



Rôle facilitateur d'une plante nurse (*Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica* (C. Presl) Nyman dans la reconstitution de la cédraie anthropisée du Parc national du Djurdjura (Algérie)

Rachid MEDDOUR
DZ-15000 TIZI OUZOU
rachid_meddour@yahoo.fr

Ouahiba SAHAR
DZ-15000 TIZI OUZOU
o.sahar@yahoo.fr

Ldjida BITAM
Gr-73100 CRETE
bitam.ldjida@gmail.com

Dehbia BELHACENE
DZ-15000 TIZI OUZOU
dehbibel@outlook.fr

Résumé. Un diagnostic phytoécologique comprenant des mesures dendrométriques (circonférence, diamètre et hauteur moyenne) et biologiques (sexe, port) des individus de genévrier a été entrepris à l'intérieur même de ses touffes. Des relevés floristiques des espèces végétales vasculaires présentes au sein de chaque touffe de genévriers et la mesure de variables stationnelles (pente, altitude, exposition) régissant les interactions au sein de ces junipéraies ont été effectués. Pour apprécier les diverses corrélations qui peuvent exister entre les dimensions des touffes de l'espèce facilitatrice *Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica*, ses caractères biologiques et les espèces facilitées, à travers les paramètres diversité spécifique du cortège floristique, nombre de ligneux forestiers et d'individus de l'espèce cible *Cedrus atlantica* au sein des touffes de genévriers, nous avons soumis à une analyse multivariée le tableau de données des 39 relevés et 16 variables mesurées ou estimées au niveau des trois sites d'étude. Les résultats permettent de mettre en relief la nature des interactions positives de ce genévrier dans la reconstitution des cédraies. Ces interactions, traduites par le rôle d'abri fourni par les touffes de genévrier hémisphérique, favorisent l'émergence d'un microclimat et d'un microhabitat adéquats à l'installation des espèces inféodées à la cédraie, les protégeant ainsi de la rudesse écologique, des perturbations anthropiques et surtout du surpâturage, qui reste le problème majeur menaçant la remontée biologique et la biodiversité floristique du Parc national du Djurdjura. Dans ce cas, il serait envisageable d'utiliser ce processus de facilitation pour la restauration écologique de la cédraie dégradée au Djurdjura.

Mots-clés : interaction positive, montagne méditerranéenne, ligneux forestiers, genévrier hémisphérique, Cèdre de l'Atlas, Djurdjura.

Abstract. The main objective of this study is to determine if *Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica*, a nurse plant, plays a facilitating role in the dynamics of the cedar forest in the mountain of Djurdjura (Algeria). In order to highlight the possible effect of the presence/absence of cedar seed trees on vegetation dynamics and the natural regeneration of this species, the choice of study sites takes into account three different phytoecological situations: a dense stand of cedar, a cedar-pasture ecotone area and a juniper formation without cedar seed trees. To appreciate the various correlations that may exist between the nurse plant, its biological traits and the facilitated species, through different parameters, such as plant diversity, number of tall scrubs and recovery of *Cedrus atlantica* individuals within juniper thickets, we used multivariate analysis for the treatment of the data collected. The results allow highlighting the nature of the positive interactions of this juniper in the dynamics of the cedar forest. These interactions, rendered by the role provided by the patches of hemispherical juniper, favor the rise of a microhabitat adequate to the installation of the plant species linked to the cedar stand, thus protecting them from ecological stress in mountain and anthropogenic disturbances. Among these latter, overgrazing remains the major problem threatening the biological recovery and biodiversity of the National Park of Djurdjura. It would be likely to use this facilitation process for ecological restoration of the degraded cedar forest in Djurdjura.

Keywords: positive interaction, nurse effect, Mediterranean mountain, Juniper shrub, Atlas cedar, Djurdjura Mountain.

Introduction

La facilitation, interaction interspécifique positive qui bénéficie à au moins un des partenaires sans défavoriser le second, apparaît de plus en plus comme un processus important (Callaway, 1995 ; Brooker *et al.*, 2008). En effet, il existe dans la nature des interactions positives pouvant amener un végétal à faciliter l'implantation ou le développement d'une ou plusieurs autres espèces végétales (Michalet *et al.*, 2006 ; Dardevet *et al.*, 2018), spécialement dans des conditions environnementales contraignantes (Bertness et Callaway, 1994 ; Callaway et Walker, 1997 ; Callaway *et al.*, 2002). Ceci est le cas des écosystèmes montagnards méditerranéens (Castro *et al.*, 2002, 2004). Le syndrome de la plante nurse est un exemple aujourd'hui bien documenté d'interactions positives entre plantes (Lopez *et al.*, 2007), dans lequel les individus adultes de l'espèce nurse augmentent les performances (installation et croissance) des plantules d'une autre espèce par facilitation directe et/ou indirecte (Callaway, 1995 ; Ren *et al.*, 2008). Le plus souvent, par facilitation directe, les plantes nurses améliorent les conditions microclimatiques et les propriétés physico-chimiques du sol, en protégeant les plantes cibles contre les températures extrêmes et la sécheresse, et en augmentant l'humidité et la matière organique du sol (Padilla et Pugnaire, 2006 ; Caldeira *et al.*, 2014 ; Talamo *et al.*, 2015). D'autre part, par facilitation indirecte, la protection contre la pression et le piétinement des herbivores et l'élimination des plantes compétitives potentielles font également partie des avantages, dont peuvent bénéficier indirectement les plantules à proximité de la plante nurse, qui leur confère un refuge (Callaway, 1995 ; Caldeira *et al.*, 2014 ; Talamo *et al.*, 2015).

Il est connu que les espèces végétales formant des coussinets sont d'excellents candidats pour étudier les interactions positives interspécifiques (Reid *et al.*, 2010). Nous suggérons que l'établissement et la croissance de plantules d'espèces forestières seraient facilités sous la canopée des coussinets, souvent épineux, de *Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica* (C. Presl) Nyman, du fait notamment des conditions édaphiques et microclimatiques favorables qu'il fournit à ces plantules.

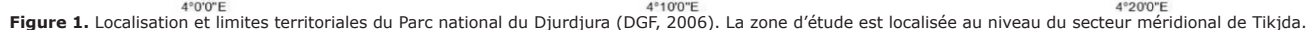
Notre objectif est ainsi d'étudier ce phénomène de facilitation entre les plantes en prenant pour exemple un écosystème particulier, celui de la végétation organisée en patchs du genévrier hémisphérique. Il s'agit de déterminer si ce genévrier joue un

Ces junipéraies rampantes ont été déjà étudiées au Djurdjura sur le plan phytosociologique, phytoécologique et phytodynamique par Wojterski (1988), Quézel et Barbero (1989), Mediouni et Yahi (1989, 1994), Addar *et al.* (2004), Yahi (2007) et Meddour (2010). Par contre, leur rôle dans le processus de facilitation en tant que plante nurse n'a pas été analysé au Maghreb. En Algérie, plus précisément au Djurdjura, le rôle de *Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica* en tant qu'espèce facilitatrice des jeunes semis de *Cedrus atlantica* a été, bien que brièvement, signalé dans des études antérieures (Quézel et Barbero, 1989 ; Mediouni et Yahi, 1989, 1994 ; Addar *et al.*, 2004). Cet effet nurserie a également été remarqué sur le Moyen Atlas au Maroc par Rhanem (2015, 2017, 2018). Par contre, Beghami (2013) ne mentionne aucun rôle facilitateur du *Juniperus hemisphaerica* aux Aurès. Toujours au Maroc, à l'exception de quelques études en conditions contrôlées sur *Cupressus atlantica* Gaussen (Ouahmane *et al.*, 2006 ; Duponnois *et al.*, 2011 ; Hafidi *et al.*, 2013), le rôle joué par la facilitation et les plantes nurses demeure encore peu connu en région sud-méditerranéenne, et plus spécialement au Maghreb.

Modèle biologique : *Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica* (C. Presl) Nyman

Au Maghreb, sa forme de croissance habituelle comprend des sous-arbrisseaux bas, avec une architecture de branches très imbriquées, à port souvent prostré, étalé et rampant, agglomérés en touffes ou en coussins compacts et formant des colonies denses, souvent hémisphériques (Quézel et Médail, 2003 ; Rhanem, 2018), dont la hauteur est de 30 à 50 cm en moyenne (Quézel et Barbero, 1989). Ce genévrier en touffes coalescentes d'un vert foncé, denses, larges et arrondies, visibles de loin, donne aux paysages montagnards du Maroc et de l'Algérie une physionomie bien particulière (Rhanem, 2016, 2018), distincte du paysage végétal des pelouses écorchées environnantes (Wojterski, 1988 ; Quézel et Barbero, 1989). L'ensemble de ces touffes piquantes peut fournir une niche de régénération de tout premier plan et une « excellente structure d'accueil » pour les semis de cèdres (Addar *et al.*, 2016).

