

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)

Abdelkader ADDAR^{1*}, Zina KHEDACHE¹, Houssam RIGHI¹ & Malika DAHMANI-MEGREROUCHE¹

¹ Laboratoire d'Écologie Végétale & Environnement (LEVE), Faculté des Sciences Biologiques (F.S.B), Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (U.S.T.H.B), BP 32, El Alia, Bab Ezzouar, 16111, Alger, Algérie. Tél/Fax: 00 213 (21) 24 72 17. E-mails: addar_abdel@yahoo.fr, khedachezina@yahoo.fr, houssamene@gmail.com, malika_dahmani@yahoo.fr

*Auteur pour la correspondance

SUMMARY.— *Monitoring the early stages of Cedar natural regeneration in some stations of Chréa Forest (Blidean Atlas, Algeria).*— The Cedar (*Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière), endemic species in North Africa, is currently experiencing a regression of its range due first to the decline and second to the lack of regeneration over much of its range. These problems of regeneration seem exacerbated over recent decades, in relation to climate changes that knows the Mediterranean region and to intensification of human action. In Algeria, this issue is more pronounced at low altitude and hot exposures characterized by deficient water. The aim of this study is (i) to analyse *in situ* behaviour (survival, growth) of cedar seedlings in the early stages of regeneration which are known as the most vulnerable ones and (ii) to attempt to define the niche of cedar regeneration in this restrictive context. The study was conducted at two stations in the cedar forest of Chréa (Blidean Atlas), representing various situations of cedar development. Within these stations, five plots (400 m²) and fourteen elementary quadrats (1 m²), representative of the structural heterogeneity of the cedar forest and diversity of potential host microsites for cedar seeds, have been followed during two years (2013 and 2014). A measure of the respective lengths of underground and aboveground parts was performed on 256 seedlings. A comparative statistical analysis of these different levels of observation was made to highlight the important role of climate on the germination and seedling survival potential relative to the daily, seasonal and interannual variation of climatic parameters (P, Tmin, Tmax) as well as the side effect and the altitude. This comparison showed also the aggravating or moreover deciding role of anthropozoic action including trampling of seedlings and soil compaction by livestock, silvicultural measures (pruning, cutting, etc.), as well as ploughing boars digging up seedlings, compared to control conditions (exclosure). In fact, average survival rates in this case are considerably higher (54-76 %) compared to situations excluding deferred grazing (9-21 %). Regeneration requires a combination of many factors like adequate availability of seeds, receptive soil, climatic conditions favouring of the emergence of seedlings and not penalizing their survival, but these conditions need a decreased anthropozoic pressure.

RÉSUMÉ.— L'objectif de cette étude est d'analyser le comportement *in situ* de semis naturels de Cèdre dans les premières phases de la régénération, connues comme étant les plus vulnérables et tenter de définir la niche de régénération du Cèdre dans un contexte actuel contraignant. L'étude est menée au niveau de deux stations représentatives de l'hétérogénéité structurale de la cédraie de Chréa (Atlas blidéen). Une analyse statistique comparative de différents niveaux d'observation a permis de mettre en évidence l'impact important du climat, l'effet de versant et de l'altitude, sur la germination, la croissance et le potentiel de survie des semis, mais également celui, aggravant, de l'action anthropozoogène, par comparaison à une situation témoin. Sont également soulignés au niveau local, le rôle déterminant de la structure du peuplement qui influencerait par son degré d'ouverture, l'effet herbacée, ainsi que la réceptivité de la surface du sol.

Les premiers travaux traitant de la régénération naturelle de la cédraie d'Afrique du Nord ont permis de souligner les difficultés de maintien des semis, notamment, au cours des premières années de développement, et de mettre en évidence quelques facteurs déterminants. C'est ainsi que la précocité de germination du jeune semis apparaît comme un atout augmentant ses chances de résistance à la sécheresse estivale et donc sa survie. Ce paramètre serait modulé par l'altitude,

l'effet de versant, le bilan hydrique, le couvert végétal, la végétation herbacée, la litière et le sol (Marion, 1955 ; Lepoutre, 1961 ; Lepoutre & Pujos, 1964 ; Zine El Abidine *et al.*, 2013). Il est toutefois admis que c'est l'interaction entre les différents facteurs qui contrôle le niveau de régénération d'une espèce. Ceux qui agissent en premier seraient déterminants d'où l'intérêt d'étudier les processus qui se déroulent pendant les premières phases de la régénération (Tan & Bruckert, 1992), les filtres de mortalité biotiques étant surtout actifs dans les stades précoces (graines et plantules) de la régénération (Flores, 2005). Ces difficultés de régénération semblent exacerbées au cours de ces dernières décennies, en relation avec les modifications climatiques que connaît la région méditerranéenne (Ezzahiri *et al.*, 1994 ; Bentouati & Bariteau, 2006 ; Bentouati, 2008) et l'intensification de l'action anthropique (M'hirit *et al.*, 2006). En Algérie, le problème de régénération est plus marqué au niveau des cédraies de basse altitude et en expositions chaudes, déficitaires en eau.

Notre travail porte sur le suivi de la régénération du Cèdre de l'Atlas blidéen et plus particulièrement en versants sud et est. L'objectif est de rechercher les conditions stationnelles et micro-stationnelles qui augmenteraient les chances de survie des jeunes plants, autrement dit de définir la niche de régénération du Cèdre (Ponge *et al.*, 1994) dans les conditions locales de notre étude.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

ESPÈCE ÉTUDIÉE

Espèce essentiellement montagnarde, de la famille des Abiétacées et endémique du Maghreb, le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière) représente l'essence noble des forêts du Maroc et de l'Algérie (M'hirit & Maghnouj, 1994) ; il est économiquement et écologiquement l'un des arbres les plus importants de la montagne méditerranéenne (Achhal *et al.*, 1980). Il compte parmi les résineux les plus caractéristiques de nos forêts, pouvant dépasser une hauteur de 50 m avec une circonférence de 5 à 6 m pour les sujets âgés de plus de 300 ans (Toth, 1980). Son enracinement pivotant, ramifié et très étendu, lui assure une bonne stabilité (Toth, 1970). Le Cèdre résiste à des températures pouvant aller de -20°C à +39°C pour des précipitations variant de 400 à 1500 mm (Boudy, 1950 ; Toth, 1978 ; M'hirit, 1982). En condition de stress hydrique, le Cèdre de l'Atlas maintient son activité physiologique jusqu'à des niveaux de sécheresse très prononcée (Finkelstein, 1981 ; Aussenac & Valette, 1982 ; Aussenac & Finkelstein, 1983). Compte tenu de sa rusticité et de son indifférence à la nature lithologique, il se rencontre sur des substrats et des sols variés. À Chréa, les stations d'études se situent essentiellement sur des schistes du Crétacé inférieur, plus ou moins argileux par endroits (Faurel, 1947 ; Meddour, 1994), donnant naissance sous les cédraies à des sols bruns lessivés (Killian & Martin, 1957).

La durée de la période juvénile est de 15 à 30 ans (Toth, 2005). Le cycle de reproduction s'accomplit en 3 ans. La floraison et la pollinisation, durant la première année, constitueraient des étapes déterminantes sur le potentiel de production qualitative et quantitative des graines. La réussite de la fécondation et de la croissance des cônes l'année n+1, ainsi que la maturation morphologique et physiologique des cônes, l'année n+2, seraient conditionnées par l'avènement d'accidents climatiques, la compétition entre organes végétatifs et reproducteurs ainsi que l'action des insectes responsables des pertes observables à tous les stades de développement. La désarticulation des cônes, sous l'effet d'une « imbibition » suivie d'un gel tissulaire, puis d'un dégel, leur permet la libération des graines vers la fin de la troisième année. Après une période de dormance variable en fonction des conditions climatiques, la germination des graines démarre à des températures proches de +4°C (Derridj, 1990 ; M'hirit, 1999 ; Ezzahiri & Belghazi, 2000 ; Toth, 2005 ; Philippe, 2006 ; Aidrous Larbi, 2007 ; Krouchi, 2010).

SUIVI DE LA RÉGÉNÉRATION

L'étude a porté sur deux stations forestières, Kerrache (S1) et Forêt Noire (S2), appartenant à l'étage bioclimatique humide, variante à hiver frais et situées respectivement à 1450m et 1380m d'altitude en versants sud et est de l'Atlas blidéen (Fig.1). La première correspond à une forêt naturelle plus ou moins dense et âgée, la seconde, à une cédraie claire et moins âgée. Cette dernière, issue d'un reboisement semé à la volée (1968-1970), et caractérisée par une grande hétérogénéité structurale de la végétation, se régénère naturellement. Les stations et parcelles sont choisies de façon à intégrer l'ensemble des facteurs qui pourraient intervenir dans le déterminisme du recrutement du Cèdre en expositions sud et est. Le relatif dénivelé entre ces deux stations, la topographie et l'effet exposition permettraient d'appréhender l'influence de l'altitude et du climat local (précipitations et températures). Deux parcelles de 400 m² par station ont été retenues en fonction de l'hétérogénéité structurale de la cédraie ainsi que de l'hétérogénéité du milieu local. L'influence de

la lumière est ainsi appréciée à travers l'analyse de la structure de la cédraie dans les différentes parcelles échantillonnées. Celle-ci est décrite à partir des paramètres dendrométriques (densité des arbres et circonférence en mètre à 1,30 m) et des recouvrements de la végétation globale et par strate. Chaque parcelle est également caractérisée sur le plan des variables écologiques stationnelles, physiologiques, floristiques, et du recouvrement des éléments de la surface du sol (semis, strate herbacée et divers regroupant litière, éléments grossiers et sol nu). Les indices de perturbations anthropozoogènes (traces d'animaux, piétinement, labourage, coupes, élagage) sont également notés.

