</i> L.	Polygonaceae	HA	Th	Polavi
<i>Pulicaria odora</i> (L.) Rchb.	Asteraceae	HV	Ge	Pulodo
<i>Quercus coccifera</i> L.	Fagaceae	LV	Ph	Quecoc
<i>Quercus suber</i> L.	Fagaceae	LV	Ph	Quesub
<i>Ranunculus paludosus</i> Poiret	Ranunculaceae	HV	He	Ranpal
<i>Rubia peregriana</i> L.	Rubiaceae	HV	Ge	Rubper
<i>Salix alba</i> L.	Salicaceae	LV	Ph	Salalb
<i>Sanguisorba minor</i> Scop.	Rosaceae	HV	Ge	Sanmin
<i>Schoenus nigricans</i> L.	Cyperaceae	HV	Ge	Schnig
<i>Scolymus hispanica</i> L.	Asteraceae	HA	Th	Scohis
<i>Taraxacum officinale</i> Weber ex F.H.Wigg. agg.	Asteraceae	HV	Ge	Taroff
<i>Teucrium fruticans</i> L.	Lamiaceae	LV	Ch	Teufu
<i>Tolpis barbata</i> (L.) Gaertn.	Asteraceae	HA	Th	Tolbar
<i>Trifolium arvense</i> L.	Fabaceae	HA	Th	Triarv
<i>Urginea maritima</i> (L.) Baker	Liliaceae	HV	Ge	Urgmar