

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU
FACULTÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Foresterie
Option : Sciences forestières

ÉTUDE DE LA VARIABILITÉ MORPHOLOGIQUE DES AIGUILLES DU PIN NOIR DU DJURDJURA

(*Pinus nigra ssp. Mauretanica*)

Élaboré par:

MOULOUDJ MOHAMMED ANIS - MOSTEFAI MOHAMED AMINE

Devant le jury :

Président : **Mr. RABHI K.** Professeur à l'UMMTO
Promotrice : **Mme. ADJAUD D.** Maître-assistante classe A à l'UMMTO
Examineur : **Mr. METNA B.** Maître-assistant classe A à l'UMMTO

Année universitaire: 2022-2023

Remerciements.

Nous remercions Mr. RABHI K. Professeur à l'UMMTO
d'avoir accepté la présidence du jury et son aide.

Mr. METNA B. Maitre-assistant classe A à l'UMMTO
pour avoir bien voulu nous accorder une partie de son
temps pour examiner notre travail et ainsi que ses
suggestions.

Ainsi que Mme. ADJAOU D. Maitre-assistante classe
A à l'UMMTO pour avoir accepté de nous encadré.

Sans oublier Mme HAMIDOU CHE-SIMOHAMMED
Ch. Maitre-assistante classe A à l'UMMTO pour toutes
ces interventions lors de la réalisation de ce présent
travail.

Liste des abréviations.

Cir ; circonférence

NLSD ; nombre de ligne de stomates dorsale

NLSV ; nombre de ligne de stomates ventrale

M ; maxima

m ; minima

p ; précipitations

T ; températures

Lon ; longueur

Lar ; largeur

Ép ; épaisseur

ACP ; analyse en composantes principales

CV ; coefficient de variation

X ; moyenne

SD ; écart type

ANOVA ; analyse de la variance

Den ; Densité

Liste des figures.

- Figure 1 : Carte représentant la distribution des parcelles en plus de la chorologie simplifiée.
- Figure 2 : Arbre du Pin noir ssp mauretanic.
- Figure 3 : Aiguilles du Pin noir
- Figure 4 : chatons femelles du Pin noir
- Figure 5 : Chatons mâles du Pin noir
- Figure 6 : Cône mature du Pin noir
- Figure 7 : Écorce du Pin noir
- Figure 8 : Cycle de reproduction chez le Pin noir du Djurdjura (Asmani, 1993 modifié par Hedjam, 2019)
- Figure 9 : Températures minimales et maximales et moyennes mensuelles des températures Tigounatine et Tikjda centre (HEDJAM, 2019).
- Figure 10 : Courbe d'accroissement de la pluie selon Seltzer (1946).
- Figure 11 : Pluviométrie moyenne mensuelle des stations d'études pendant la période. Tigounatine et Tikjda Centre (HEDJAM, 2019)
- Figure 12 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gaussen pour Tigounatine et Tikjda Centre.
- Figure 13 : Situation des stations d'étude dans le climagramme d'Emberger
- Figure 14 : Histogramme représentant la longueur en fonction de la circonférence
- Figure 15 : histogramme représentant la largeur en fonction de la circonférence
- Figure 16 : histogramme représentant l'épaisseur en fonction de la circonférence
- Figure 17 : histogramme représentant le nombre de ligne de stomates (dorsale, ventrale) en fonction de la circonférence
- Figure 18 : histogramme représentant la longueur des aiguilles en fonction de la densité du bouquet
- Figure 19 : histogramme représentant la largeur des aiguilles en fonction de la densité du bouquet
- Figure 20 : histogramme représentant l'épaisseur des aiguilles en fonction de la densité du bouquet
- Figure 21 : histogramme représentant le nombre de ligne de stomates (face dorsale, ventrale) en fonction de la densité des bouquets
- Figure 22 : histogramme représentant la longueur des aiguilles en fonction de l'exposition

Figure 23 : histogramme représentant la largeur des aiguilles en fonction de l'exposition

Figure 24 : histogramme représentant l'épaisseur des aiguilles en fonction de l'exposition

Figure 25 : histogramme représentant le nombre de ligne de stomates (dorsale, ventrale) en fonction de l'exposition

Figure 26 : cercle de corrélation

Figure 27 : plan factoriel de l'analyse en composantes principales et les groupes obtenus

Liste des tableaux.

Tableau 1 : situation géographique de la station d'étude

Tableau 2 : Températures et précipitations moyennes au niveau de tikjda (Hedjam, 2010)

Tableau 3 : Quotient pluviothermique d'Emberger

Tableau 4 : distribution des bouquets (densité) et des arbres (circonférence)

Tableau 5 récapitulatif des moyennes générales

Tableau 6 : résultats de l'analyse de la variance

Tableau 7 : Valeurs propres des axes

Tableau 8 : cosinus carrés des variables

Tableau 9 : Matrice de corrélation

Tableau 10; comparatif de nos moyennes et celles des travaux précédents

Tables des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction.....	01
-------------------	----

Chapitre I : bibliographie

1- Historique et origine	3
2- Symbolisme et mythologie	3
3- Systématique du pin noir	4
4- Aire de répartition naturelle	6
4.1- Dans le monde.....	6
4.2- En Algérie	6
5- Aire de répartition artificielle.....	7
5.1- Dans le monde.....	7
5.2- en Algérie	7
6- Caractères morphologiques du pin noir	9
7- Phénologie.....	11
8- Facteurs de répartition.....	12
8.1- Climat.....	12
8.2- Altitude	12
8.3- Précipitations.....	13
8.4- Températures.....	13
8.5- Substrat	13
8.6- Cortège floristique	14
9- Maladies et menaces	15
10- Importance et usage	15