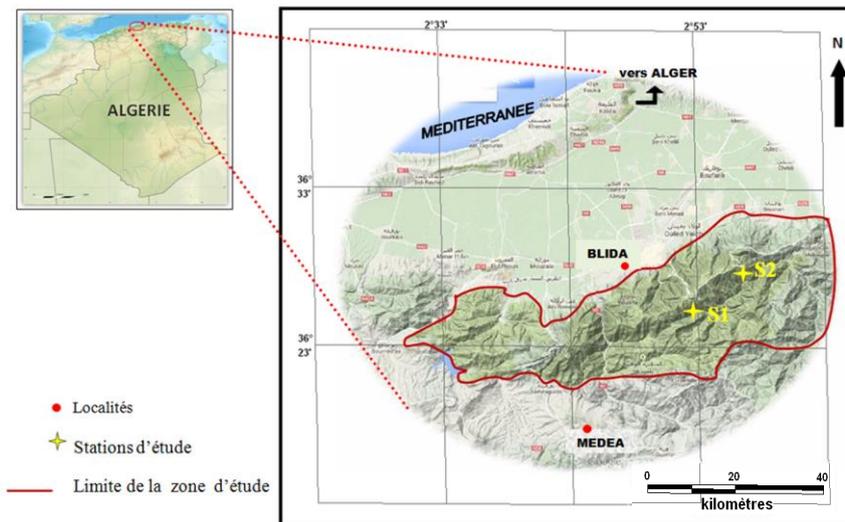


Figure 1.— Zone d'étude. S1 : Station de Kerrache ; S2 : Station de la Forêt Noire.



Figure 2.— (a, à droite) Quadrat élémentaire de 1 m². (b, à gauche) H1 : Élongation (cm) des semis au cours de la première année (2013) ; H : Hauteur totale (cm) des semis atteinte au cours de l'année 2014 ; H2 : Accroissement (cm) des semis de la deuxième année (2014).

Les parcelles d'une même station sont discriminées pour Kerrache par une forte densité d'arbres âgés pour KP1 et PMD et par conséquent peu d'éclaircement au sol ainsi qu'une humidité plus élevée et des sols humifères. Pour KP2, les arbres moins âgés présentent un port plus élané qui favorise un éclaircement plus important et une strate herbacée plus développée ; les sols y sont moins humifères. Pour la Forêt Noire, les parcelles diffèrent par la structure spatiale des arbres. Leur disposition plus ou moins linéaire au niveau de FNP1 se traduit par un couvert moindre et un éclaircement relativement important. La surface du sol se caractérise par une présence d'éléments grossiers plus marquée. La tendance plus agrégative (en bouquets) des arbres de la parcelle FNP2 confère peu d'éclaircement et plus d'humidité ; le sol est généralement plus profond. Au sein de ces stations, cinq parcelles de 400m² et 14 quadrats élémentaires de 1m² (Fig. 2a) chacun (5 pour Kerrache (Tab. I) et 9 pour la Forêt Noire (Tab. II)), représentatifs de l'hétérogénéité structurale de la cédraie, des microsites d'accueil potentiel des graines de Cèdre et des variations de leurs caractères à la surface du sol, ont été suivis pendant deux années (2013, 2014). Ce suivi s'est fait à partir des mois d'avril (2013) et de mars (2014), correspondant à la période de germination des graines, jusqu'au mois de juillet, et ce à raison de deux à trois observations par mois. Pour

apprécier la part de l'action anthropique, une parcelle mise en défens située dans la station de Kerrache à 1450m d'altitude, a été retenue comme témoin, en 2013.

TABLEAU I

Effectifs des quadrats suivis dans la station Kerrache (2013 et 2014)

Stations	Kerrache (K) 2013			Kerrache (K) 2014					
	Hors mise en défens		Mise en défens	Hors mise en défens				Mise en défens	
Parcelles (P)	Parcelle 1	Parcelle 2	PMD	Parcelle 1 s1		Parcelle 2 s1		PMD	
Quadrats (Q)	Q1	Q2	Q1	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1 s1	Q1 s2
Effectif initial	375	108	245	17	18	15	19	41	95
Effectif final	5	7	133	7	1	1	0	31	79
Taux de survie (%)	1	6	54	41	6	7	0	76	83

s1 : semis d'un an ; s2 : semis de deux ans

TABLEAU II

Effectifs des quadrats suivis dans la station de la Forêt Noire (2013 et 2014)

Stations	Forêt Noire (FN) 2013		Forêt Noire (FN) 2014								
	Hors mise en défens		Hors mise en défens								
Parcelles (P)	1	2	1								2
Quadrats (Q)	Q1	Q2	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q1
Effectif initial	125	683	3	1	5	5	1	5	0	0	1
Effectif final	17	222	2	0	0	2	1	5	1	0	0
Taux de survie (%)	14	33	67	0	0	33	100	100	0	0	0

Les observations ont consisté notamment, en un suivi de l'effectif des semis dans les différentes conditions échantillonnées. Nous avons également mesuré en 2013 les longueurs respectives des parties souterraines et aériennes de 256 semis de l'année, avec un nombre moyen de 64 individus par parcelle.

Compte tenu du faible effectif des semis de 2 ans, les mesures de la croissance annuelle (Fig. 2b), réalisées en 2014, ont été faites indépendamment du suivi des effectifs, dans des quadrats pris aléatoirement dans chacune des deux stations (145 individus dont 111 dans la station de Kerrache). La croissance annuelle a été estimée par la mesure des élongations H1 de la première année (du collet au niveau d'insertion de la 1^{ère} rosette d'aiguilles) et H, longueur totale atteinte au cours de la deuxième année (du collet à la 2^{ème} rosette d'aiguilles). La différence des deux élongations (H-H1) nous donne l'accroissement de la deuxième année (H2). Précisons que les semis de Cèdre sont mesurés durant le printemps du premier cycle 2013. Le prélèvement est effectué en déterrants des colonnes de terre suffisamment profondes pour ne pas abimer d'éventuelles racines. L'intégrité de la racine est indiquée par le maintien de la coiffe. Les semis sont soigneusement étalés sur un support comportant une règle graduée permettant la mesure, à partir du collet, des parties aériennes et souterraines.

Pour évaluer l'impact de la compétition de la strate herbacée, des relevés floristiques ont été effectués au niveau des différents quadrats, avec appréciation de l'abondance-dominance des espèces. Pour mettre en évidence l'impact des paramètres climatiques (« P » : précipitations journalières ; « Tmin » température minimale journalière, « Tmax » température maximale journalière) sur la survie des semis, nous avons calculé leurs valeurs par décennie et procédé à leurs estimations stationnelles par extrapolation à partir de la station météorologique de Médéa, située à 1036 m d'altitude.

TRAITEMENTS STATISTIQUES

Au niveau de chaque parcelle, la structure des populations de Cèdre échantillonnées est appréhendée par des histogrammes représentant le paramètre circonférence (en mètres) à 1m30. Le suivi des semis de Cèdre pendant les deux cycles d'observation a permis de calculer le taux de survie au niveau des quadrats, parcelles et stations. Ces taux sont

obtenus à partir des rapports des effectifs finaux aux effectifs optimaux, et ce pour les différents temps d'observation (T1, T2 ... T7), rapportés à cent.

Afin de mettre en exergue d'une part l'effet du facteur exposition discriminant les deux stations Kerrache et Forêt Noire et, d'autre part, l'impact du facteur anthropozoogène différenciant la parcelle mise en défens des deux autres, nous avons procédé à l'estimation des proportions de survie des populations de semis (P) par intervalle de confiance, au sein de ces stations à l'aide du test de conformité de deux proportions. Pour mieux apprécier l'évolution des effectifs des semis de Cèdre, pour chacune des parcelles, durant les premiers stades de développement, des courbes de survie sont établies. Vu le cycle réduit d'observations, celles-ci n'ont pas pour objectif la caractérisation de l'espèce, mais l'obtention du potentiel de survie de ces populations, à travers une analyse comparative inter-parcelles faisant ressortir les situations favorables à la survie des semis de Cèdre à Chréa. Pour mettre en évidence les potentialités écologiques et biologiques des parcelles, les croissances moyennes des parties aériennes et souterraines des semis ont fait l'objet d'une analyse de la variance, suivie d'un test de comparaisons multiples des moyennes (Tukey).