Le Parc national du Djurdjura est situé au nord de l'Algérie, à 150 km au sud-est d'Alger. Il intègre des portions des wilayas de Tizi Ouzou au nord et de Bouira au sud (Figure 1). Le Parc national du Djurdjura, qui s'étale sur une longueur de 30 km et une largeur de 2 à 6 km environ, englobe une superficie de 18 550 ha (DGF 2006). La zone d'étude est localisée au niveau du secteur de Tikjda dans sa portion méridionale (36° 26' 57" à 36° 28' 02" nord, 04° 06' 40" à 04° 11' 00" est).



Au niveau du secteur de Tikjda, les sols développés sur calcaires dolomitiques sont calcimagnésiques, humifères, de type A/C, et ceux évoluant sur substrat gréseux sont des sols bruns forestiers, acides, de type A(B)C (Benmouffok, 1995). Du point de vue climatique, dans le secteur de Tikjda, les précipitations moyennes annuelles varient de 1 120 à 1 350 mm et la moyenne des températures annuelles oscille entre 10,5 et 11,5 °C, entre 1 450 et 1 650 m d'altitude (Larbi, 2015). La station de Tikjda (1 470 m d'altitude) présente une période sèche et chaude de deux mois et demi (mi-juin à fin août), avec un stress hydrique de moindre importance au-delà de 1 500 m (Meddour, 2010 ; Larbi, 2015). Le bioclimat est humide, à variante fraîche ($m = 1$ à 1,8 °C), pour la période 1990 à 2009 (Larbi, 2015). L'enneigement, très variable selon les années, est de 15 à 20 jours en moyenne par an (Benmouffok, 1995). Ces dernières décennies un déficit de l'ordre de 15 % est observé pour la neige et les précipitations (DGF, 2006). Les forêts présentes dans le secteur de Tikjda sont essentiellement distribuées entre cédraie pure, chênaie verte pure et forêts mixtes, où co-dominent le chêne vert (*Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) et le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) (DGF 2006). Dans la forêt de Tigounatine à Tikjda, la cédraie cède la place en altitude à des pelouses à xérophytes épineuses en coussinets (Quézel et Barbero, 1989). Il faut surtout y relever la fréquence et l'abondance d'une structure arbustive rampante à *Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica*. Cette formation occuperait, selon Ménard et Vallet (1988), 39 % du territoire de Tikjda, y compris sous couvert du cèdre.

Méthode d'étude

Le choix des stations d'étude dans le secteur de Tikjda prend en considération trois situations phytoécologiques différentes présentes sur le terrain, sur une large amplitude altitudinale (entre 1 460 et 1 820 m) (Figure 2) :

- station E, située au djebel Tigounatine près du chalet du Kef, en zone écotone à l'interface cédraie-pelouse écorchée ;

- station C, dans la forêt de Tigounatine, sous cédraie assez dense, où le genévrier s'infiltré largement et constitue des nappes dans le sous-bois. Les deux stations E et C sont localisées à une altitude moyenne de 1 500 m ;

- station J, située à Aswel, une junipéraie ouverte en absence de semenciers de cèdre et de tout peuplement de cette espèce à proximité, à une altitude moyenne de 1 800 m. L'objectif est de faire ressortir l'effet éventuel de la présence/absence des semenciers de cèdre sur la régénération naturelle de cette essence.

Au sein de chaque station retenue, le choix des points de collecte des données s'est fait en fonction de la présence des touffes ou « patches » de *Juniperus hemisphaerica*, avec des dimensions et ports différents. Nous avons ainsi échantillonné treize touffes de genévrier hémisphérique dans chaque station, soit au total 39 patches. Chacun des patches de genévriers représente une unité d'échantillonnage, dont la superficie variable est celle du patch lui-même.

Six groupes de données et seize variables ont été mesurés ou estimés sur les 39 patches de genévrier échantillonnés. Ce sont des :

- données floristiques : il s'agit d'un inventaire exhaustif de toutes les espèces végétales herbacées et ligneuses présentes dans les touffes de genévrier, en leur attribuant un indice d'abondance-dominance, suivant la méthode de Braun-Blanquet (cf. Delpech, 1996 ; Alcaraz Ariza, 2013), afin d'évaluer la richesse spécifique, la fréquence des espèces ligneuses et herbacées forestières facilitées, en particulier celles du cèdre de l'Atlas ;

- mesures des descripteurs stationnels : nous avons noté l'altitude (en m), la pente (en %), l'exposition du versant et le recouvrement de la végétation (en %) (cf. Branthomme *et al.*, 2009) ;

- mesures biométriques : la circonférence et le diamètre (suivant la ligne de plus grande pente) des touffes de genévrier ont été mesurés à l'aide d'un décimètre et la hauteur moyenne avec un jalon gradué (cf. Griffiths et McClenaghan, 2011) ;

- biologie des touffes : le sexe des individus a été déterminé par la présence de chatons ou de galbules (Griffiths et McClenaghan, 2011). Le port du genévrier hémisphérique a été noté comme érigé (hauteur > 50 cm) ou prostré (hauteur < 50 cm) (Barbero *et al.*, 1990b) ;

- estimations de l'action anthropique : le (sur)pâturage, le piétinement par le bétail et la pollution (présence de déchets solides), principaux facteurs d'anthropisation au niveau du Parc national du Djurdjura, ont été notés comme présents ou absents.

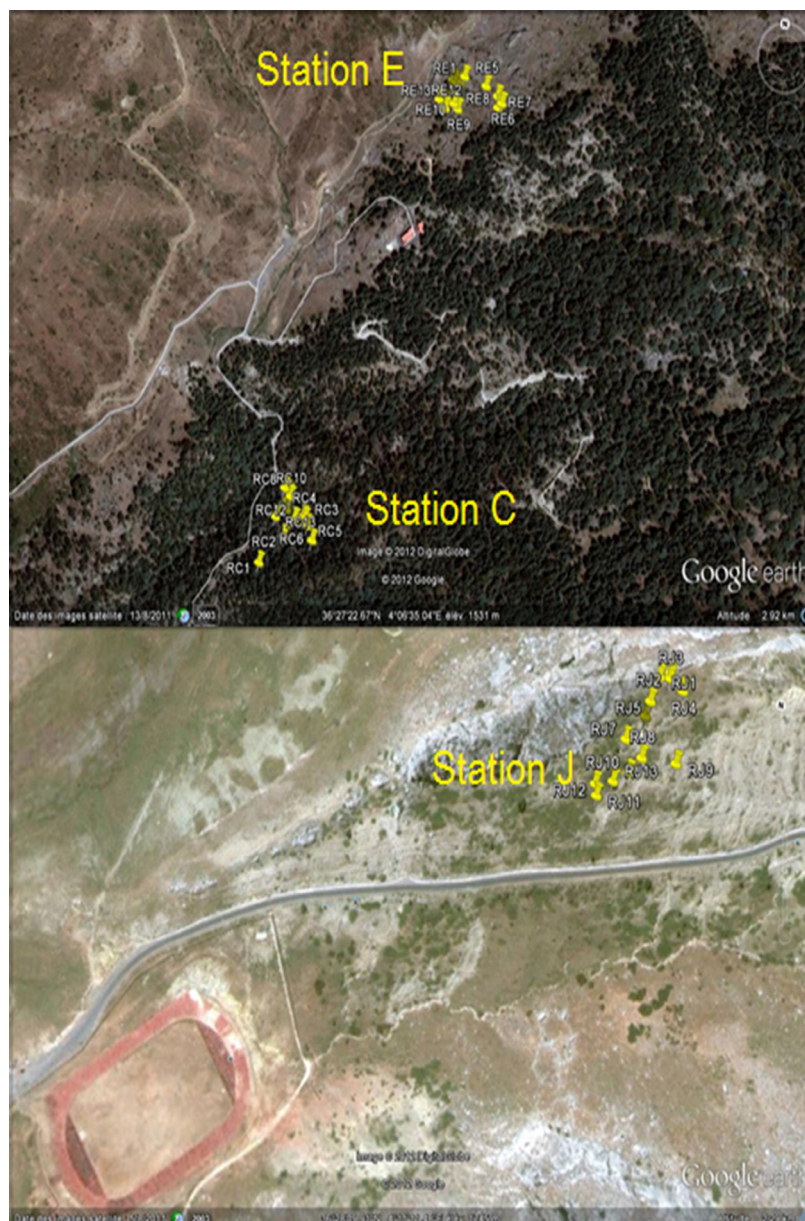


Figure 2. Localisation des stations choisies (station 1 ou E, station 2 ou C, station 3 ou J) et des patches sondés dans le site de Tigounatine (en haut) et celui d'Aswel (en bas) dans le secteur méridional de Tikjda, Parc national du Djurdjura (images Google Earth, 2012).