Chapitre II matériel et méthode

1- Présentation de la zone d'étude.....	18
1.2- Situation géographique et géologie.....	18
1.3- Pédologie.....	18
1.4- Conditions climatiques.....	19
1.4.1- Températures.....	19

1.4.2- Précipitations.....	20
1.4.3- Précipitations saisonnières	21
1.4.4- Neige	21
1.4.5- Vents	22
5- Synthèse climatique	22
5.1- Diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gaussen	22
5.2- Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger	23
6- Matériel	25
6.1- Échantillons.....	25
6.2- Équipement	25
7- Méthode	25
7.1- Collecte des échantillons	25
7.2- Identification et étiquetage des échantillons	25
7.3- Distribution des arbres	26
7.4- Biométrie des aiguilles	26
7.5- Méthodes d'analyse des résultats.....	26

Chapitre III résultats et discussion

1- Effet de l'arbre (circonférence) sur la morphologie des aiguilles.....	29
1.1- Longueur des aiguilles	29
1.2- Largeur des aiguilles	30
1.3-épaisseur des aiguilles.....	31
1.4-Nombre de lignes de stomates dorsales (NLSD).....	31
1.5-Nombre de lignes de stomate ventrales (NLSV)	32
2- Effet du bouquet (densité) sur la morphologie des aiguilles.....	32
2.1- Longueur des aiguilles	33
2.2- Largeur des aiguilles	34
2.3-épaisseur des aiguilles.....	35
2.4-nombre de lignes de stomates dorsales (NLSD)	35
2.5-nombre de lignes de stomate ventrales (NLSV)	35
3- Effet de l'exposition sur la morphologie des aiguilles	36
3.1- Longueur des aiguilles	36
3.2- Largeur des aiguilles	37
3.3-Épaisseur des aiguilles	38

3.4-Nombre de lignes de stomates dorsales (NLSD)	39
3.5-Nombre de lignes de stomate ventrales (NLSV)	39
4- Résultats de l'analyse de la variance.....	40
5- Résultats de l'analyse en composantes principales (ACP)	43
6- Matrice de corrélation	47
7- Discussion	50
Conclusion	55

Références bibliographiques

Annexes

Introduction :

L'intérêt que suscite le Pin noir dans les universités locales peut étonner ceux qui n'ont pas une idée du statut de cette espèce menacée d'extinction en Algérie puisqu'en Europe et en Asie mineure, elle est bien plus répandue, on peut citer comme exemple l'Espagne où l'essence occupe approximativement 400 000 Hectares, en revanche, en ce qui concerne notre région avec la sous espèce *mauretanica*, il existe juste un seul peuplement naturel de près de 500 sujets à Tikjda (Parc National de Djurdura).

Cette unique station ne cesse de se dégrader d'année en année avec un faible taux de régénération naturelle, les incendies qui ravagent périodiquement la région qu'elle occupe en plus de la passivité des responsables de la protection envers le danger constant de disparition qui guette cette espèce qui occupe une place importante au sein de notre patrimoine forestier.

Sur cela, la récolte du maximum d'informations des différentes facettes biologiques qui concernent cette sous-espèce est plus que nécessaire pour trouver une solution pour prolonger son existence et promouvoir son développement.

D'après Probst (1983), les aiguilles comprennent un grand nombre de caractères morphologiques et anatomiques qui sont dépendants des conditions environnementales donc, elles permettent une différenciation sûre des populations. C'est pour cela que c'est l'un de ces organes les plus utilisés dans la bio systématique. En partant de cette théorie, nous avons choisi d'entreprendre une étude biométrique des aiguilles du pin noir du Djurdjura afin d'affiner les connaissances des caractéristiques propres à cette sous-espèce.

Avec ce présent travail, nous avons essayé d'examiner la variabilité morphologique intra-individuelle, interindividuelle et inter-bouquet des aiguilles de la sous espèce (*Pinus nigra* Arnold ssp *mauretanica*) où nous avons mesuré les différentes dimensions morphologiques (la longueur, la largeur et l'épaisseur), nombre de lignes de stomates face dorsale et ventrale des aiguilles issues des quatre points cardinaux de différents arbres situés dans des bouquets distincts, cela nous permettra de savoir si les différents caractères des aiguilles peuvent être utilisés pour discriminer et d'identifier les arbres qui appartiennent ou qui ont pour origine le même peuplement ou qui viennent de différentes populations. En plus de ça, nous espérons démontrer l'impact de l'âge, l'exposition et la densité des bouquets sur la morphologie des aiguilles.

Afin de bien mener notre tâche, nous avons adopté le plan de travail suivant :

- Chapitre I : Bibliographie – Où nous avons présenté le modèle biologique.
- Chapitre II : Matériel et méthode – Où on a présenté la zone d'étude, l'équipement utilisé pour la récolte du matériel végétal ainsi que le mode opératoire suivi pour l'échantillonnage, les mesures et les méthodes de traitement statistique de nos données.
- Chapitre III : Résultats et discussion – Dans lequel, on a présenté les résultats obtenus après le traitement de nos données et leur analyse ainsi que la discussion et la conclusion finale.