RÉSULTATS

SUIVI DES EFFECTIFS DES SEMIS

La régénération naturelle conditionne la structure démographique des populations pérennes qui intervient lors de cette régénération, depuis la graine jusqu'au semis dit « recruté » (Pichot *et al.*, 2006). Le suivi de ce dernier est apprécié à plusieurs échelles depuis les quadrats, parcelles jusqu'aux stations.

Taux de survie dans les quadrats

L'objectif de cette analyse a pour but de faire ressortir les potentialités des microsites ou les micro-variations à l'échelle locale pouvant favoriser le développement des semis. Ainsi, les résultats relatifs à cette partie (Tab. I & II) sont interprétés à partir des données obtenues par quantification des éléments à la surface du sol (strate herbacée et divers du Tab. III), type de sol, sous-étage et action anthropique.

TABLEAU III

Recouvrement des éléments à la surface du sol dans les quadrats

Recouvrement des éléments	Parcelles et Quadrats 2013			
	KQ1PMD	KQ1P1	KQ2P2	FNQ2P2
Cèdre : effectif des semis	245	375	108	683
Herbacées (%)	4	7	61	1
Divers (%)	87	78	35	77

K : Kerrache ; FN : Forêt Noire ; PMD : Parcelle mise en défens ; Q : Quadrat ; P : Parcelle

Les taux moyens de survie des semis de cèdre (2013-2014) présentent des fluctuations différentes d'une station à l'autre. Les quadrats mis en défens enregistrent pour les deux cycles d'observation des taux de survie optimaux avec respectivement 54%, 76% et 83% (Tab. I). Ceux hors mise en défens n'excèdent pas 33% en 2013 ; ils sont plus élevés dans la Forêt Noire (14 et 33%) que dans Kerrache (1 et 6%).

Taux de survie dans les parcelles

Les parcelles retenues individualisent des structures de végétation différentes induisant des potentialités écologiques et biologiques distinctes qui peuvent influencer le devenir des régénérations et orienter l'évolution du peuplement forestier. Ainsi, les taux de survie des parcelles sont mis en relation avec la distribution des circonférences (Fig. 3) et les différentes actions

anthropiques pouvant l'affecter. Ils sont calculés en tenant compte des effectifs des semis de première année (s1) pour chacun des cycles. Les taux de survie moyens (TSM) de la parcelle mise en défens (PMD) et de chacune des stations Kerrache (K) et Forêt Noire (FN) sont regroupés dans le tableau IV.

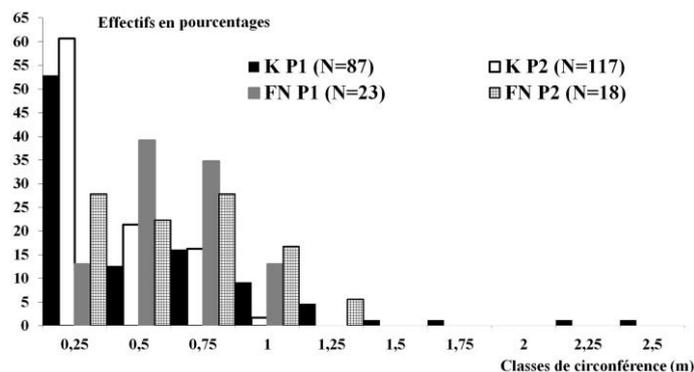


Figure 3.— Distribution des circonférences. P1 : Parcelle 1 ; P2 : Parcelle 2 ; K : Station de Kerrache ; FN : Station de la Forêt Noire ; N : Effectif des cèdres (arbres).

TABLEAU IV

Taux de survie moyens dans les parcelles d'étude

Stations	PMD		Kerrache (K)		Forêt Noire (FN)	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014
TSM P1(%)			1	23	14	38
TSM P2(%)			6	3	33	0
TSM Station (%)	54	76	4	13	23	19

PMD : Parcelle mise en défens ; TSM : Taux de survie moyen

Malgré l'importance de la densité de la strate arborescente dans les parcelles de Kerrache (KP1 et KP2), les taux de survie enregistrés pendant le premier cycle sont faibles (1 et 6 %). KP1 est caractérisée par une structure composée de toutes les classes, avec la présence exclusive des diamètres supérieurs à 1,25 m, ce qui lui confère une structure plus âgée, fermée, lui assurant un important potentiel reproductif (375). Le faible taux est lié dans ce cas à l'action anthropique (coupes) survenue pendant ce cycle. Dans KP2, un fort éclaircissement conjugué au facteur compétition, dû pour le premier à une structure plus ouverte, composée essentiellement d'individus de circonférence inférieure à 0,25 m (60 %) et à un taux important de la strate herbacée (61 %) pour le second, ont joué tous les deux un rôle néfaste compromettant la survie des semis.

Les taux les plus élevés sont enregistrés dans la Forêt Noire avec 14 et 33 %. Les parcelles de cette station, bien que caractérisées par une densité arborée moins importante que celle de Kerrache, sont à dominance d'individus adultes, en âge de reproduction et espacés, avec un taux de 87 % pour la première et de 72 % pour la seconde, avec une disposition en bouquet pour celle-ci. Elle permet ainsi d'avoir un regroupement de semenciers important et expliquerait le potentiel germinatif le plus élevé (683). Notons que les individus de la parcelle FNP1 ont fait l'objet d'élagage sur leurs 2/3 inférieurs, la rendant plus exposée à l'action anthropozoogène. Ce facteur est tellement déterminant que la parcelle FNP2, ayant subi un élagage important au cours du

second cycle, est passée du taux de survie le plus élevé (33 %) en 2013 à un taux nul (0 %) en 2014. En l'absence de ce facteur, les taux sont plus importants dans KP1 (23 %) et FNP1 (38 %) alors que la parcelle KP2 (6 et 3 %) montre des taux presque constants entre les deux cycles.

Taux de survie dans les stations

L'objectif de cette partie est de mettre en relation les taux de survie des semis des stations hors mises en défens (Kerrache et Forêt Noire) avec l'effet versant et la topographie et de les comparer avec ceux de la mise en défens. Les taux de survie moyens sont estimés et regroupés dans le tableau V.

TABLEAU V

Estimation des taux de survie moyens dans les stations à Cèdre

Stations	PMD	Kerrache	Forêt Noire
Années	2013-2014		
TSM (%)	65	9	21
Borne supérieure (%)	70	11	21,15
Borne inférieure (%)	59	6	20,65

PMD : Parcelle mise en défens ; TSM : Taux de survie moyen

La comparaison des intervalles de confiance des deux stations avec la parcelle mise en défens ne montre aucun chevauchement entre les intervalles pris deux à deux, montrant ainsi qu'il existe des différences significatives entre les taux enregistrés pour la parcelle mise en défens et les stations hors mises en défens, au seuil de sécurité considéré (95 %). En effet, le taux le plus important (65 %) a été enregistré dans la parcelle mise en défens et les plus faibles dans les stations de Kerrache (9 %) et de la Forêt Noire (21 %). Cet écart pourrait s'expliquer par la différence d'exposition. En effet, les semis de Kerrache, en exposition sud, subissent un ensoleillement plus important ainsi que l'action des vents secs et chauds (Sirocco) se traduisant par un dessèchement des premiers horizons du sol. La Forêt Noire, située en haut de versant, bénéficie d'apports d'humidité plus importants que Kerrache, située à mi-versant et à l'abri des influences du nord.

ANALYSE DÉMOGRAPHIQUE DES SEMIS DE CÈDRE

Le taux de survie est défini comme le pourcentage de semis vivants au cours des deux cycles d'observation rapporté à leur émergence (= 100 % des semis vivants). L'objectif est d'identifier les stades critiques, marqués par des mortalités importantes (hiver rigoureux, sécheresse intense, etc.), au cours des premiers stades de développement.

Les figures 4a et 4b montrent un faible taux de mortalité pendant les premières décades d'observation qui vont de mai à juin de la première année. À partir de cette date, des taux de mortalité importants mais variables d'une parcelle à l'autre sont enregistrés. Les courbes des parcelles hors mises en défens montrent globalement les mêmes patrons avec des plateaux correspondant aux périodes printanières des deux cycles et des chutes à l'approche des périodes estivales. Celles de la parcelle mise en défens (Fig. 4c) montrent, durant les décades de la phase printanière, de faibles taux de mortalité pour les deux classes d'âge (s1 et s2). Néanmoins, une légère chute est enregistrée pendant la période estivale de juin 02 à août 01.