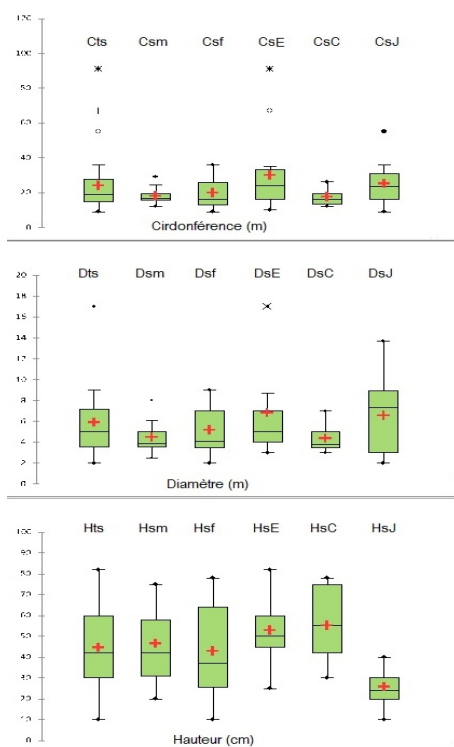


Figure 3. Comparaison de la distribution des dimensions des patches entre les trois stations, les sujets mâles et femelles et les valeurs de toutes les stations confondues. C : circonférence, D : diamètre, H : hauteur, ts : toutes stations confondues, sf : sujets femelles ; sm : sujets mâles, sc : station C, se : station E, sj : station J.

Pour le traitement des données, nous avons fait appel aussi bien aux méthodes univariées (diversité spécifique) qu'aux méthodes multivariées, telles que l'analyse en composantes principales (corrélations entre les variables). La diversité spécifique (ou diversité α) est tout simplement le nombre d'espèces coexistant dans un habitat uniforme (Marcon, 2018). L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée à l'aide du logiciel de statistique XLSTAT, version 2019 (Addinsoft, 2020). Pour apprécier les diverses corrélations qui peuvent exister entre les variables explicatives (dimensions des patches de l'espèce facilitatrice, caractères biologiques, facteurs stationnels et anthropiques) et les variables à expliquer (espèces facilitées, à travers les paramètres diversité spécifique du cortège floristique, nombre de ligneux et d'herbacées forestiers, y compris *Cedrus atlantica*, au sein des touffes de genévrier), nous avons soumis à l'ACP le tableau de données des 39 relevés/patches et 16 variables mesurées ou estimées.

Résultats

Caractérisation biométrique et biologique (genre et port) des patches de genévrier hémisphérique

Les dimensions moyennes (circonférence, diamètre, hauteur) des patches de genévrier hémisphérique sont résumées sur le [tableau 1](#) et la [figure 3](#).

Les patches de genévrier hémisphérique échantillonnés ($N = 39$) ont une circonférence très variable, comprise entre 9 et 91 m, avec une moyenne de $24,14 \text{ m} \pm 16,10$ et se présentent avec un diamètre variable, se situant entre 2 et 17 m, avec une moyenne de $5,92 \text{ m} \pm 3,39$. La hauteur moyenne des touffes de genévrier hémisphérique est assez variable et oscille entre 10 et 82 cm, avec une moyenne de $44,67 \text{ cm} \pm 20,48$.

Par ailleurs, les pieds femelles ($n = 18$) sont de plus grandes dimensions que les pieds mâles ($n = 19$) ; on ne tient pas compte dans cette évaluation des deux patches où plusieurs individus de sexe différents sont agrégés : circonférence moyenne de $19,81 \pm 8,35 \text{ m}$ *versus* $17,97 \pm 4,15 \text{ m}$ et diamètre moyen de $5,17 \pm 2,32 \text{ m}$ contre $4,48 \pm 1,38 \text{ m}$. En revanche, les individus femelles sont plus rampants et de moindre hauteur en moyenne que les mâles ($43,0 \pm 22,29 \text{ cm}$ vs $44,47 \pm 17,94 \text{ cm}$).

La comparaison interstationnelle des dimensions moyennes permet de constater que les patches ($n = 13$) de genévrier hémisphérique de la station C ont une circonférence et un diamètre nettement inférieurs aux moyennes de l'échantillon toutes stations confondues. À l'inverse, au niveau des autres stations J et E, les patches ($n = 13$ chacune) ont des dimensions beaucoup plus grandes que celles des moyennes de tout l'échantillon. Concernant la hauteur moyenne, celle-ci est supérieure à la moyenne de l'échantillon global dans le cas des stations C et E et nettement inférieure pour la station J. Ainsi, dans la station J, les patches de genévrier sont relativement plus grands, plus étendus et deux fois moins hauts, formant de larges tapis bas et rampants.

Le nombre de sujets mâles (19, soit 49 %) et femelles (18, 46 %) est bien équilibré (sex ratio = 1,06). On note la présence de touffes où les individus des deux sexes sont agrégés (deux patches, 5 %). D'autre part, le nombre de touffes à port prostré (hauteur moyenne < 50 cm) domine légèrement celui à port semi-érigé (hauteur moyenne 54-78 cm), soit 56 *versus* 44 %. La forme semi-érigée traduit le caractère héliophile du genévrier et sa concurrence pour la lumière sous couvert arboré de *Cedrus atlantica*. La forme érigée (100 à 150 cm) n'est pas observée dans les stations étudiées.

Corrélations entre les caractéristiques dimensionnelles et biologiques de l'espèce facilitatrice, les variables anthropiques et écologiques et les espèces facilitées

L'examen de la matrice des corrélations entre variables ([Tableau 2](#)) et du plan factoriel principal des variables, qui explique près de 47 % de l'information ([Figure 4](#)), fait ressortir plusieurs corrélations significatives existant entre :

- les variables explicatives, liées aux dimensions et à la biologie des touffes de genévrier hémisphérique aux perturbations anthropiques (surpâturage, piétinement du bétail, pollutions) et aux facteurs écologiques stationnels (altitude, pente, etc.) ;

- les variables à expliquer, traduisant la facilitation (diversité spécifique, nombre de ligneux installés dans les touffes de genévrier, abondance du cèdre).

Nous remarquons que les dimensions (circonférence, diamètre) des touffes de genévrier sont significativement corrélées à la diversité spécifique, c'est-à-dire au nombre total d'espèces végétales que ces genévriers abritent et facilitent (0,421 et 0,409 respectivement). Ces mêmes dimensions des touffes sont également corrélées au nombre de ligneux (y compris le cèdre) installés dans ces touffes (0,393

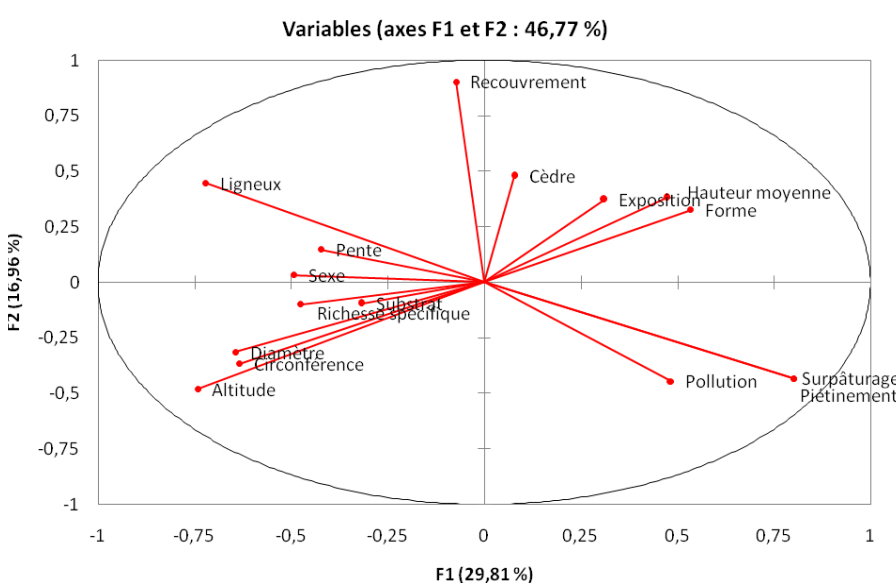


Figure 4. Analyse en composantes principales : cercle des corrélations entre les seize variables mesurées ou estimées des données biométriques, écologiques et anthropiques

et 0,476 respectivement). D'autre part, les sujets femelles, qui sont de plus grande dimension que les sujets mâles, toujours prostrés et de faible hauteur, abritent un plus grand nombre de ligneux (0,441). Concernant les facteurs mésologiques, on constate que la diversité spécifique et le nombre de ligneux sont plus importants avec les fortes pentes (0,335 et 0,357 respectivement). Ce facteur écologique représente de ce fait un frein naturel à l'action perturbatrice anthropozoiq, notamment dans la station escarpée d'Aswel. D'ailleurs, le piétinement du bétail et le surpâturage, facteurs de forte perturbation du milieu au Djurdjura, sont inversement corrélés (- 0,625) au nombre de ligneux installés, y compris le cèdre, au sein des touffes de genévrier hémisphérique.