Chapitre I :

Bibliographie

1- Historique et origine :

Même avec une aire de répartition bien fragmentée, le *Pinus nigra* Arnold reste un conifère méditerranéen par excellence en occupant la rive septentrionale et méridionale, le genre de l'espèce est considéré par plusieurs auteurs et parmi eux FLOUS (1936) et GAUSSEN, H. (1967) comme le plus ancien des abiétacées qui existent encore et comme l'ancêtre probable du pin actuel ascendant des cèdres et des sapins FLOUS (1936).

GAUSSEN, H. (1967) note qu'en France, des fossiles de pins datant du jurassique supérieur ont été retrouvés, d'autres qui remontent au crétacé sont découverts en Angleterre et les régions où l'espèce existe actuellement.

Selon FERRE (1952), Spitzberg dans l'océan glacial arctique serait le lieu de la première apparition du genre *Pinus*, MIROV pour sa part, supposait une origine en Asie nord orientale, actuellement aux environs de la mer de Béring (MIROV, 1967 cité par BOJOVIC, 1995).

L'ancêtre du pin noir a disparu note CANTANDRIOPOULOS, J. (1981) en laissant comme descendants plusieurs sous espèces appartenant au cortège arboricole des montagnes en périphérie de la méditerranée, résultat de la fragmentation de l'aire de répartition primaire durant le quaternaire (GUINIER, 1943).

Le pin noir en Algérie est reconnu comme un pin *laricio* en 1927 par MAIRE et DE PEYERIMHOFF après sa découverte en 1922 avec des sujets de plus de 200 ans,.

Le peuplement en question situé dans les montagnes du Djurdjura forme avec les pins noirs du Maroc dans le rif occidental la sous espèce dite *mauretanica* est présente dans de rares endroits de l'atlas tellien.

2- Symbolisme et mythologie :

En ce qui concerne son côté symbolique et mythologique, comme étant une essence à feuilles persistantes, le Pin Noir et les pinacées en général étaient vues comme un signe de vitalité.

Les anciennes cultures croyaient que les Pins éloignaient les mauvais esprits et protégeaient les demeures et le bétail des malheurs, des maladies et même de la foudre, c'est pour cela que les étables étaient balayées avec des brosses en branches de pin et des bouquets de rameaux étaient suspendus au-dessus des portes. Pour les phrygiens, les grecques puis les romains, l'arbre représente le dieu de la végétation et de la fertilité, Attis qui en mourant s'est transformé en Pin.

3- Systématique du pin noir :

La systématique retenue pour l'espèce collective des pins noirs actuellement selon GAUSSEN et al. (1982) :

- Embranchement : Spermaphytes
- Sous-embranchement : Gymnospermes
- Ordre : Coniferales
- Famille : Pinacées
- Tribu : Pinées
- Genre : *Pinus*
- Section : *Sylvestris*
- Espèce : *Pinus nigra* Arnold

La classification du pin noir a fait l'objet de divers discussions et de multiples propositions par plusieurs auteurs ont été formulées. Ces théories de classification reposent sur des critères tels que les différences anatomiques, botaniques, géographiques et historiques.

DELEVOY (1949) note l'existence de deux groupes qu'il élève au rang de sous espèces, la première *occidentalis* avec 6 variétés et la deuxième *orientalis* avec 10 variétés distinctes.

Avec une autre approche strictement spatiale, selon FUKAREK (1958) l'espèce collective *Pinus nigra* se subdivise en quatre grands ensembles géographiques :

-La sous espèce *clusiana* CLEMEX ARIAS (1818) regroupant les peuplements du secteur occidental de l'aire avec l'Algérie, le Maroc, L'Espagne et la France.

-La sous espèce *laricio* POIRET (1804) avec une variété en Corse et une autre en Calabre et en Sicile.

-La sous espèce *nigricans* HOST (1826) qui occupe principalement des stations en Autriche, en Italie centrale, en ex-Yougoslavie, en Grèce, en Bulgarie et en Roumanie. C'est la sous-espèce la plus hétérogène en ce système de classification.

-La sous espèce *pallasiana* LAMB (1824) regroupant les formes du côté oriental telles que celles présentent en Turquie, en Crimée et une partie de la Grèce.

Pour OZENDA cité par ADJAOUUD (2005), le pin noir se subdivise en 5 sous espèces :

-La sous espèce *austriaca* qui regroupe les peuplements des Alpes sud orientales, les Abruzzes, une partie des Balkans et en ex-Yougoslavie.

-La sous-espèce *pallasiana* Lamb à Chypre et en Anatolie.

-La sous-espèce *salzmannii* Dun qui est endémique de la Péninsule ibérique ou plus exactement sa partie orientale avec des stations au Nord des Pyrénées et dans les Cévennes.

-La sous-espèce *mauretanica* MAIRE et PEYER occupant une surface très réduite de l'Atlas tellien Au Djurdjura en Algérie et le Rif au Maroc.

-La sous-espèce *corsica* Lord avec des peuplements en Corse, en Calabre et en Sicile. De son côté QUEZEL (1980) propose la subdivision de l'espèce collective en six sous-espèces en se basant majoritairement sur l'aspect géographique de la classification :

- La sous-espèce *mauretanica* présente dans quelques stations au Maroc et en Algérie.
- La sous-espèce *salzmannii* avec une présence considérable en Espagne et en France.
- La sous-espèce *laricio* en Corse, en Calabre et en Sicile
- La sous-espèce *nigra* regroupant tous les peuplements d'Autriche, des Balkans, d'Albanie, et de Grèce.

-La sous-espèce *dalmatica* présente dans quelques îles du littoral Dalmate et les Alpes Dinariques.

-La sous-espèce *pallasiana* englobant les peuplements d'Anatolie, des Chaînes Pontiques, de Chypre et de Crimée.