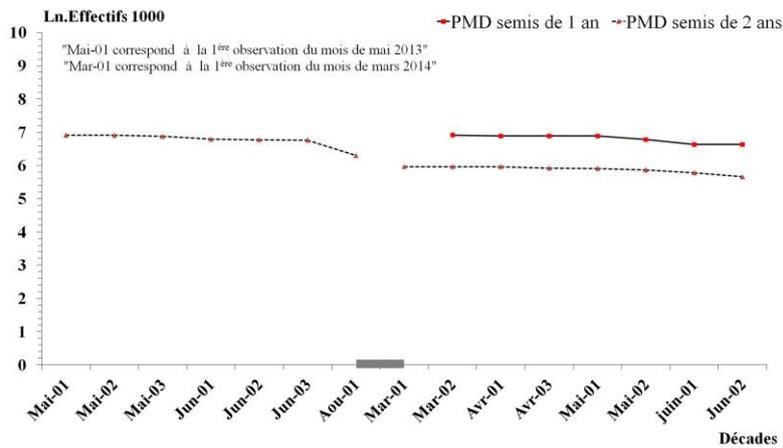
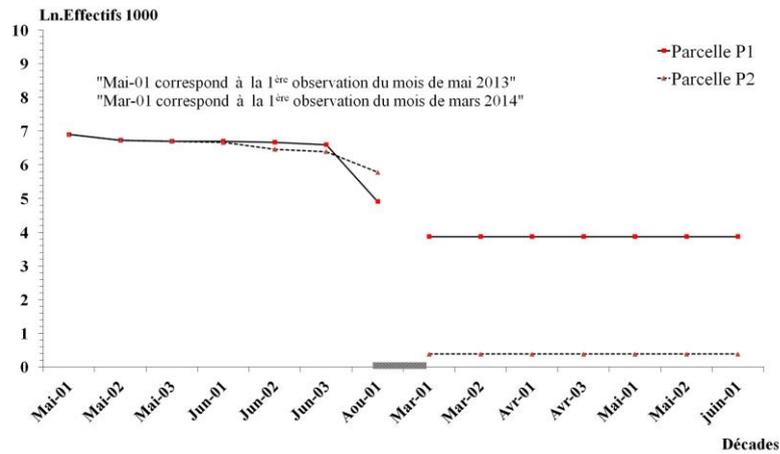
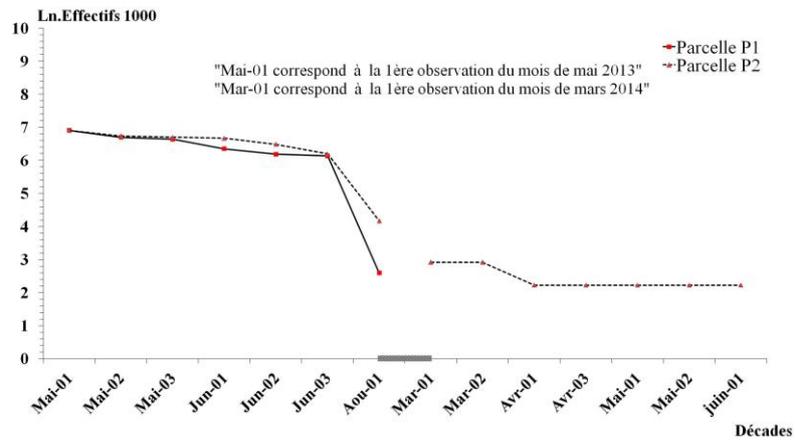


Figure 4.— Courbes de survie en fonction du temps des parcelles : (a, haut) P1 et P2 de la station Kerrache ; (b, milieu) P1 et P2 de la station Forêt Noire ; (c, en bas) parcelle mise en défens.

ÉTUDE DE LA CROISSANCE DES SEMIS DE CÈDRE

Les mesures des élongations des parties aériennes et souterraines ont pour objectif de mettre en évidence des potentialités offertes par les quatre parcelles. L'analyse de la variance de ces deux parties (Tab.VI) montre des différences significatives entre les moyennes des parcelles, à l'exception de KP2 et FNP2 pour l'élongation souterraine.

TABLEAU VI

Analyse de la variance des élongations moyennes des parties aériennes et souterraines des individus

Elongations moyennes (cm)									
Paramètres	Modalités	Moyenne estimée	Erreur standard	Borne inférieure (95 %)	Borne supérieure (95 %)	Groupes			
Parties aériennes	KP2	2,10	0,08	1,95	2,25	A			
	FNP2	2,68	0,14	2,41	2,95		B		
	KP1	3,12	0,09	2,94	3,29			C	
	FNP1	6,78	0,13	6,52	7,03				D
Parties souterraines	FNP1	2,84	0,23	2,38	3,30	A			
	KP2	5,24	0,14	4,96	5,51		B		
	FNP2	5,33	0,25	4,85	5,84		B		
	KP1	6,67	0,16	6,35	6,98			C	

K : station de Kerrache ; FN : station de la Forêt Noire

Ces différences ne sont pas dues aux fluctuations d'échantillonnage mais peuvent être liées aux potentialités des parcelles. FNP1 enregistre la moyenne de croissance aérienne la plus élevée (6,78). Cette parcelle présente une strate arborée élaguée permettant d'une part un éclaircissement favorable pour la croissance des germinations et, d'autre part, une accessibilité accrue favorisant la fréquentation par l'homme et les animaux (piétinement, broutage, etc.). Ce deuxième élément peut être à l'origine de la faible élongation des parties souterraines (2,84), le sol devenant de plus en plus compact et donc moins perméable à la pénétration des racelles. Les semis de KP1 présentent la deuxième moyenne d'élongation aérienne (3,12) représentant 50 % de celle de FNP1. Cette valeur est en relation avec le couvert assez dense, engendré par une structure végétale mixte à Cèdres hauts et dominants (semenciers) et un sous-étage à cépées de Chêne vert, ce qui confère aux semis une lumière insuffisante pour atteindre des croissances aériennes élevées. L'importance de la croissance souterraine moyenne (6,67) témoignerait de la fertilité du sol et de sa perméabilité. Les individus de FNP2 enregistrent une moyenne aérienne plus faible (2,68) que la parcelle précédente. Elle montre une structure fermée et ombragée, induite par des arbres rapprochés, ne laissant passer que très peu de lumière pour les semis. Au plan édaphique, cette parcelle offre un sol forestier profond et riche en humus, permettant ainsi aux semis d'atteindre la deuxième meilleure moyenne d'élongation (5,35) pour les parties souterraines. La parcelle KP2 enregistre la plus faible moyenne aérienne (2,10). Composée majoritairement de jeunes individus de Cèdres, elle représente un milieu ouvert (forte luminosité) avec une strate herbacée importante, dominée par des graminées pouvant concurrencer les semis et limiter leur croissance en hauteur. Cette forte luminosité induit d'importantes pertes de réserves hydriques, préjudiciables à la croissance des semis déjà en compétition.

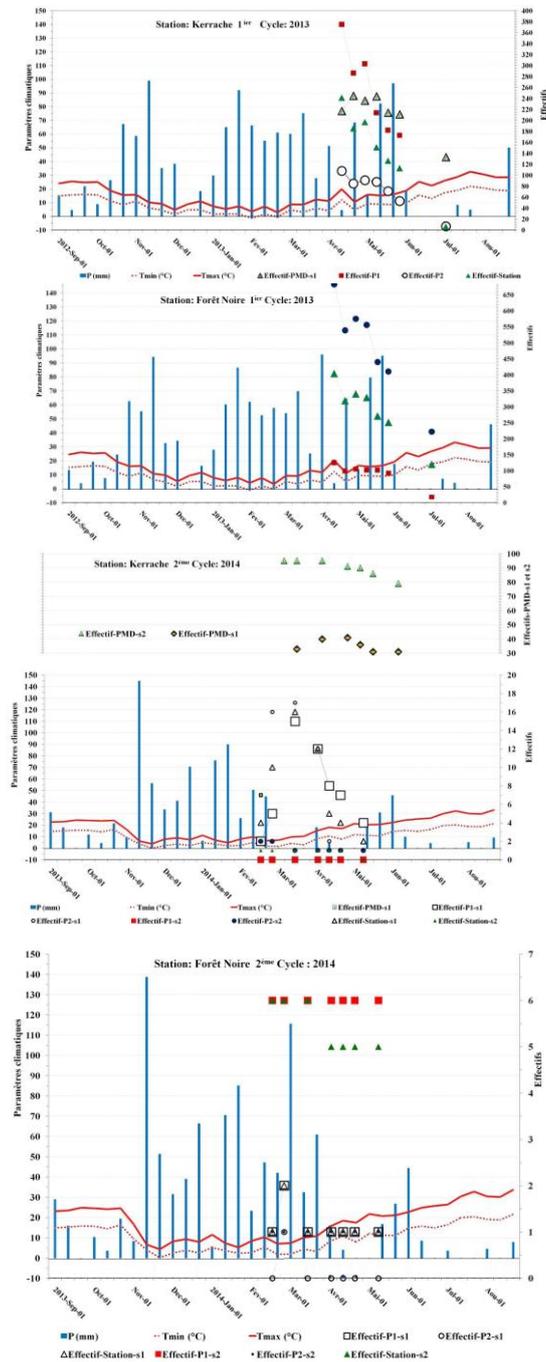


Figure 5.— Relation effectifs - paramètres climatiques en 2013 : (a, 1^{er} du haut) dans la station de Kerrache ; (b, 2^e du haut) dans la station Forêt Noire ; en 2014 (c, 3^e du haut) dans la station de Kerrache ; (d, bas) dans la station Forêt Noire. Précipitation par décennie en millimètres ; T « min » (°C) : Température minimale par décennie en degrés Celsius ; T « max » (°C) : Température maximale par décennie en degrés Celsius ; P1 : Parcelle 1 ; P2 : Parcelle 2 ; PMD : Parcelle mise en défens ; s1 : semis d'un an ; s2 : semis de deux ans.