Analyse des aspects floristiques de la facilitation par les touffes de genévriers hémisphériques

Diversité spécifique

Sur l'ensemble des patchs de genévrier hémisphérique ($N = 39$), nous avons inventorié 91 plantes vasculaires (herbacées et ligneuses) au total installées et facilitées au sein de ces touffes. Néanmoins, un nombre appréciable de ces espèces (32, soit 35 % du total) n'apparaît qu'une seule fois. Par ailleurs, toutes les espèces végétales inventoriées sur l'ensemble des patchs n'ont pas la même signification écologique et ne sont pas strictement satellisées à la cédraie. Seules 37 espèces ligneuses et herbacées (40,6 % du total) sont inféodées à la cédraie, alors que les autres sont à large amplitude écologique et présentes dans les pelouses environnantes.

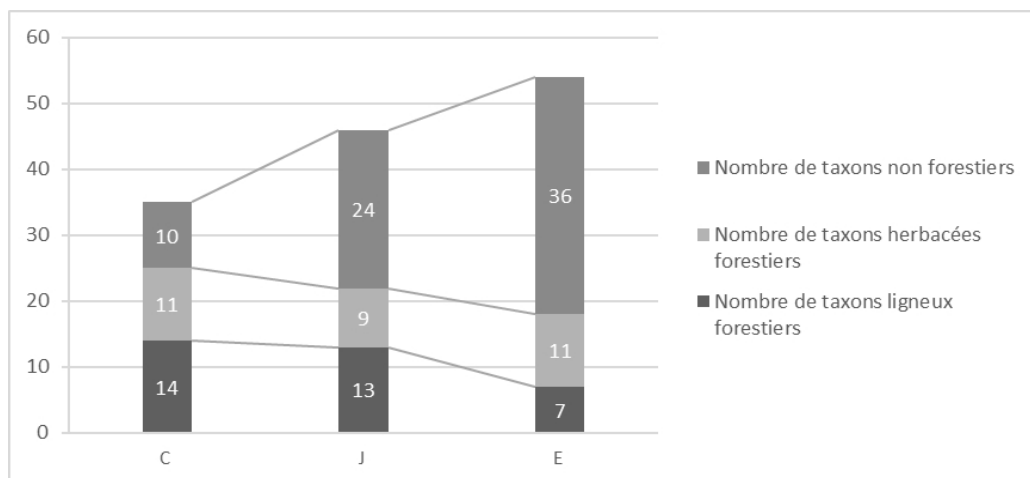


Figure 5. Richesse spécifique des différentes stations ($n = 13$ patchs pour chacune des stations) en taxons forestiers ligneux, taxons herbacés forestiers et taxons non forestiers. C : cédraie, J : junipéraie, E : écotone.

La diversité spécifique, toutes espèces confondues, d'une station à une autre diffère et décroît comme suit : 54 taxons végétaux (58,2 % du total) recensés au total dans la station E, 46 taxons (49,4 %) dans la station J et seulement 35 taxons (37,4 %) dans la station C (Figure 5). On remarque que la station E présente la diversité spécifique la plus élevée ; en revanche, le nombre des espèces forestières significatives (soit 18 taxons) y est plus faible comparativement aux stations C (25 taxons) et J (22 taxons). En ce qui concerne la facilitation, c'est de ce fait dans les stations C et J que les patchs à genévrier hémisphérique sont les plus riches qualitativement, puisqu'ils abritent à peu près le même nombre d'espèces forestières herbacées (9-11), mais un nombre d'espèces ligneuses plus important 13-14 *versus* 7 seulement en station E. Dans cette dernière, les patchs sont soumis à une plus forte perturbation anthropique (piétinement et pâturage bovin intense) par rapport aux deux autres stations, qui augmente sa diversité floristique par un apport en espèces herbacées fugaces.

Fréquence des espèces ligneuses et herbacées forestières facilitées par les touffes de genévrier hémisphérique

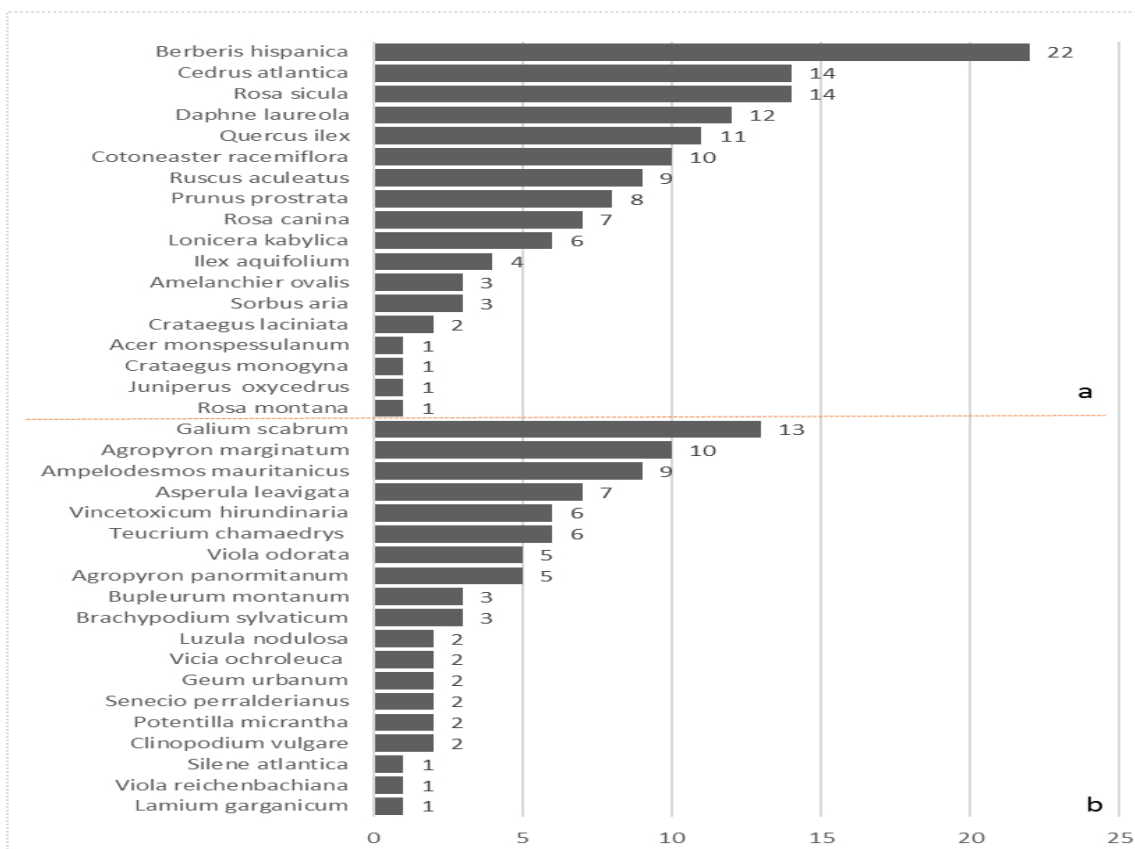


Figure 6. Fréquence des espèces forestières recensées dans les patchs de genévrier hémisphérique ($n = 39$) au Djurdjura méridional : a. ligneuses, b. herbacées.

Près d'une vingtaine d'espèces ligneuses inféodées à la cédraie sont installées et se développent au sein de l'ensemble des patchs de genévriers hémisphériques, avec une fréquence très variable (Figure 6a). Ce sont par ordre de fréquence d'occurrence décroissante (de 22 à 2 patchs) : *Berberis hispanica* Boiss. & Reut., *Rosa sicula* Tratt., *Daphne laureola* L., *Cotoneaster granatensis* Boiss., *Quercus ilex* L. subsp. *balota* (Desf.) Samp., *Ruscus aculeatus* L., *Prunus prostrata* Labill., *Rosa canina* L., *Lonicera kabylica* (Batt.) Rehder, *Ilex aquifolium* L., *Amelanchier ovalis*

Medik. et *Sorbus aria* (L.) Crantz, *Crataegus laciniata* Ucria, alors qu'*Acer monspessulanum* L., *Rosa montana* Chaix ex Vill., *Crataegus monogyna* Jacq. et *Juniperus oxycedrus* L. n'apparaissent qu'une fois sur l'ensemble des patches échantillonnés.