En ce qui concerne GAUSSEN et al, (1993) cité par ABDELLI (2002), ils soutiennent la subdivision de l'espèce collective selon les particularités morphologiques en cinq sous espèces :

- Pinus nigricans* Host présente en Autriche, en Italie centrale et en Grèce.
- Pinus nigra* subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco, 1943 avec les peuplements des Cévennes, des Pyrénées et ceux d'Espagne.
- Pinus nigra* subsp. *laricio* Maire de Corse, de Calabre et de Sicile.
- Pinus nigra* subsp. *dalmatica* endémique de la Croatie.
- Pinus nigra* subsp. *pallasiana* ou le pin de Crimée occupant des stations à Chypre, îles de la mer Égée orientale, Crimée, le Caucase du Nord et en Turquie.

Sans évoquer dans ce système de classification, le pin noir d'Algérie et du Maroc pour lequel EMBERGER (1938) cité par ADJAOU (2005) attribua le nom de *Pinus nigra* Arnold subs. *Laricio* (POIRET) *Palibi* var *mauritanica* MAIRE et DE PEYERIMHOFF (1927).

Le pin noir d'Afrique du Nord ou son statut est passé par plusieurs ascensions et rétrogradations dans le temps, considéré parfois comme une sous-espèce distincte et d'autres fois comme juste une variété et vice-versa.

4- Aire de répartition naturelle :

4.1- Dans le monde :

En ce qui concerne la répartition du pin noir, on constate une fragmentation marquée des territoires occupée par l'espèce mais on peut tout de même délimiter les principales régions colonisées.

L'aire de l'espèce s'étend de l'Espagne à l'Ouest jusqu'au Caucase du Nord à l'Est et de l'Autriche en Europe centrale au Nord jusqu'en Afrique du Nord avec des peuplements en Algérie et au Maroc au Sud.

En allant de l'Ouest vers l'Est, les premiers peuplements qu'on rencontre sont ceux du Maroc ou la sous-espèce *mauretanica* se localise au Rif occidental à Tizi-Maras dans les montagnes de Beni-Zejjel avec le peuplement le plus important au massif de Talassemtane tout au long de son versant méditerranéen (BELLEFONTAINE, 1990 cité par ASMANI, 1993).

-En Espagne, la sous-espèce *salzmannii* occupe une surface de 400 000 ha avec les peuplements les plus importants dans les Sierras de Cuenca (DEBAZAC, 1977 cité par ABDELLI, 2002).

-En France, les peuplements du pin de salzmann se situent principalement dans les Cévennes avec une surface couverte d'environ 500 ha (CEMAGREF, 1991 cité par VAUTRIN et ROYER, 1998) et dans l'Herault à Saint Guilhem le désert ou le pin noir couvre environ 300 ha en 1999.

-En Italie, 54000 ha sont couverts par la sous-espèce *laricio* avec 37000 ha de peuplements purs (DEBAZAC, 1965 et 1977 cités par ABDELLI, 2002).

-En Autriche, le pin noir s'étend sur une surface d'environ 800000 ha avec la sous-espèce *nigricans* qui est spontanée et qui occupe la plus vaste étendue (JACAMON 1987 cité par ABDELLI, 2002).

-En ex-Yougoslavie, on trouve des peuplements de la sous-espèce *dalmatica* en Croatie dans les îles du littoral dalmate sans oublier ceux des Dinarides sur le versant méditerranéen (QUEZEL, 1980).

-En Turquie, Avec la sous-espèce la plus orientale *pallasiana* qui couvre 1 million d'hectares qui est la surface la plus importante des peuplements au monde (SEIGNE, 1985 cité par ABDELLI, 2002).

4.2- En Algérie :

Le pin noir d'Algérie, se rencontre à l'état naturel uniquement au massif central du Djurdjura versant sud dans la région de Tikjda localisé dans la commune d'El Asnam wilaya de Bouira.

Cette espèce endémique de la région se caractérise par une très faible présence avec près de 500 individus selon (ASMANI, 1993) et on ne peut la trouver que dans trois stations :

-La forêt de Tigounatine avec une exposition Sud-Ouest à Nord-ouest où on trouve 470 sujets, semis inclus qui est la plus importante de par le nombre d'individus.

-La station de Djebel Taouillelt avec une exposition Nord à Nord-Ouest où 20 sujets ont été inventoriés.

-La station de Tikjda centre qui est exposée vers le Nord avec 11 individus répertoriés.

5- Aire de répartition artificielle :

5.1- Dans le monde :

Le pin noir est parmi les essences les plus utilisées pour les reboisements en Europe, l'espèce est prisée des reboiseurs du fait de ses qualités rustiques, économiques et esthétiques (ADJAOUD, 2005).

L'essence est amplement utilisée dans la majorité des pays de l'Europe moyenne et méridionale pour les reboisements ou les plantations de production et de protection depuis le XIXe siècle.

En France et plus précisément dans les Alpes méridionales, les plateaux et les coteaux de l'Est, le pin noir fut l'essence type de la reforestation sans oublier les essais d'introduction qui sont réalisés par l'I.N.R.A* depuis les années soixante où un programme de recherche a été lancé dans le but de l'étude de la variabilité géographique de l'essence et qui a engendré plusieurs stations de plantations de provenance dispersées éparpillées sur le territoire français (TANGHE, 1991).