RELATIONS RÉGÉNÉRATION - PARAMÈTRES CLIMATIQUES

Effectifs-climat

La régénération naturelle des peuplements forestiers est soumise à diverses contraintes environnementales qui interviennent surtout dans les premiers stades de développement des semis (Candau & Chalon, 2009). Les graphes montrent globalement la même allure avec des levées importantes pendant les premières décades du mois de mai en 2013 (Fig. 5a, 5b) et du mois de mars en 2014 (5c, 5d). Ces dates correspondent à des températures de germination où «Tmin» et «Tmax» enregistrent des valeurs supérieures ou égales, respectivement à 5 et 10 °C. Pour le premier cycle, malgré le maintien de ces températures, la deuxième décade du mois de mai est marquée par une chute importante, suivie d'une reprise à la troisième décade sans doute liée à un apport pluviométrique avoisinant les 100 mm. Après cette date, les effectifs diminuent considérablement. Le deuxième cycle est caractérisé par des régénérations faibles quel que soit leur âge (s1 et s2); les pluviosités moyennes annuelles sont moins importantes, avec respectivement 960 et 1110 mm pour Kerrache et la Forêt Noire, contre 1378 et 1337 mm pour 2013. Les hivers sont pluvieux (400 mm) pour les deux cycles et les phases printanières beaucoup plus arrosées en 2013. Kerrache et la Forêt Noire bénéficient respectivement de 483 et 502 mm en 2013 et 73 et 273 mm en 2014. Quant aux saisons estivales, elles comptent des valeurs faibles (70 mm). À cette baisse sensible de la pluviométrie est associé l'effet de l'élévation des températures à partir du mois de juin où «Tmin» et «Tmax» avoisinent respectivement des valeurs de 20°C et de 30°C, ce qui pourrait expliquer en partie le faible taux de germination observé en 2014.

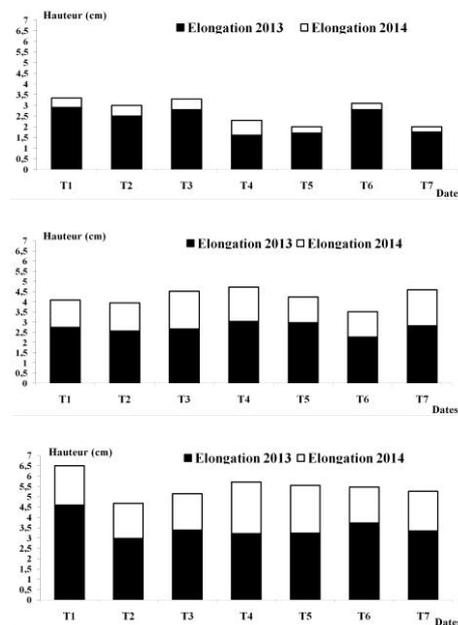


Figure 6.— Élongation de la hauteur des semis de 2ans : (a, en haut) dans la station Kerrache ; (b, au centre) dans la station Forêt Noire ; (c, en bas) dans la parcelle mise en défens.

Croissance-climat

L'objectif est de mettre en évidence l'effet des variations interannuelles du climat sur la croissance en hauteur des semis installés en 2013. Les figures 6a,b,c montrent que la croissance en

hauteur des semis de cèdre de deux ans (s2) a été plus importante durant l'année 2013. Le cycle 2014 est caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle moins importante, avec un moindre apport printanier. Bien que les individus de Kerrache et de la parcelle mise en défens (Fig. 6c) subissent le même climat, les individus mis en défens montrent les meilleures elongations pour les deux cycles, ce qui permet de souligner l'effet du facteur anthropozoogène.

DISCUSSION

La variation de l'abondance et de la croissance des semis est liée aux effets combinés de la compétition racinaire et des conditions de lumière (Karschon, 1973) qui déterminent l'installation et le développement de la régénération naturelle sous couvert (Baraloto, 2003 ; La Mela Veca *et al.*, 2013). L'effet améliorant du couvert arboré serait lié à son rôle sur la filtration et la disponibilité de la lumière (Gaudio *et al.*, 2011 ; Celle *et al.*, 2014), le couvert, en abaissant les niveaux de radiation, maintiendrait des conditions microclimatiques de température, d'humidité de l'air et d'équilibre hydrique du sol favorables à la germination et à l'établissement des semis (Lookingbill & Zavala, 2000). Dans notre cas, l'impact de la lumière a été indirectement apprécié par les relations établies entre l'importance relative des paramètres dendrométriques (densité, recouvrement de la strate arborée et circonférence à 1,30 m) qui constitueraient de bons indicateurs des conditions écologiques de croissance (Zhang & Chauret, 2001 ; Adili, 2012).

Malgré le fort recrutement enregistré en 2013, les taux de survie de la parcelle FNP2 (hors mise en défens) passent de 33 à 0 % en 2014. Les taux de survie optimaux (54, 76 et 83 %) obtenus dans la parcelle mise en défens souligneraient l'importance de la mise en défens pour la réussite de la régénération. En effet, les forts recrutements enregistrés (683 et 375) dans de bonnes conditions trophiques et hydriques (FNQ1P2, KQ1P1) associés à l'existence de microsites favorables à leur installation (faible compétition herbacée, sol profond, etc.) sont, dans la majorité des cas, corrélés à des taux de survie faibles, voire nuls. Ces pertes s'expliqueraient par leur accessibilité et par des perturbations causées par des coupes d'arbres, débardages de bois, élagages et apports de matériaux. Cela confirme le rôle joué par la structure de la cédraie et par la strate herbacée dans la survie des semis, et l'importance de l'action anthropozoogène qui s'avère déterminante et masque les potentialités écologiques et biologiques des microsites.

Les meilleurs taux de régénération et de croissance en hauteur sont atteints sous des couverts végétaux moyens, cas de la parcelle FNP1. Ainsi, un couvert modéré suffirait à réduire l'évapotranspiration et à protéger les jeunes semis (Ezzahiri & Belghazi, 2000 ; Gomez-Aparicio *et al.*, 2004). Une végétation très dense, à sous-étage pauvre en lumière, réduit considérablement l'activité photosynthétique et les régénérations ne peuvent survivre plus d'une année (La Mela Veca *et al.*, 2013). À l'opposé, un couvert trop clair peut être nuisible à ces dernières par les radiations nocives (ratio rouge clair/rouge sombre) qui peuvent atteindre le sol et altérer la croissance des semis (Lamhamedi & Chbouki, 1994 ; Gómez-Aparicio *et al.*, 2006), telle la parcelle KP2 à faibles taux de survie. L'effet favorable de la lumière dans la précocité d'apparition des germinations de cèdre et leur installation est capital ; il demeure toutefois néfaste pour leur devenir à l'approche de la période estivale (Lepoutre, 1964).

Le taux de survie peut varier aussi avec l'existence d'un sous-étage arbustif. Par son effet facilitateur ce dernier assure aux plants une protection mécanique contre les animaux (broutage, piétinement) et les protège des aléas climatiques (pluies torrentielles, froids exceptionnels). D'autre part, il fournit un microclimat améliorant la disponibilité en eau et en éléments nutritifs dans le sol (Ezzahiri *et al.*, 1999 ; Lopez Pintor *et al.*, 2000 ; Chambers, 2001 ; Gomez-Aparicio *et al.*, 2004 ; Guedira *et al.*, 2008). Cet effet bénéfique a été notamment observé dans la parcelle KP1, sous Genévrier oxycèdre avec un taux de survie de 100 % ou sous Chêne vert (41 %). Ce

dernier constituerait une excellente structure d'accueil pour les semis de Cèdre (Marion, 1955 ; Pujos, 1966). Toutefois, un couvert angulaire minimum de l'ordre de 3/8 serait nécessaire (Addar & Oudineche, 1994 ; Addar, 2003). L'effet facilitateur ne serait toutefois effectif qu'au cours des premiers stades d'établissement. Un effet compétitif (pour la lumière ou l'eau) négatif sur la survie des jeunes semis a été rapporté chez les conifères (Royce & Barbour, 2001 ; Adili, 2012). Le couvert végétal influencerait aussi sur la nature et l'évolution de la litière (Cochet, 1973). L'efficacité de cette dernière est étroitement liée à son taux de recouvrement qui jouerait des rôles antagonistes : facilitateur par un taux modéré, considéré dans ce cas comme lieu d'installation privilégié de plusieurs conifères (Lachaussée, 1947 ; Mac Cullough, 1948 ; Dimbleby, 1953 ; Moreau & Poly, 1968 ; Gensac, 1990 ; Cornett *et al.*, 1997 ; Mori *et al.*, 2004 ; Harvey & Brais, 2007) et inhibiteur par une épaisseur importante, constituant un obstacle empêchant les racines des plantules et des semis d'atteindre les premiers horizons minéraux (Addar, 2003), ce qui pourrait expliquer en partie la plus faible moyenne d'élongation racinaire (2,84) de FNP1. Ce rôle de barrière mécanique, limitant l'émergence des semis, a été également souligné par Jiao-Jun *et al.* (2003) pour les pinèdes. La litière des résineux peut aussi constituer un obstacle majeur à la germination, soit par l'action inhibitrice des substances allélopathiques produites (Duchaufour & Rousseau, 1959 ; Gallet & Pélissier, 2002), soit par intoxication des semis par l'accumulation du manganèse dans les humus (Becker & Drapier, 1984 ; Fisher, 1987 ; Kill, 1992). La germination et l'émergence des semis seraient ainsi deux étapes-clés, particulièrement sensibles à la présence de litière (Facelli & Pickett, 1991). Cette dernière est considérée comme le facteur le plus déterminant chez le Pin pignon (Adili, 2012).