D'autre part, une vingtaine d'espèces herbacées forestières, le plus souvent humicoles et sciaphiles, faisant partie du cortège habituel de la cédraie, est également installée au sein de l'ensemble des patches, avec des fréquences variables (Figure 6b). *Galium scabrum* L. est l'espèce la plus souvent facilitée, présente dans treize patches, soit 33 % de l'ensemble des patches échantillonnés. Viennent ensuite, avec une fréquence d'occurrence comprise entre 10 et 3 : *Agropyron marginatum* H. Lindb., *Asperula laevigata* L., *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) T. Durand & Schinz, *Teucrium chamaedrys* L., *Vincetoxicum hirundinaria* Medik., *Agropyron panormitanum* Parl., *Viola odorata* L., *Brachypodium sylvaticum* (Huds.) P. Beauv. et *Bupleurum montanum* Coss. Une dizaine d'autres espèces herbacées forestières n'est présente qu'avec une très faible fréquence d'occurrence (une à deux fois).

L'espèce cible (*Cedrus atlantica*) est l'une des espèces forestières les plus fréquemment facilitées, présente souvent à l'état de jeunes individus avec quatorze occurrences, soit dans 36 % des patches échantillonnés. Le nombre de patches abritant des sujets de cèdre est néanmoins variable selon les stations (Tableau 3). L'installation et la croissance des jeunes plants de cèdre se font surtout dans les stations C (sept patches) et E (six patches), avec des abondances-dominances nettement plus importantes en station C, sous cédraie. Les plants de cèdre sont par contre presque absents au niveau des patches de la station J (un patch sur treize), en raison probablement du manque de semenciers dans et au voisinage de cette station d'Aswel. Enfin, comme pour le cèdre, la fréquence de chaque espèce forestière recensée, c'est-à-dire le nombre de patches où l'espèce est présente, est également très variable entre les stations. Cette fréquence est comparable puisque nous avons considéré le même nombre de patches pour chacune des stations ($n = 13$).

Discussion et conclusion

En raison de leur petite taille et de leur forme compacte, les plantes en coussinets, telles que *Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica*, qualifiées de « champion of plant facilitation » (Reid *et al.*, 2010), favorisent le développement d'un microbiote dans leur canopée (Cavieses *et al.*, 2002). Ces espèces pionnières, héliophiles, piquantes et non appétantes, agissent comme plante nurse pour d'autres plantes, facilitent en altitude l'installation au sein de leurs touffes d'espèces sciaphiles, sensibles au pâturage, notamment des ligneux forestiers, tout en améliorant les conditions environnementales, les conditions de germination et en protégeant les semis du pâturage (Rousset et Lepart, 1999 ; Fady et Médail, *in* Quézel et Médail, 2003 ; Saïd *et al.*, 2003 ; Thomas *et al.*, 2007). Ces plantes en coussinets fournissent aux espèces forestières un microhabitat plus favorable à leur installation que dans les zones ouvertes adjacentes, en leur servant de refuge contre le piétinement et en atténuant la pression d'herbivorie (García et Obeso, 2003 ; Cuevas *et al.*, 2013). Par ailleurs, ces buissons rampants peuvent jouer un rôle clé dans le processus de recolonisation en altitude et accélèrent l'implantation d'arbres et d'arbustes forestiers au niveau des zones surpâturées, en raison de l'effet nurserie qu'ils produisent (Quézel et Médail, 2003).

Au Djurdjura méridional, dans le secteur de Tikjda, les formations à *Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica* occupent une place importante et remarquable du point de vue physiologique, structural et fonctionnel dans les trois habitats écologiques étudiés. Les valeurs moyennes des dimensions de l'ensemble des touffes de genévrier sondées permettent de caractériser la population à Tikjda au niveau de l'ensemble des stations écologiques (circonférence de $24,14 \pm 16,1$ m, diamètre $5,92 \pm 3,39$ m, hauteur $44,67 \pm 20,48$ cm). Ces dimensions sont généralement grandes pour la circonférence et le diamètre et petites pour la hauteur, en relation avec la physiologie le plus souvent large, rampante et prostrée du genévrier hémisphérique au Djurdjura. Les données biométriques comparatives (Maroc, Crimée, Angleterre) sur le genévrier hémisphérique permettent de constater une grande variabilité dimensionnelle, mais en général la circonférence varie de 1 à 17 m, le diamètre est compris entre 1 et 7 m et la hauteur entre 20 et 70 cm (Griffiths et McClenaghan, 2011 ; Ruguzova, 2012 ; Rhanem, 2017, 2018), correspondant le plus souvent à des morphes altitudinaux prostrés ou semi-érigés, très étendus et tapissants, tout comme dans le secteur de Tikjda au Djurdjura méridional. En outre, sur tout le territoire du Djurdjura, les individus mâles sont en moyenne de 49 % contre, 51 % d'individus femelles chez le genévrier hémisphérique (Toumi, 2015). Leur proportion est donc équilibrée comme à Tikjda. En effet, les populations matures de *Juniperus communis* sont souvent en proportions égales pour les individus des deux sexes (Thomas *et al.*, 2007).

De par leurs caractères physiologiques et structuraux, les patches de genévrier hémisphérique jouent un rôle manifeste dans l'installation et le développement du cèdre de l'Atlas et des espèces forestières qui lui sont inféodées, notamment des ligneux forestiers, traduisant clairement le processus de facilitation et le rôle de plante nurse de *Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica* au Djurdjura méridional. Nos résultats permettent de mettre en relief de façon indiscutable la nature des interactions positives du genévrier hémisphérique avec le cèdre et les espèces forestières qui lui sont liées au Djurdjura. Plusieurs corrélations significatives existent entre les variables liées aux dimensions des touffes de genévrier hémisphérique, avec celles des paramètres traduisant la facilitation. Le diamètre et la circonférence des touffes de genévriers sont significativement et positivement corrélés à la diversité spécifique, au nombre de ligneux forestiers, y compris le cèdre, installés dans ces touffes. Ainsi, les grandes dimensions de touffes de genévrier jouent un rôle capital dans l'installation des espèces en particulier ligneuses. Par ailleurs, les différences des dimensions selon le genre de la plante nurse peuvent avoir une conséquence sur la facilitation et l'effet nurserie (cf. Verdu *et al.*, 2004 ; Montesinos *et al.*, 2007). À Tikjda, les individus femelles du genévrier hémisphérique sont de plus grande dimension que les individus mâles et l'effet nurserie joué par les touffes des sujets femelles est justement plus important que celui des sujets mâles, phénomène déjà signalé ailleurs (Montesinos *et al.*, 2007), que nous confirmons dans cette étude.

Au Djurdjura méridional, ces touffes de *Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica* abritent les individus de cèdre et divers arbres et arbustes forestiers liés à la cédraie, spécialement *Lonicera kabylica*, *Daphne laureola*, *Cotoneaster granatensis*, *Ilex aquifolium*, *Amelanchier ovalis*, *Sorbus aria*, *Berberis hispanica*, *Crataegus laciniata*, et de nombreuses herbacées forestières, sciaphiles et humicoles, exigeantes en humidité et en sol, qui trouvent là un microclimat favorable à leur installation et à leur maintien et y montrent un développement optimal, en profitant du microbiote forestier créé par la canopée du genévrier. En effet, la litière y est épaisse et le sol relativement profond, avec un horizon humifère parfois assez important sous les touffes de genévrier, conditions édaphiques propices aux espèces forestières (Wojterski, 1988 ; Quézel et Barbero, 1989 ; Mediouni et Yahi, 1989, 1994).

D'autre part, certains des arbustes facilités, protégés par leurs épines ou aiguillons (*Berberis hispanica*, *Rosa* spp., *Crataegus* spp.), augmentent au sein des patches l'effet protecteur des plantules de cèdre et des autres arbustes non épineux contre la dent du bétail. Un autre trait fonctionnel est la caducité des feuilles, comme chez *Cotoneaster granatensis*, *Lonicera kabylica*, *Amelanchier ovalis*, *Sorbus aria*, *Berberis hispanica*, *Rosa sicula*, *R. canina*, *Crataegus laciniata* et *Prunus prostrata*, qui recréent peu à peu l'humus et contribuent à améliorer le sol, grâce à la chute de leurs feuilles sous la canopée du genévrier hémisphérique. De plus, la majorité de ces arbres et arbustes à feuilles caduques et aussi ceux à feuilles sempervirentes, tels

que *Ilex aquifolium*, *Daphne laureola*, *Ruscus aculeatus* et aussi *Juniperus hemisphaerica*, sont des espèces endozoochores et surtout ornithochores, dont les diaspores (fruits en baies, drupes, cynorrhodons) sont dispersées par l'intermédiaire des oiseaux frugivores (Blondel et Desmet, 2018), au sein des patchs de ce genévrier. Ces trois traits fonctionnels (présence d'épines/aiguillons, caducité du feuillage, fruits bacciformes) illustrent clairement leur rôle dynamique dans la reconstitution de la cédraie au Djurdjura (Meddour *et al.*, 2010).