En ce qui concerne la grande Bretagne, le pin noir a été introduit en Angleterre (LINES, 1985) et au Pays-de-Galles (DEBAZAC et LAFOUGE, 1963 cité par ADJAOUD et AIDROUS, 1992).

La Hollande est un autre pays européen où il existe de vastes stations reboisées avec cette espèce.

Pour le reste du monde, de nombreux essais d'introduction ont été effectués comme au Canada (OWENS, 1985 cité par ASMANI, 1993), aux Etats-Unis d'Amérique (SALVIN, 1932 cité par DELEVOY, 1949) sans oublier La Nouvelle Zélande (WILCOX et MILLER; 1975 cité par ASMANI 1993).

5.2- En Algérie :

Au début des années trente, la première expérience de reboisement a été tentée à Tala-Ghana située dans la commune de Saharidj wilaya de Bouira avec des graines issues du peuplement naturel de Tikjda éloignée d'une dizaine de kilomètres à l'Ouest. Seule une

vingtaine de sujets existe encore de ce reboisement après que la plantation a subi une destruction considérable avec le passage de deux incendies en 1979 (MULLER, 1986 cité par OUABED, 2006).

Un autre essai d'introduction a été réalisé à l'arboretum de Murdja (wilaya de Blida), la plantation a subi le même sort que celle de Tala-ghana où elle a été complètement détruite par les incendies (CHALABI, 1980). Toujours à Blida, ou une station avec quarante sujets se trouve dans la réserve protégée de Ben-Ali et plus exactement au bord de la route menant au Parc National de Chréa, ceci dit, l'origine des graines est malheureusement inconnue.

On note aussi l'existence d'une plantation de pin noir à Tala-Guilef (1983-1984) qui comprenaient 700 pieds environ, mais actuellement, il ne reste que 7 individus (MULLER, 1986 cité par ABDELLI, 2002).

Un autre reboisement de petite échelle a été effectué au refuge de Tizi N'Kouilal au Djurdjura avec une quinzaine de sujets environ issus de graines du peuplement de Tikjda, tous les pieds ont été détruits par l'incendie de l'année 2000 (ABDELLI, 2002).

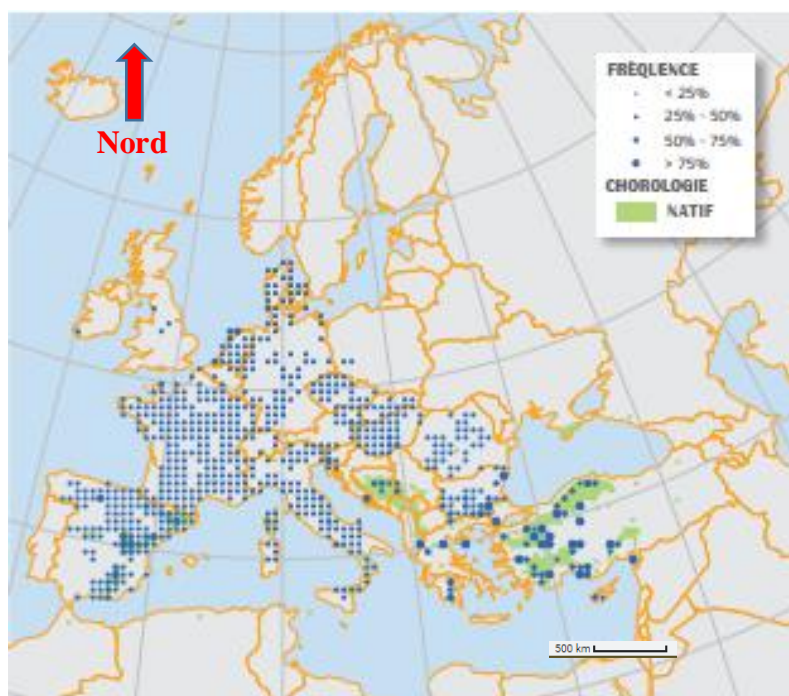


Figure 1: Carte représentant la distribution des parcelles en plus de la chorologie simplifiée pour *Pinus nigra*.

Fréquence des occurrences de *Pinus nigra* dans les observations sur le terrain rapportées par les inventaires forestiers nationaux. La chorologie de l'aire de répartition naturel de *P. nigra* est dérivée d'EUFORGEN48

6- Caractères morphologiques du pin noir :

En raison de la nature de la variabilité des espèces du genre *Pinus*, leurs caractères morphologiques ne peuvent être nettement définis. Bien que les espèces se trouvant aux extrêmes de cette échelle de variabilité puissent être facilement caractérisées, il reste une grande partie intermédiaire dont cette caractérisation peut être assez difficile à réaliser.

Les attributs morphologiques les plus marquants de l'espèce collective par rapport à la *ssp mauretana*:

- Le pied du pin noir (*Pinus nigra arnold*) peut atteindre 30, 40 voire 50 m de hauteur avec un tronc généralement droit muni d'une écorce gris clair à gris-brun foncé (ISAJEV et al., 2003), cette dernière est écailleuse depuis la jeunesse puis se crevasse et se divise en plaques quand les arbres atteignent l'âge adulte (SEIGUE, 1985). Pour la *ssp mauretana*, la hauteur peut varier de 20 à 30 m mais peut atteindre 45 m pour un tronc de 1,8 m de diamètre (ASMANI, 1993). L'écorce est sombre et disposée en plaques grisâtres et épaisses (CHALABI, 1980).

- Sur les jeunes sujets, la couronne est conique mais le port change de forme en parasol sur les vieux sujets, c'est la même disposition pour la *ssp mauretana*.