La strate herbacée peut avoir des rôles antagonistes sur le développement des semis. Dans les milieux ouverts, en période humide et au début des germinations, elle joue un rôle d'écran vis-à-vis des rayons lumineux. Mais, en période estivale, les herbacées concurrencent fortement les semis pour l'eau et la nutrition minérale (Nambiar & Sands, 1993 ; Ezzahiri *et al.*, 1994 ; Ponge *et al.*, 1994 ; Watt *et al.*, 2004 ; La Mela Veca *et al.*, 2013). L'effet de l'environnement local sur la survie des semis prend donc toute son importance.

Le niveau de régénération est d'autant plus marqué que le recouvrement végétal au sol est plus faible (Karschon, 1973) telles les parcelles KP1 et FNP2 qui montrent des effectifs élevés (375 et 683) avec des strates herbacées faibles (< 10 %) par opposition à KP2, qui est la plus enherbée (61 %), et qui présente les taux de régénération les plus faibles (108). Cette compétition herbacée apparaît nettement comme le facteur le plus défavorable, surtout au cours de la saison d'installation des semis (Becker & Lévy, 1983 ; Loisel, 1966).

Le Cèdre de l'Atlas donne un meilleur développement sur des sols profonds, meubles, où les semis arrivent à développer un système racinaire vigoureux et profond leur permettant d'échapper à la sécheresse estivale (Boudy, 1950 ; Schönerberger, 1970 ; Toth, 1971 ; Toth & Turrel, 1981 ; Malki, 1992). L'ensemble des parcelles, à l'exception de FNP1, présentent des élongations racinaires moyennes assez élevées, dépassant 5 cm en moins d'un mois. La faible valeur (2,84) au niveau de FNP1 pourrait être aussi liée à la perturbation du sol induite par une fréquentation et une activité pastorale plus intenses. Les croissances observées au niveau de nos stations restent inférieures à celles enregistrées au Maroc pour la même espèce où elles atteignent un développement de 15 cm en trois mois (Lepoutre, 1961) ; cette différence pourrait s'expliquer par les germinations plus tardives dans nos stations.

Notons que les meilleures croissances souterraines de KP2 (5,24 cm) et KP1 (6,67 cm) ne correspondent pas forcément aux plus forts taux de survie avec respectivement 6 et 1%. Ces résultats pourraient provenir des dégradations anthropiques (coupes, élagage, etc.) survenues à la fin du premier cycle d'observation. L'activité anthropozogène se manifeste sur la croissance et la survie des semis, d'une part, par leur consommation, en mélange avec la végétation herbacée (Fortuny *et al.*, 2012) et, d'autre part, de manière indirecte par la modification de la structure de la

végétation et du sol. Le bétail perturbe le sol via des phénomènes de broutage et de compaction du sol (Hulme & Borelli, 1999 ; Smith *et al.*, 2006a), voire de déterrement des semis par le labourage des sangliers. L'importance de la perturbation vis-à-vis du devenir des semis l'emporte sur les potentialités des parcelles. L'impact anthropozoogène demeurerait sans conteste dans tous les milieux un obstacle majeur aux régénérations du Cèdre (Ezzahiri & Belghazi, 2000) et compromettrait leur survie (Gauquelin *et al.*, 2012). Ces perturbations se traduisent globalement, au niveau des parcelles hors mise en défens, par de faibles élongations des parties aériennes et souterraines, des croissances réduites et des taux de survie presque nuls. Des observations ultérieures, en mise en défens, permettraient de vérifier ces résultats.

Le suivi de la régénération en relation avec les conditions climatiques permet de mettre en évidence l'importance des températures minimales et maximales pour le démarrage de la germination. Toutefois, les valeurs seuils requises pour les températures (« M » $\geq 10^{\circ}\text{C}$ et « m » $\geq 5^{\circ}\text{C}$) ne sont pas atteintes à la même période. C'est ainsi que pour le cycle 2013, les germinations tardives sont apparues à la première décade de mai alors qu'elles ont été plus précoces (troisième décade du mois de mars) lors du cycle 2014. Ces germinations précoces ont permis d'obtenir des taux de survie plus élevés qu'en 2013. Ces dernières ont plus de chance de passer le cap de la saison estivale par de meilleures élongations racinaires (Lepoutre, 1961 ; Gonzalez-Martinez *et al.*, 2010). Les variations interannuelles importantes observées au niveau des effectifs des semis dépendraient également de la production de graines viables, connue pour varier selon un cycle de 2 à 3 ans (Toth, 2005).

Notre étude montre par ailleurs l'importance des pluviosités printanières et surtout estivales dans le maintien et la croissance des semis. En effet, le déficit hydrique estival représente un véritable obstacle (Aussenac & Valette, 1982 ; Toth, 1987 ; Ezzahiri & Belghazi, 2000). Si la régénération naturelle dépend de la conjugaison de nombreux facteurs tels une production grainière suffisante, un sol réceptif et des conditions climatiques favorables à la germination et à la survie (Prévosto & Ripert, 2011), elle reste néanmoins tributaire de l'action anthropique.

CONCLUSION

L'analyse du déterminisme des facteurs biotiques et abiotiques sur la régénération a été appréhendée à différents niveaux d'observation, intra- et inter-stations.

Une analyse statistique comparative des observations a permis de mettre en exergue le rôle important du climat sur la germination et le potentiel de survie des semis en relation avec les variations journalières, saisonnières et interannuelles des paramètres climatiques (P, T_{min}, T_{max}), l'effet de versant, la topographie et l'altitude. Toutefois, la mise en évidence des facteurs régissant la dynamique des semis de Cèdre reste complexe. En effet, bien que le démarrage de la germination et la croissance soient bien mis en relation avec les variations intra- et interannuelles du climat, il n'en est pas de même pour la survie. Cette dernière serait liée également à l'effet aggravant voire déterminant de l'action anthropozoogène par référence à des situations de mise en défens, ainsi qu'à des processus aléatoires et de sélection naturelle (Pichot *et al.*, 2006).

Par ailleurs, il est souligné au niveau local, le rôle déterminant de la structure du peuplement qui influe par son degré d'ouverture, l'effet « facilitation » du sous-étage arbustif ou compétitif de la strate herbacée, ainsi que la réceptivité de la surface du sol. À cela s'ajouteraient les facteurs intrinsèques qui conditionnent le potentiel de production de graines.

Ces résultats préliminaires restent à conforter par une plus vaste investigation couvrant toute l'aire de répartition du Cèdre en Algérie et un suivi sur une plus longue période de temps de façon à intégrer les variations interannuelles. L'étude serait à compléter par l'évaluation d'autres paramètres, tels que l'éclairement ou la litière, appréciés ici de manière indirecte, ainsi que la

production grainière (quantité et qualité des graines), étude par ailleurs amorcée au niveau de la cédraie du Djurdjura.

L'expérimentation en conditions contrôlées aiderait aussi à discriminer la part des différents facteurs intervenant dans le contrôle de la régénération du Cèdre.

REMERCIEMENTS

Les relecteurs anonymes sont à remercier pour leur relecture critique de notre manuscrit. Y. Ait Ouakli, L. Nacef, S. Khoudir et R. Hourizi sont vivement remerciés pour leur contribution à la réalisation de ce travail.