Toutefois, il convient de souligner deux paramètres biotiques qui viennent entraver ou limiter ce processus de facilitation dans le massif du Djurdjura. En effet, parmi les perturbations anthropiques, le surpâturage/surpiétinement représente un facteur de forte perturbation du milieu et le problème majeur menaçant la remontée biologique et la diversité floristique, plus particulièrement dans les cédraies du parc national. D'ailleurs, d'après nos résultats, le surpâturage est significativement et inversement corrélé au nombre de ligneux, car il s'oppose à leur installation durable dans les touffes de genévrier. D'autre part, l'absence de semenciers de cèdre de l'Atlas à proximité de certains patchs, comme à Aswel, est un sérieux facteur limitant le recrutement par semis de cette espèce cible (Caldeira *et al.*, 2014).

La facilitation est un mécanisme dominant dans les communautés fortement stressées et perturbées. Plusieurs auteurs (Bertness et Callaway, 1994 ; Callaway et Walker, 1997 ; Brooker et Callaghan, 1998, notamment) ont signalé que les effets positifs entre les espèces sont susceptibles d'être plus présents dans des environnements stressants ou perturbés. Brooker et Callaghan (1998) ont montré que les interactions positives sont particulièrement présentes dans les habitats de montagne, car ils comportent de nombreux stress limitant la régénération et la croissance des plantes, spécialement dans les montagnes méditerranéennes (Garcia *et al.*, 1999), connues pour leurs conditions de vie contraignantes. En outre, cette interaction positive est d'autant plus efficace que le stress abiotique et/ou biotique est élevé (Michalet *et al.*, 2006 ; Dardevet *et al.*, 2018).

Dans le Parc national du Djurdjura, comme ailleurs en Algérie (Quézel, 2002 ; Laala et Alatou, 2016), les groupements forestiers sont essentiellement constitués par des structures de végétation fortement anthropisées, constituant des stades transitoires d'évolution vers les véritables forêts (Yahi, 2007 ; Meddour, 2010), résultant de longues périodes de sécheresse, de précipitations aléatoires et d'une surexploitation des ressources naturelles (surpâturage, déforestation, etc.), comme partout dans le bassin méditerranéen (Perevolotsky *et al.*, 2005). Au Djurdjura, cette régression des écosystèmes forestiers est due pour l'essentiel aux perturbations anthropozoogènes (Barbero *et al.*, 1990a ; Meddour, 2001 ; Meddour *et al.*, 2010), qui entravent durablement la réinstallation des essences forestières climaciques (Benabid, 1985).

À cet effet, en écologie de la restauration, comme l'ont suggéré plusieurs auteurs (par ex. Castro *et al.*, 2002, 2004 ; Gomez-Aparicio *et al.*, 2004 ; Aerts *et al.*, 2006), il est souhaitable d'exploiter cet effet nurserie afin d'améliorer les outils de restauration des écosystèmes dégradés (Padilla et Pugnaire, 2006 ; Ren *et al.*, 2008 ; Siles *et al.*, 2008). Nous préconisons d'accélérer le cycle de remontée biologique du cèdre en introduisant ses semis dans les patchs de *Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica* et d'utiliser ce processus de facilitation, du moins localement (là où les semenciers de cèdre font défaut), pour la restauration écologique de ce milieu montagnard, fortement anthropisé, du Djurdjura méridional en Algérie.



Photo 1. Individu femelle de *Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica* portant des galbules – 1er juillet 2013, © R. MEDDOUR.



Photo 2. Vue d'ensemble de la cédraie du djebel Tigounatine, versants nord et nord-ouest – 24 mai 2014, © R. MEDDOUR.



Photo 3. Station J, de nombreux plants de cèdre installés dans un patch de genévrier à Aswel – 2 juin 2013, © R. MEDDOUR.



Photo 4. Station C, plusieurs sujets adultes de cèdre se développent au sein d'un patch intraforestier – 2 juin 2015, © R. MEDDOUR.



Photo 5. Station E, plusieurs patches arrondis de genévrier en lisière de la cédraie de Tigounatine – 2 mai 2017, © R. MEDDOUR.



Photo 6. Troupeau de bovins se reposant en lisière de la cédraie de Tigounatine, le surpâturage est le principal facteur de perturbation au Djurdjura – 17 février 2014, © R. MEDDOUR.



Photo 7. Plusieurs espèces ligneuses se sont installées au sein de ce patch étendu : *Cedrus atlantica*, *Acer obtusatum*, *Daphne laureola*, *Berberis hispanica*, route de Tirourda (Djurdjura oriental) – 1er juillet 2013, © R. MEDDOUR.



Photo 8. Plusieurs patches de genévrier contigus, où le cèdre s'abrite et se développe de façon optimale avec des sujets d'âge différent, à Tirourda (Djurdjura oriental) – 2 août 2010, © R. MEDDOUR.

Bibliographie

- Adams R.P., Rhanem M. & Schwarzbach A. E., 2015 - *Juniperus communis* in Morocco, analyses of nrDNA and cpDNA regions. *Phytologia* **97** (2) : 23-28.
- Addar A., Abdelkrim H. & Yahi N., 2004 - Analyse dynamique d'une succession végétale de la série à *Cedrus atlantica* dans le massif de Tigounatine (Djurdjura). *Ann. Inst. Nat. Agron. El Harrach* **25** (1-2) : 1-18.
- Addar A., Khedache Z., Righi H. & Dahmani-Megrerouche M., 2016 - Suivi de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas dans les premiers stades de développement dans quelques stations du massif forestier de Chréa (Atlas blidéen, Algérie). *Rev. Écol. (Terre et Vie)* **71** (4) : 367-384.
- Addinsoft, 2020 - *XLSTAT statistical and data analysis solution*. <https://www.xlstat.com>.
- Aerts R., Maes W., November E., Negussie A., Hermy A. & Muys B., 2006 - Restoring dry afromontane forest using birds and nurse plant effects, direct sowing of *Olea europaea* subsp. *cuspidata* seeds. *Forest Ecol. Manag.* **230** : 23-31.
- Alcaraz Ariza F.J., 2013 - El metodo fitosociologico. Geobotanica, Tema 11. <https://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema11.pdf>.
- Barbero M., Bayet C., Hammoud A., Laracine-Pittet C. & Lebreton Ph., 1990b - Diversité biologique du genévrier commun, espèce collective flavoniquement polymorphe. *Ecol. Médit.* **16** : 13-39.
- Barbero M., Quézel P. & Loisel R., 1990a - Les apports de la phytoécologie dans l'interprétation des changements et perturbations induits par l'homme sur les écosystèmes forestiers méditerranéens. *Forêt Médit.* **12** (3) : 194-215.
- Beghami Y., 2013 - *Ecologie et dynamique de la végétation de l'Aurès, analyse spatio-temporelle et étude de la flore forestière montagnarde*. Thèse, Biskra, 193 p.
- Benabid A., 1985 - Les écosystèmes forestiers, préforestiers et présteppiques du Maroc, diversité, répartition biogéographique et problèmes posés par leur aménagement. *Forêt Médit.* **7** (1) : 53-64.
- Benmouffok A., 1995 - Description de formations à *Cedrus atlantica* Manetti du massif central du Djurdjura. *Cahiers Agriculture* **4** : 383-387.
- Bertness M.D. & Callaway R. M., 1994 - Positive interactions in communities. *Trends Ecol. Evol.* **9** (5) : 191-193.