- Les aiguilles ou pseudophylles sont disposées par des groupes de deux avec une longueur variant de 8 à 18 cm (SEIGUE, 1985) et un diamètre de 1 à 2 mm (ISAJEV et al., 2003). Elles sont droites ou courbées et finement dentelées (SEIGUE, 1985). Pour les aiguilles du pin noir du Djurdjura, la longueur peut aller de 9,35 jusqu'à 12,22 cm avec une largeur de 1 à 1,5 mm, elles sont de couleur vert clair, souples et piquantes et peuvent être droites ou un peu courbées (ADJAOUD et AIDROUS, 1992).

- Les cônes sont assez petits même à maturité avec une longueur de 4 à 8 cm et de 2 à 4 cm de largeur. Les cônes sont sessiles et disposés horizontalement et sont formés d'écaillés d'un brun clair luisant (SEIGUE, 1985). En ce qui concerne la *ssp mauritanica*, les cônes présentent une forme ovoïde, ils sont presque deux fois plus longs que larges étant donné qu'ils sont longs de 3,95 à 6,47 cm et large de 2,04 à 3,28 cm, avec des écussons peu saillants et proéminents (ADJAOUD et AIDROUS, 1992).

- Les graines sont grises logées par 30 ou 40 par cône, ayant une longueur de 5 à 7 mm et comportent une aile de 19 à 26 mm de long (ISAJEV et al., 2003). Elles sont de forme ovale, elliptique ou comprimée. Pour le pin noir du Djurdjura, la longueur varie de 5,67 à 7,34 mm et la largeur peut aller de 2,80 à 3,64 mm (ABDELLI, 2002).



Figure 2 : Arbre du Pin noir *ssp mauretana*.



Figure 3 : Aiguilles du Pin noir



Figure 4 : Inflorescence femelle du Pin noir



Figure 5 : Chatons mâles Pin noir



Figure 6 : Cône mature du Pin noir



Figure 7 : Écorce du Pin noir

7- Phénologie :

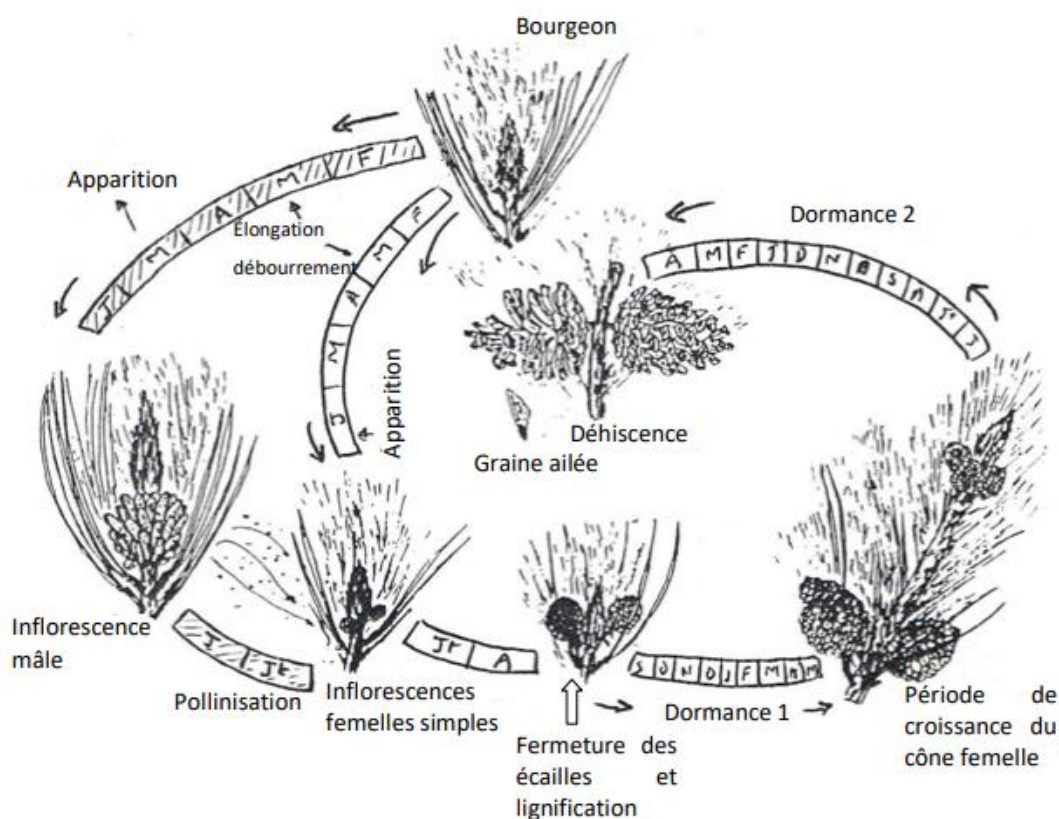


Figure 8 : Cycle de reproduction chez le Pin noir du Djurdjura (ASMANI, 1993

Modifié par HEDJAM, 2019)

Vu que les fleurs mâles et femelles du Pin Noir sont sur le même pied, c'est une espèce monoïque. L'essence fleurit chaque année en Mai avec des inflorescences femelles rougeâtres et des chatons mâles jaunâtre cependant la production grainière n'est vraiment considérable que toutes les 2 à 4 années où la dissémination des graines se fait par anémochorie, la pollinisation se fait aussi par l'action du vent mais pas avant que les arbres n'atteignent leur maturité sexuelle vers 15 à 20 ans.