RÉFÉRENCES

- ACHHAL, A., AKABLI O., BARBÉRO, M. BENABID, A., M'HIRIT, O., PEYRE, C., QUÉZEL, P. & RIVAS-MARTINEZ, S. (1980).— A propos de la valeur bioclimatique et dynamique de quelques essences forestières au Maroc. *Ecol. Méd.*, 5: 211-249.
- ADDAR, A. (2003).— *Analyse de la dynamique de la végétation et biodiversité des massifs orientaux et occidentaux du Djurdjura*. Thèse de Magister de l'Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB).
- ADDAR, A. & OUDINECHE, R. (1994).— *Diagnostic phytodynamique et aménagement intégré du massif de Lalla Khadidja (Djurdjura)*. Mémoire d'Ingénieur de l'Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB).
- ADILI, B. (2012).— *Croissance, fructification et régénération naturelle des peuplements artificiels de Pin pignon (Pinus pinea L.) au nord de la Tunisie*. Thèse de Doctorat de l'Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II.
- AIDROUS-LARBI, N. (2007).— *Exploration de la variabilité géographique des cèdres méditerranéens, Cedrus atlantica, Cedrus libani et Cedrus brevifolia*. Thèse de Magister de l'Institut National d'Agronomie d'Alger.
- AUSSENAC, G. & FINKELSTEIN, D. (1983).— Influence de la sécheresse sur la croissance et la photosynthèse du cèdre. *Ann. Sci. For.*, 40: 67-77.
- AUSSENAC, G. & VALETTE, J.C. (1982).— Comportement hydrique estival de *Cedrus atlantica* Manetti, *Quercus ilex* L. et *Quercus pubescens* Willd. et de divers pins dans le Mont Ventoux. *Ann. Sci. For.*, 39: 41-62.
- BARALOTO, C. (2003).— Régénération forestière naturelle: de la graine à la jeune tige. *Rev. For. Fr.*, 55: 179-187.
- BECKER, M. & DRAPIER, J. (1984).— Rôle de l'allélopathie dans les difficultés de régénération du sapin (*Abies alba* Mill). I. Propriétés phytotoxiques des hydrosolubles d'aiguilles de sapin. *Act. Oec. (Oecol. Plant.)*, 5: 347-356.
- BECKER, M. & LEVY, G. (1983).— Installation et dynamique d'une population de semis de chêne en milieu hydromorphe sous l'influence de divers facteurs (lumière, régime hydrique, compétition herbacée), *Acta Oec. (Oecol. Plant.)*, 4: 299-317.
- BENTOUATI, A. (2008).— La situation du cèdre de l'Atlas dans les Aurès (Algérie). *For. Méd.*, 29: 203-208.
- BENTOUATI, A. & BARITEAU, M. (2006).— Réflexions sur le dépérissement du cèdre de l'atlas, Aurès (Algérie). *For. Méd.*, 27: 317-322.
- BOUDY, P. (1950).— *Économie forestière nord-africaine: Monographies et traitements des essences forestières*. Larose, Paris.
- CANDAU, J.N. & CHALON, A. (2009).— L'impact des insectes parasites des graines sur les capacités de régénération naturelle des peuplements de cèdre de l'Atlas et de sapin pectiné en Languedoc-Roussillon. *For. Méd.*, 30: 239-244.
- CELLE, J., HUGONNOT, V. & BENNOIT, R. (2014).— Intérêt des bryophytes des micro-habitats pour le diagnostic fonctionnel des phytocénoses forestières : l'exemple de la forêt domaniale des Chambons (Ardèche, France). *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, 69: 85-100.
- CHAMBERS, J. (2001).— *Pinus monophylla* establishment in expanding *Pinus juniperus* woodland: environmental conditions, facilitation and interacting factors. *J. Veg. Sci.*, 12: 27-40.
- COCHET, P. (1973).— *Étude et culture de la forêt*. 3^{ème} édition. École nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts. Centre de Nancy.
- CORNETT, M.W. REICH, P.B. & PUETTMANN, K.J. (1997).— Canopy feedbacks and microtopography regulate conifer seedling distribution in two Minnesota conifer-deciduous forests. *Ecoscience*, 4: 353-364.
- DERRIDJ, A. (1990).— *Étude des populations de Cedrus atlantica Manetti en Algérie*. Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse.
- DIMBLEBY, G.W. (1953).— Natural regeneration of pine and birch on the heather moors of north-east Yorkshire. *Forestry*, 26: 41-52.

- DUCHAUFOR, PH. & ROUSSEAU, L.Z. (1959).— Les phénomènes d'intoxication des plantules de résineux par le manganèse dans les humus forestiers. *Rev. For. Fr.*, 12: 835-847.
- EZZAHIRI, M. & BELGHAZI, B. (2000).— Synthèse de quelques résultats sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas au Moyen Atlas (Maroc). *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 11: 79-84.
- EZZAHIRI, M., BELGHAZI, B. & BAHMAD, M. (1994).— Bilan de la régénération naturelle de la cédraie dans les parcelles clôturées du Moyen Atlas, Maroc. *Ann. Rech. For. Maroc*, 27 (36): 259-268.
- EZZAHIRI, M., BELGHAZI, B. & BARIS, M. (1999).— Étude de la régénération du cèdre de l'Atlas en fonction des propriétés physico-chimiques du sol des parcelles clôturées de Ouiouane Ajdir et d'Itzer. *Ann. Rech. For. Maroc*, 32: 44-53.
- FACELLI, J.M. & PICKETT, S.T.A. (1991).— Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. *Bot. Rev.*, 57: 1-32.
- FAUREL, L. (1947).— Note sur la cédraie de l'Atlas de Blida (Algérie), ses sols et ses associations végétales. *C.R. Cong. Pédol. Médit., Montpellier-Alger*, 474-480.
- FINKELSTEIN, D. (1981).— Influence des conditions d'alimentation hydrique sur le débourrement et la croissance de jeunes plants de cèdres (*Cedrus atlantica* Manetti) cultivés en serre. *Ann. Sci. For.*, 38: 513-530.
- FISHER, R.F. (1987).— Allelopathy: a potential cause of forest regeneration failure. Pp 176-184 In: G.R. Waller (ed.). *Allelochemicals: role in Agriculture and forestry*. American Chemical Society, Washington D.C.
- FLORES, O. (2005).— *Déterminisme de la régénération chez quinze espèces d'arbres tropicaux en forêt guyanaise: les effets de l'environnement et de la limitation par la dispersion*. Thèse de Doctorat de l'Université de Montpellier II-Sciences et Techniques du Languedoc.
- FORTUNY, X., GUARRIGUE, J., MAGDALOU, J.H., CHAUCHARD, S. & CARCAILLET, C. (2012).— Usages et biodiversité dans les forêts méditerranéennes, l'exemple du massif des Albères, Pyrénées orientales. *For. Méd.*, 33: 165-172.
- GALLET, C. & PÉLISSIER, F. (2002).— Interactions allélopathiques en milieu forestier. *Rev. For.*, 6: 567-576.
- GAUDIO, N., BALANDIER, P., PERRET, S. & GINISTY, C. (2011).— Growth of understory Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) saplings in response to light in mixed temperate forest. *Forestry*, 84: 187-195.
- GAUQUELIN, T., CHONDROYANNIS, P., BOUKHDOUD, N., BOUYSSOU, M., BRUNEL, C., DANNEYROLLES, V., DELFORGE, Q., GUIRAUD, M., MARCHAND, C., MATHAUX, C., ORIGHONI, H., QUENT, M., SBEITI, S. & SINET, R. (2012).— Le genévrier thurifère, espèce partagée au nord et au sud de la Méditerranée. *For. Méd.*, 33: 227-240.
- GENSAC, P. (1990).— Régénération en altitude de l'épicéa (*Picea abies* (L) Karst) sur les souches dans les Alpes françaises. *Ann. Sci. For.*, 47: 173-182.
- GÓMEZ-APARICIO, L., VOLLADARES, F. & ZAMORA, R. (2006).— Differential light responses of Mediterranean tree saplings: linking ecophysiology with regeneration niche in four co-occurring species. *Tree Physiol.*, 26: 947-958.
- GÓMEZ-APARICIO, L., ZAMORA, R., GÓMEZ, J.M., HÓDAR, 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. Appl.*, 14: 1128-1138.
- GONZALEZ-MARTINEZ, C.S., GRIVET, D. & VENDRAMIN, G.G. (2010).— Contributions de la recherche de gène candidat pour la compréhension du rôle de la diversité génétique dans la réponse adaptative des conifères méditerranéens à la sécheresse. *For. Méd.*, 31: 369-372.
- GUEDIRA, A., SATRANI, B. & DOUIRA, A. (2008).— Effet de la densité de *Cytisus grandiflorus* (Brot.) DC. sur la fertilité du sol en azote et son influence sur la croissance d'une plantation de cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti). *Acta Bot. Gallica*, 155: 375-387.
- HARVEY, B.D. & BRAIS, S. (2007).— Partial cutting as an analogue to stem exclusion and dieback in trembling aspen (*Populus tremuloides*) dominated boreal mixed woods: implications for deadwood dynamics. *Can. J. For. Res.*, 37: 1525-1533.
- HULME, P.E. & BORELLI, T. (1999).— Variability in post-dispersal seed predation in deciduous woodland: relative importance of location, seed species, burial and density. *Plant Ecol.*, 145: 149-156.
- JIAO-JUN, Z., TAKESHI, M., FENG-QUIN, L. & YUTAKA, G. (2003).— Effect of gap size created by thinning on seedling emergency, survival and establishment in a coastal pine forest. *For. Ecol. Manage.*, 182: 339-354.
- KARSCHON, R. (1973).— Natural regeneration after fire of Alep pine. *Forestry Division, Agricultural re-search organisation, La Yaaran*, 23: 36-38.
- KILL, B.S. (1992).— Effect of pine allelochemicals on select species in Korea. Pp. 205-241 In: S.J.H. Rizvi & V. Rizvi (eds). *Allelopathy: Basic and applied aspects*. Chapman et Hall, London.
- KILLIAN, C. & MARTIN, M. (1957).— Érosion, humification, respiration des sols dans le massif de Chréa. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nor.*, 48: 6-15.
- KROUCHI, F. (2010).— *Étude de la diversité de l'organisation reproductive et de la structure génétique du cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica Manetti) en peuplement naturel (Tala-Guilef, Djurdjura nord-ouest, Algérie)*. Thèse de Doctorat de l'Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou (UMMTO).
- LACHAUSSÉE, E. (1947).— La régénération de l'épicéa en haute montagne. *Rev. Eaux For.*, 85: 281-302.