- Blondel J. & Desmet J.-F., 2018 - *Des oiseaux et des hommes. Fonctions écologiques et services écosystémiques*. Quae, Paris, 164 p.
- Branthomme A., Altrell D., Kamelarczyk K. & Saket M., 2009 - *Manuel pour le relevé intégré des données sur le terrain*. Document de travail de SERFN 37/F, FAO, Rome, 196 p.
- Brooker R.W. & Callaghan T.V., 1998 - The balance between positive and negative plant interactions and its relationship to environmental gradients, a model. *Oikos* **81** : 196-207.
- Brooker R.W., Maestre F.T., Callaway R.G., Lortie C.L., Cavieres L.A., Kunstler G., Liancourt P., Tielborger K., Travis J.M. J., Anthelme F., Armas C., Coll L., Corcket E., Delzon S., Forey E., Kikvidze Z., Olofsson J., Pugnaire F., Quiroz C.L., Saccone P., Schiffrers K., Seifan M., Touzard B. & Michalet R., 2008 - Facilitation in plant community. The past, the present and the future. *J. Ecol.* **96** : 18-34.
- Caldeira M.C., Ibanez I., Nogueira C., Bugalho M.N., Lecomte X., Moreira A. & Pereira J.S., 2014 - Direct and indirect effects of tree canopy facilitation in the recruitment of Mediterranean oaks. *J. Appl. Ecol.* **51** : 349-358.
- Callaway R.M., 1995 - Positive interactions among plants. *Bot. Rev.* **61** (4) : 306-349.
- Callaway R.M., Brooker R.W., Choler P., Kikvidze Z., Lortie C.J., Michalet R. & Armas C., 2002 - Positive interactions among alpine plants increase with stress. *Nature* **417** : 844-848.
- Callaway R.M. & Walker L.R., 1997 - Competition and facilitation. A synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology* **78** (7) : 1958-1965.
- Castro J., Zamora R., Hodar J.A. & Gomez J.M., 2002 - Use of shrubs as nurse plants. A new technique for reforestation in Mediterranean mountains. *Restor. Ecol.* **10** (2) : 297-305.
- Castro J., Zamora R., Hodar J.A. & Gomez-Aparicio L., 2004 - Benefits of using shrubs as nurse plants for reforestation in Mediterranean mountains. A 4-year study. *Restor. Ecol.* **12** (3) : 352-358.
- Cavieres L., Arroyo M.T.K., Peñaloza A., Molina-Montenegro M. & Torres C., 2002 - Nurse effect of *Bolax gummiifera* cushion plant in the alpine vegetation of the Chilean Patagonian Andes. *J. Veg. Sci.* **13** : 547-554.
- Cuevas J.G., Silva S.I., León-Lobos P. & Ginocchio R., 2013 - Nurse effect and herbivory exclusion facilitate plant colonization in abandoned mine tailings storage facilities in north-central Chile. *Rev. Chilena Hist. Nat.* **86** : 63-74.
- Dardevet E., Di Liegro M. & Ubaldi T., 2018 - *Dynamique et mécanismes de la facilitation avec l'exemple des plantes nurses*. Rapport Bibliographique de l'UE HLBE510, Montpellier, 9 p.
- Delpach R., 1996 - Vocabulaire de phytosociologie et de synécologie végétale. *La Banque des mots* **51** : 49-87.
- DGF, 2006 - *Parc national du Djurdjura*. Atlas des parcs nationaux algériens, direction générale des Forêts, Ed-Diwan, Tissemsilt, 17-29.
- Duponnois R., Ouahmane L., Kane A., Thioulouse J., Hafidi M., Boumezough A., Prin Y., Baudoin E., Galiana A. & Dreyfuss B., 2011 - Nurse shrubs increased the early growth of *Cupressus* seedlings by enhancing belowground mutualism and soil microbial activity. *Soil Biol. Biochem.* **43** : 2160-2168.
- García D. & Obeso J.R., 2003 - Facilitation by herbivore-mediated nurse plants in a threatened tree, *Taxus baccata*. Local effects and landscape level consistency. *Ecography* **26** : 739-750.
- García D., Zamora R., Hódar J.A. & Gómez J.M. 1999 - Age structure of *Juniperus communis* L. in the Iberian Peninsula. Conservation of remnant populations in Mediterranean mountains. *Biol. Conserv.* **87** : 215-220.
- Gomez-Aparicio L., Zamora R., Gomez J.M., Hodar J.A., Castro J. & Baraza E., 2004 - Applying plant facilitation to forest restoration in Mediterranean ecosystems, a meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecol. Applic.* **14** (4) : 1128-1138.
- Griffiths A. & McClenaghan R., 2011 - *Survey, conservation and propagation of Juniperus communis subsp. hemisphaerica on the Lizard, Cornwall*. Plantlife, Eden project, Bodelva, 40 p.
- Hafidi M., Ouahmane L., Thioulouse J., Sabguin H., Boumezough A., Prin Y., Baudoin E., Galiana A. & Duponnois R., 2013 - Managing Mediterranean nurse plants-mediated effects on soil microbial functions to improve rock phosphate solubilization processes and early growth of *Cupressus atlantica*. *Ecol. Engin.* **57** : 57-64.
- Laala A. & Alatu D., 2016 - Analyse de la dynamique des massifs forestiers de l'Est algérien par la télédétection satellitaire. *Intern. J. Innov. Appl. Studies* **17** (3) : 954-964.
- Larbi R., 2015 - *Analyse de la diversité floristique et de la phytodynamique de la série de végétation à Cedrus atlantica au Djurdjura centro-méridional (station de Tikjda)*. Mémoire, Tizi Ouzou, 108 p.
- Lopez R.P., Valdivia S., Sanjines N. & de la Quintana D., 2007 - The role of nurse plants in the establishment of shrub seedlings in the semi-arid subtropical Andes. *Oecologia* **152** : 779-790.
- Marcon E., 2018 - Mesures de la biodiversité. <http://www.ecofog.gf>.
- Meddour R., 2001 - Impact anthropozoïque sur la structure et la composition floristique des phytocénoses forestières montagnardes de l'Atlas tellien. In A. Kerdoun A., M.E.H. Larouk & M. Sahli, *L'environnement en Algérie. Impacts sur l'écosystème et stratégies de protection*, LERMM, Constantine : 157-166.
- Meddour R., 2010 - *Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie. Exemple des groupements forestiers et préforestiers de la Kabylie djurdjuréenne*. Thèse, Tizi Ouzou, 397 p.
- Meddour R., Meddour-Sahar O., Derridj A. & Géhu J.-M., 2010 - Synopsis commenté des groupements végétaux forestiers et préforestiers de la Kabylie djurdjuréenne (Algérie). *Rev. Forest. Franç.* **62** (3-4) : 295-308.
- Mediouni K. & Yahi N., 1989 - Étude structurale de la série du cèdre à Ait Ouabane, Djurdjura. *Forêt Médit.* **11** (2) : 103-112.
- Mediouni K. & Yahi N., 1994 - Phytodynamique et autoécologie du cèdre *Cedrus atlantica* dans le Djurdjura. *Ann. Rech. Forest. Maroc* **27** (1) : 77-104.

- Ménard N. & Vallet D., 1988 - Disponibilités et utilisation des ressources par le magot *Macaca sylvanus* dans différents milieux en Algérie. *Rev. Ecol.* **43** : 201-239.
- Michalet R., Brooker R.W., Cavieres L.A., Kikvidze Z., Lortie C.J., Pugnaire I., Valiente-Banuet A. & Callaway R.G., 2006 - Do biotic interactions shape both sides of the humped back model of species richness in plant communities? *Ecol. Lett.* **9** (7) : 767-776.
- Montesinos D., Verdu M. & Garcia-Fayos P., 2007 - Moms are better nurses than dads, gender biased self-facilitation in a dioecious *Juniperus* tree. *J. Veg. Sci.* **18** : 271-280.
- Ouahmane L., Duponnois R., Hafidi M., Kisa M., Boumezough A., Thioulouse J. & Planchette C., 2006 - Some Mediterranean plant species (*Lavandula* spp. and *Thymus satureioides*) act as potential 'plant nurses' for the early growth of *Cupressus atlantica*. *Pl. Ecol.* **185** : 123-134.
- Padilla F.M. & Pugnaire F.I., 2006 - The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. *Frontiers Ecol. Environ.* **4** : 196-202.
- Perevolotsky A., Shachak M. & Pickett S.T. A., 2005 - Management for biodiversity, human and landscape effects on dry environments. In M. Shachak, J.R. Gosz, S.T.A. Pickett & A. Perevolotsky, *Biodiversity in Drylands. Towards a Unified Framework*, New York : 286-304.
- Quézel P., 2002 - *Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen*. IBIS Press, Paris, 117 p.
- Quézel P. & Barbero M., 1989 - Les formations à genévriers rampants du Djurdjura (Algérie). Leur signification écologique, dynamique et syntaxonomique dans une approche globale des cédraies Kabyles. *Lazaroa* **11** : 85-99.
- Quézel P. & Gast M., 1998 - Genévrier. *Encycl. Berbère* **20** : 3016-3023.
- Quézel P. & Médail F., 2003 - *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Lavoisier, Paris, 576 p.
- Quézel P. & Santa S., 1962-1963 - *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. 2 vol., CNRS, Paris, 1170 p.
- Reid A.M., Lamarque L.J. & Lortie C. J., 2010 - A systematic review of the recent ecological literature on cushion plants, champions of plant facilitation. *Web Ecol.* **10** : 44-49.
- Ren H., Yang L. & Liu N., 2008 - Nurse plant theory and its application in ecological restoration in lower subtropics of China. *Progr. Nat. Sci.* **18** (2) : 137-142.
- Rhanem M., 2015 - Sur la rareté du genévrier commun (*Juniperus communis* L.) au Maroc et ses relations avec la triade arbustive d'éboulis (*Berberis hispanica* Boiss. & Reut. *Buxus balearica* Willd. et *Ribes uva-crispa* L.) au sein et à la périphérie de l'écotone supraforestier dans les hauts massifs de l'Ayachi et du Tichchoukt ; intérêt de la géomorphologie. *Evaxiana* **1** : 30-69.
- Rhanem M., 2016 - Compléments à la distribution et au statut de relique géomorphologique de *Juniperus communis* L. au Maroc à la lumière de la découverte d'un géomorphosite remarquable sur le mont Maasker. *Evaxiana* **2** : 23-41.
- Rhanem M., 2017 - Diversité des formes de croissance de *Juniperus communis* L. dans les stations refuges des hautes montagnes du bassin versant de la Moulouya (Maroc). *Physio-Géo* **11** : 229-254.
- Rhanem M., 2018 - Aperçu des formes de croissance de l'irradiation de *Juniperus communis* L. au Maroc au sein de stations-refuges écologiquement marginales. *Evaxiana* **4** : 19-33.
- Rousset O. & Lepart J., 1999 - Shrub facilitation of *Quercus humilis* regeneration in succession on calcareous grasslands. *J. Veg. Sci.* **10** (4) : 493-502.
- Ruguzova A.I., 2012 - Seed productivity *Juniperus hemisphaerica* C. Presl, *Juniperus sabina* L. and their preservation in the Crimea. *UDC* **171** (1) : 294-299.
- Saïd S., Rameau J.-C. & Brun J.-J., 2003 - Évolution et diversité végétales en Corse suite à la déprise agricole. *Rev. Forest. Franç.* **4** : 309-322.
- Siles G., Rey P.J., Alcantara J.M. & Ramirez J.M., 2008 - Assessing the long-term contribution of nurse plants to restoration of Mediterranean forests through Markovian models. *J. Appl. Ecol.* **45** : 1790-1798.
- Talamo A., Barchuk A., Cardozo S., Trucco C., Maras G. & Trigo C., 2015 - Direct versus indirect facilitation (herbivore mediated) among woody plants in a semiarid Chaco forest, a spatial association approach. *Austr. Ecol.* **40** (5) : 573-580.
- Thomas P.A., El-Barghathi M. & Polwart A., 2007 - Biological Flora of the British Isles. *Juniperus communis* L. *J. Ecol.* **95** : 1404-1440.
- Toumi A., 2015 - *Étude structurale et cartographique de Juniperus communis et Juniperus sabina au Djurdjura*. Mémoire, Tizi Ouzou, 49 p.
- Verdu M., Villar-Salvador P. & Garcia-Fayos P., 2004 - Gender effects on the post-facilitation performance of two dioecious *Juniperus* species. *Funct. Ecol.* **18** : 87-93.
- Wojterski T.W., 1988 - Groupement à *Juniperus communis* var. *hemisphaerica*. In T.W. Wojterski, *Guide de l'excursion internationale de Phytosociologie en Algérie du Nord 1985*, Alger, Goltze, Göttingen, 274 p.
- Yahi N., 2007 - *Les cédraies d'Algérie. Phytoécologie, phytosociologie, dynamique et conservation des peuplements*. Thèse, Bab Ezzouar, Alger, 265 p.