Le cycle de reproduction du Pin Noir dure 2 ans et 1 à 2 mois pour aboutir à la formation d'un cône, la première phase est la reprise de l'activité végétative vers le mois de Février puis survient la pollinisation au mois de Juin après la maturation des chatons mâles la mi-Avril qui se concorde avec celle des fleurs femelles. Plus tard, les inflorescences femelles subissent une lignification après la fermeture des bractées, des congèlés de couleur brunâtre résultent de cette opération qui se termine à l'automne puis ils entrent en dormance la mi-

Mars. L'année suivante, les cônelets reprennent leur croissance et s'imprègnent au printemps d'une couleur verdâtre. Vers la fin de l'été, après avoir atteint leur taille finale, les cônelets se lignifient encore une fois. Aux alentours de la fin février, début mars ou même parfois avril selon les années, les cônes de déhiscent après leurs dessèchements et les graines sont libérés. Avec la dissémination, le cycle se referme mais c'est le début de la genèse de nouveaux individus.

8- Facteurs de répartition :

8.1- Climat :

Le climat méditerranéen se caractérise principalement par une phase de sécheresse correspondant à la saison chaude, qui peut s'étaler de un à plus de six mois selon les régions (QUEZEL, 1976) cependant, l'un des aspects les plus frappants de ce bioclimat est la pluralité de ses ambiances climatiques en ce qui concerne les précipitations et les températures et le pin noir comme espèce méditerranéenne par excellence peut s'adapter à plusieurs nuances de cet environnement quoique, la *ssp mauretanica* privilégie l'étage méditerranéen montagnard (QUEZEL, 1979 et 1980) et plus précisément dans l'étage bioclimatique humide à variante froide.

8.2- Altitude:

Vue le caractère fragmentée de son aire de répartition en plus des nuance du climat méditerranéen, le pin noir même si considérée comme une espèce montagnarde, on constate sa présence dans plusieurs étages altitudinales en fonction de la localisation géographique et les préférences des différentes sous-espèces.

Le Pin noir est présent à partir du niveau de la mer jusqu'à 2000m d'altitude (QUEZEL, 1976). Sur la côte septentrionale de la méditerranée, on trouve le pin noir entre 560 et 1500 m d'altitude bien qu'en France, dans l'Hérault, des peuplements de *Pinus salzmannii* peuvent être signalée à une basse altitude d'environ 250 m (DEBAZAC, 1963) et entre 700 et 1800 m pour les peuplements de Corse (DUPIAS et al, 1964; JACAMON, 1987 cité par ASMANI, 1993). Pour le littoral adriatique le pin noir peut pousser entre 0 et 500 m d'altitude (DEBAZAC, 1985).

La *ssp mauretanica* qui colonise quelque stations dans la rive méridionale de la méditerranée se situe entre 1300 et 1700 m pour les peuplements étudiés par BENABID (1984) au Maroc alors que RAYENAUD et SAUVAGE (1974) cités par BELLEFONTAINE (1979) ont signalé sa présence à une altitude de 1800 m sur le Djebel Lakrâa et jusqu'à 2096 m sur Djebel Tissouka.

Pour le pin noir d'Algérie au Djurdjura, il se situe entre 1420 et 1650 m d'altitude (ASMANI, 1988) et plus précisément :

- de 1450 à 1650 m sur Tigounatine
- de 1450 à 1500 m sur Djebel Taouillet
- de 1420 à 1610 m sur Tikjda

8.3- Précipitations:

La pluviométrie joue un rôle primordial dans la phytogéographie vue que c'est un facteur qui intervient dans la détermination du climat des régions méditerranéennes. Cet agent climatique est déterminé en fonction de l'altitude, de l'exposition des versants, de l'influence des écrans et des directions des vents dominants (ABDESSLEM, 1995).

Le pin noir s'adapte mieux dans l'étage montagnard méditerranéen qui se caractérise par une pluviométrie abondante (QUEZEL, 1980).

En ce qui concerne les peuplements du Djurdjura, la pluviométrie moyenne annuelle a atteint 1217,7 mm à une altitude de 1515 m pour les deux stations Tigounatine et Tikjda Centre. La période humide s'étale du mois de Septembre à Mai et la période sèche s'étale du mois de Juin à Août. Pour la station de Tala-Rana, la pluviométrie moyenne annuelle est de 1067,5 mm à une altitude de 1280 m. La période humide s'étale du mois de Septembre à Mai et la période sèche du mois de Juin à Août (HEDJAM, 2019).

8.4- Températures:

En général, les sous-espèces du pin noir supportent des valeurs minimales de l'ordre de - 8° C en méditerranée orientale alors qu'elles disparaissent à des valeurs minimales de - 5° C en méditerranée occidentale (QUEZEL, 1980).

Pour la ssp *mauretanica* présente au Djurdjura selon HADJAM (2019) Le mois le plus froid à Tigounatine et Tikjda centre est Février avec une température moyenne minimale de - 0,7°C. Le mois de Juillet a été le mois le plus chaud avec une température moyenne maximale de 30,0°C. Pour Tala-Rana, le mois le plus froid est février avec une température moyenne minimale de 0,2°C et le mois le plus chaud est Juillet avec une température moyenne maximale de 31,6°C.

8.5- Substrat:

Le pin noir en tant que végétal n'est pas vraiment une espèce très exigeante du point de vue édaphique (QUEZEL, 1976) où son substrat ne semble pas avoir un rôle important dans son développement vue qu'il se régénère facilement sur des sols peu évolués en plus de sa présence en fonction de la localisation sur calcaire et dolomies (le plus souvent), sur roches éruptives (Corse et Taurus, Chypre) ou sur flyshs (Grèce méridionale) (QUEZEL et

MEDAIL, 2003), souvent sur substrats calcaires et plus rarement sur substrat siliceux en Espagne (SANCHEZ et al, 1990).