- LA MELA VECA, D.S., FERRARA, S. & MAETZK, F.G. (2013).— Les reboisements en cèdre de l'Atlas en Sicile. *For. Méd.*, 34: 13-24.
- LAMHAMED, M. & CHBOUKI, N. (1994).— Les principaux facteurs influençant la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). *Ann. Rech. For. Maroc*, 27: 243-257.
- LEPOUTRE, B. (1961).— Recherches sur les conditions édaphiques de régénération des cédraies marocaines. *Ann. Rech. For. Maroc*, 6: 1-211.
- LEPOUTRE, B. (1964).— Suite d'observations sur la régénération du cèdre par taches. *Ann. Rech. For. Maroc*, 7: 1-20.
- LEPOUTRE, B. & PUJOS, A. (1964).— Facteurs climatiques déterminant les conditions de germination et d'installation des plantules de cèdre. *Ann. Rech. For. Maroc*, 7: 21-54.
- LOISEL, R. (1966).— Germination du Pin d'Alep au niveau de certaines associations végétales de Basse-Provence. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 113: 5-6 et 324-330.
- LOOKINGBILL, T.R. & ZAVALA M.A. (2000).— Spatial pattern of *Quercus ilex* and *Quercus pubescens* recruitment in *Pinus halepensis* dominated woodlands. *J. Veg. Sci.*, 11: 607-612.
- LOPEZ PINTOR, A., ESPIGARES, T., REY-BENYAS, J.M. & GOMEZ-SAL, A. (2000).— Effect of simulated parent-created microenvironment conditions on germination of *Retama sphaerocarpa* (L) Boiss. seeds. *J. Medit. Ecol.*, 1: 219-226.
- MAC CULLOUGH, H.A. (1948).— Plant succession on fallen logs in a virgin spruce-fir forest. *Ecology*, 29: 508-513.
- MALKI, H. (1992).— *Contribution à l'étude de l'influence du climat et des facteurs physiques sur la régénération du cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica Manetti) dans les monts du Belezma (Algérie)*. Thèse de doctorat à l'Université de Paris-Sorbonne.
- MARION, J. (1955).— La régénération naturelle du cèdre dans les cédraies du rebord septentrional du Moyen Atlas occidental calcaire. *Ann. Rech. For. Maroc*, 1: 31-151.
- MEDDOUR, R. (1994).— La cédraie de l'Atlas blidéen (Algérie): valeurs bioclimatique, syntaxonomique et dynamique. *Ann. Rech. For. Maroc*, 27: 105-127.
- M'HIRIT O. (1982).— *Étude écologique et forestière des cédraies du Rif Marocain: essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du cèdre (Cedrus atlantica Manetti)*. Thèse de doctorat à l'Université St Jérôme, Marseille.
- M'HIRIT, O. (1999).— Le cèdre de l'Atlas à travers le réseau Silva Mediterranea "Cèdre". Bilan et perspectives. *For. Méd.*, 20: 91-100.
- M'HIRIT, O., BENZYANE, M. & BLÉROT, P. (2006).— *Le cèdre de l'Atlas : Mémoire du temps*. Mardaga.
- M'HIRIT, O. & MAGHNOUJ, M. (1994).— Stratégie de conservation des ressources génétiques forestières au Maroc. Pp 123-138 in : *Les ressources phytogénétiques et développement durable*. Actes Editions, Rabat, Maroc.
- MOREAU, R. & POLY, J. (1968).— La régénération de l'Épicéa dans les forêts de haute altitude. *Bulletin trimestriel de la société forestière de Franche-Comté et des provinces de l'Est*, 2-12 et 33-47.
- MORI, A., MIZUMACHI, E., OSONO, T. & DOI, Y. (2004).— Substrate-associated seedling recruitment and establishment of major conifer species in an old-growth subalpine forest in central Japan. *For. Ecol. Manage.*, 196: 287-297.
- NAMBIAR, E.S. & SANDS, R. (1993).— Competition for water and nutrients in forests. *Can. J. For. Res.*, 23: 1955-1968.
- PHILIPPE, G. (2006).— Partie I : du méristème à la graine. In: J. Baudel (ed.). *Reproduction sexuée des conifères et production des semences en verger à graines*. Collection Synthèses, Cemagref.
- PICHOT, C., BASTIEN, C., COURBET, F., DEMESURE-MUSCH, B., DREYFUS, P., FADY, B., FRASCARIA-LACOSTE, N., GERBER, S., LEFÈVRE, F., MORAND-PRÉRIEUR, M-E., ODDOU, S., TESSIER DU CROS, E. & VALADON, A. (2006).— Déterminants et conséquences de la qualité génétique des graines et semis lors de la phase initiale de régénération naturelle des peuplements forestiers. *Les actes du BRG*, 6: 277-297.
- PONGE, J.F., ANDRÉ, J., BERNIER, N. & GALLET, C. (1994).— La régénération naturelle, connaissances actuelle : le cas de l'épicéa en forêt de Macot (Savoie). *Rev. For. Fr.*, 46: 25-45.
- PRÉVOSTO, B. & RIPERT, C. (2011).— Les forêts mélangées en région méditerranéenne : quels bénéfices et comment créer le mélange? *For. Méd.*, 32: 187-196.
- PUJOS, A. (1966).— Les milieux de la cédraie marocaine. Étude d'une classification des cédraies du Moyen Atlas et du Rif en fonction du sol et du climat de la régénération actuelle dans les peuplements. *Ann. Rech. For., Maroc*, 8: 1-283.
- ROYCE, E.B. & BARBOUR, M.G. (2001).— Mediterranean climate effects. I. Conifer water use across a Sierra Nevada ecotone. *Amer. J. Bot.*, 88: 911-918.
- SCHÖNENBERGER, A. (1970).— Étude du couvert végétal de l'Aurès Oriental. *F.A.O., Projet Algérie*, 15: 1-42.
- SMITH, C., GUSBERTY, M. & MÜLER-SCHÄRER, H. (2006).— Safe for saplings: safe for seeds? *For. Ecol. Manage.*, 237: 471-477.

- TAN, B.S. & BRUCKERT, S. (1992).— Effet des facteurs physiques de l'environnement sur les premiers stades de la régénération naturelle du sapin pectiné (*Abies alba* Mill) dans certaines stations du Jura. *Ann. Sci. For., EDP Sciences*, 49: 337-350.
- TOTH, J. (1970).— Plus que centenaire et plein d'avenir : le cèdre en France. *Rev. For. Fr.*, 22: 355-364.
- TOTH, J. (1971).— Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti.) en France. *Bulletin de la vulgarisation forestière*, 4: 1-9.
- TOTH, J. (1978).— *Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica Manetti) dans le sud de la France*. Thèse de Doctorat Ingénieur à la Faculté de St Jérôme, Marseille.
- TOTH, J. (1980).— Le cèdre dans quelques pays du pourtour méditerranéen et dans deux autres pays à grande importance forestière. *For. Méd.*, 2: 23-30.
- TOTH, J. (1987).— Effets des facteurs d'environnement sur l'accroissement du cèdre de l'Atlas. *Bulletin Société et Nature du Vaucluse* : 71-77.
- TOTH J. (2005).— *Le cèdre de France: étude approfondie de l'espèce*. Éditions L'Harmattan, Paris.
- TOTH, J. & TURREL, M. (1981).— Croissance radiale et longitudinale de quelques résineux en fonction de l'alimentation en eau. *Mitteilungen-Vienna, Forstliche Bundesversuch.*, 142: 177-192.
- WATT, M.S., KIMBERLY, M.O., RICHARDSON, B., WHITEHEAD, D. & MASON, E.G. (2004).— Testing a juvenile tree growth model sensitive to competition from weeds, using *Pinus radiata* at two contrasting sites in New Zealand. *Can. J. For. Res.*, 34: 1985-1992.
- ZHANG, S.Y. & CHAURET, G. (2001).— *Impact of initial spacing on tree and wood characteristics, product quality and value recovery in black spruce (Picea mariana)*. Canadian Forest Service Report 35, Forintek Canada Corp.
- ZINE EL ABIDINE, A.Z., LAMHAMEDI, M.S. & TAOUFIK, A. (2013).— Relations hydriques des arbres sains et dépérissants de *Cedrus atlantica* Manetti au Moyen Atlas Tabulaire au Maroc. *Géo. Eco. Trop.*, 37: 157-176.