Annexes

Tableau 1. Comparaison des dimensions moyennes des patchs entre les trois stations, les sujets mâles et femelles et les valeurs moyennes de toutes les stations confondues.

	Toutes stations	Sujets mâles	Sujets femelles	Station C	Station J	Station E
Nombre de patchs	$N = 39$	$n = 19$	$n = 18$	$n = 13$	$n = 13$	$n = 13$
Circonférence (m)	$24,14 \pm 16.10$	$17,97 \pm 4.15$	$19,81 \pm 8.35$	$17,39 \pm 4.48$	$25,15 \pm 12.66$	$29,88 \pm 23.54$
Diamètre (m)	$5,92 \pm 3.39$	$4,48 \pm 1.38$	$5,17 \pm 2.32$	$4,37 \pm 1.17$	$6,56 \pm 3.45$	$6,84 \pm 4.37$
Hauteur (cm)	$44,67 \pm 20.48$	$44,47 \pm 17.94$	$43,0 \pm 22.29$	$55,31 \pm 17.79$	$25,69 \pm 8.64$	$53,0 \pm 18.68$

Tableau 2. Matrice des coefficients de corrélation linéaire de Pearson entre les variables.

Alt	1																
Sol	0,216	1															
Expo	-0,466	0,058	1														
Pent	0,273	-0,024	0,053	1													
Rec	-0,483	-0,085	0,298	0,073	1												
Circ	0,407	0,302	-0,265	0,135	-0,194	1											
Diam	0,419	0,234	-0,277	0,188	-0,200	0,940	1										
Haut	-0,688	0,055	0,089	-0,150	0,293	-0,179	-0,104	1									
Pâtur	-0,487	-0,269	0,093	-0,326	-0,485	-0,211	-0,219	0,344	1								
Piét	-0,487	-0,269	0,093	-0,326	-0,485	-0,211	-0,219	0,344	1,000	1							
Poll	-0,277	-0,065	0,081	-0,190	-0,263	-0,046	-0,107	0,188	0,542	0,542	1						
Sexe	0,222	0,230	-0,163	-0,005	0,024	0,398	0,408	0,009	-0,307	-0,307	-0,237	1					
Port	-0,625	-0,126	0,106	-0,226	0,180	-0,246	-0,180	0,640	0,366	0,366	-0,028	0,036	1				
R sp	0,200	0,144	-0,236	0,357	-0,005	0,421	0,409	-0,009	-0,155	-0,155	0,069	0,307	-0,274	1			
Lign	0,240	0,044	-0,083	0,335	0,438	0,393	0,476	-0,042	-0,625	-0,625	-0,497	0,441	-0,179	0,461	1		
Cèdre	-0,262	-0,148	0,053	0,119	0,308	-0,117	-0,081	0,300	0,008	0,008	-0,155	-0,113	0,091	0,075	0,227	1	
Va-riables	Alt	Sol	Exp	Pent	Rec	Circ	Diam	Haut	Pâtur	Piét	Poll	Sexe	Port	R sp	Lign	Cèdre	

Les valeurs en gras sont significatives au seuil $\alpha = 0,05$ (5 %).

Alt : altitude, Sol : couverture du sol, Exp : exposition, Pent : pente, Rec : recouvrement de la végétation, Circ : circonférence, Diam : diamètre, Haut : hauteur moyenne, Pât : (sur)pâturage, Piét : piétinement du bétail, Poll : pollutions par déchets solides, R sp : richesse spécifique, Lign : nombre de ligneux, Cèdre : abondance du cèdre.

Tableau 3. Tableau synoptique des fréquences (Fr) des espèces forestières ligneuses et herbacées présentes dans les diverses stations (C, E et J).

	Fr C	Fr E	Fr J
<u>Plantes ligneuses</u>			
<i>Berberis hispanica</i> Boiss. & Reut.	7	4	11
<i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) Carrière	7	6	1
<i>Rosa sicula</i> Tratt.	1	1	12
<i>Daphne laureola</i> L.	6		6
<i>Cotoneaster granatensis</i> Boiss.	4		6
<i>Lonicera kabylica</i> (Batt.) Rehder	1		5
<i>Ilex aquifolium</i> L.	3		1
<i>Prunus prostrata</i> Labill.		6	2
<i>Crataegus laciniata</i> Ucria	1	1	
<i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i> (Desf.) Samp.	11		
<i>Ruscus aculeatus</i> L.	9		
<i>Rosa canina</i> L.	7		
<i>Acer monspessulanum</i> L.	1		
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	1		
<i>Rosa montana</i> Chaix ex Vill.	1		
<i>Amelanchier ovalis</i> Medik.			3
<i>Sorbus aria</i> (L.) Crantz			3
<i>Juniperus oxycedrus</i> L.			1
<u>Plantes herbacées</u>			
<i>Galium scabrum</i> L.	4	4	5
<i>Teucrium chamaedrys</i> L.	3	1	2
<i>Vincetoxicum hirundinaria</i> Medik.	3	1	2
<i>Agropyron marginatum</i> H. Lindb.	7		3
<i>Vicia ochroleuca</i> subsp. <i>atlantica</i> (Pomel) Greuter & Burdet	1		1
<i>Agropyron panormitanum</i> Parl.	4	1	
<i>Senecio perralderianus</i> Coss. & Durieu	1	1	
<i>Potentilla micrantha</i> Ramond ex DC.	1	1	
<i>Geum urbanum</i> L.		1	1
<i>Brachypodium sylvaticum</i> (Huds.) P. Beauv.		1	2
<i>Ampelodesmos mauritanicus</i> (Poir.) T. Durand & Schinz	9		
<i>Asperula laevigata</i> L.	7		
<i>Viola odorata</i> L.	5		
<i>Bupleurum montanum</i> Coss.	3		
<i>Viola reichenbachiana</i> Jord. ex Boreau	1		
<i>Clinopodium vulgare</i> L.		2	
<i>Silene atlantica</i> Coss. & Durieu		1	
<i>Luzula nodulosa</i> (Bory & Chaub.) E. Mey.			2
<i>Lamium garganicum</i> L.			1