D'après VAUTRIN et ROYER (1998), l'espèce collective se développe également sur les schistes, les gneiss et les conglomérats siliceux au Col d'Uglas et sur les moraines et schistes au Conflent à Prades.

Au Maroc, on trouve le pin noir sur dolomie sableuse (BELLEFONTAINE, 1979) et sur des affleurements à dolomie altérée (BENABID, 1984).

En Algérie, le Pin noir du Djurdjura se rencontre sur rendzine dolomitique, très organique peu profonde comme à la station de Tigounatine (CHALABI, 1980).

8.6- Cortège floristique :

En ce qui concerne les groupements végétaux du pin noir, la constitution de son cortège floristique se caractérise par sa diversité en allant d'une région géographique à une autre. L'espèce peut s'unir avec plusieurs essences mais préfère la compagnie d'autres conifères montagnards comme le sapin et spécifiquement d'autres espèces de pin à l'instar de *Pinus sylvestris* en Méditerranée occidentale et en Asie mineure, *Pinus heldreichii* en Italie méridionale et dans les Balkans en plus du pin maritime au Maroc.

En Afrique du Nord, les peuplements d'Algérie comme ceux du Maroc sont souvent associés au cèdre et au genévrier mais la rareté de cette espèce ne permet pas de définir des groupements végétaux spécifiques. Elle appartient au groupement du cèdre auquel elle est mélangée (QUEZEL et MEDAIL, 2003). Ceci dit, pour l'Algérie, l'analyse phytosociologie et structurale de la série *Cedrus atlantica* menée par TAFER en 1994 à Tikjda ou le pin noir et le cèdre de l'Atlas forme un peuplement mixte a démontré la présence d'une :

- Strate arborescente : *Cedrus atlantica* (Cèdre de l'Atlas), *Pinus nigra*, *Quercus ilex* (ChêneVert), *Sorbus aria* (Alisier blanc),
- Strate arbustive : *Juniperus oxycedrus* (Genévrier Oxycèdre), *Berberis hispanica*, *Crataegus laciniata* (Aubépine orientale), *Ionicera kabylica*, *Prunus prostrata*, *Amelanchier ovalis* (Amélanhier à feuilles ovales).
- Strate herbacée : *Ampelodesmos mauritanicus* (Diss), *Ruscus aculeatus* (le petit Houx), *Erinacea anthyllis* (Genêt bleu), *Agropyron panormitanum*

Dans des cas exceptionnels, on peut trouver l'espèce au sein du même groupement que des feuillus comme en Corse et en Italie (Quezel et Medail, 2003), plus spécifiquement, avec l'érable à feuilles d'obier (*Acer Opalus*) et le chêne vert (*Quercus ilex*) au Maroc (M'HIRIT,1982 in BENARAB et ALISLIMAN,2000).

9- Maladies et menaces :

Au monde des champignons le Pin Noir ne manque pas d'ennemis comme *Dothistroma pini*, *Lophodermella spp.* et *Sphaeropsis sapinea* ou *Diplodia pinea*, tous ces champignons attaquent les aiguilles et engendrent des dégradations importantes.

Le Pin Noir est vraiment vulnérable à la chenille processionnaire du Pin *Thaumetopoea pityocampa*. La maladie des bandes rouges ou *Mycosphaerella pini*, syn. *Dothistroma septosporum* peut aussi causer de graves dégâts comme ceux enregistrés en Angleterre ou des plantations de Pin Laricio ont été tellement ravagées jusqu'au point de ne plus considérer la sous espèce pour le reboisement et la plantation locale [P. S. Savill, *The silviculture of trees used in British forestry* (CABI, 2013)].

En ce qui concerne les incendies, le feu altère la composition du cortège floristique dont fait partie le Pin Noir et favorise les essences résistantes au feu ou celles qui sont avantagées par son passage comme le Pin Maritime, le Chêne vert qui supportent mieux le passage des incendies qui sont fréquents en région méditerranéenne.

Un autre facteur majeur qui menace le futur de l'espèce, est la sécheresse durant la longue période estivale spécialement en Afrique du Nord et en Europe du Sud durant laquelle les jeunes plants meurent par dessiccation, d'où le très faible taux de régénération, tout cela résulte de l'éclatement tardif des cônes et le réchauffement climatique.

Dans les montagnes de l'Atlas, le semis du Pin Noir est concurrencé par le semis du cèdre qui est aussi un facteur limitant les chances d'une régénération naturelle (MULLER, 1986 in ADJAOU, 2005).

10- Importance et usage :

En raison de sa flexibilité écologique, c'est l'une des espèces les plus utilisées pour la reforestation au monde, elle est même considérée comme un potentiel substitut des conifères natifs d'Europe centrale avec le changement climatique. En dépit d'une aire de distribution assez limitée, on note que le pin noir occupe des zones à haut risque d'érosion comme les peuplements de l'Atlas et des Pyrénées, c'est pour cela que le Pin Noir grâce à son système racinaire fortuit est un excellent candidat pour être utilisé dans la lutte contre l'érosion et le renforcement du sol en profondeur en plus de sa réhabilitation.

La sous espèce Pin Laricio de Corse qui est résistante au sel a été utilisée pour la stabilisation des dunes côtières en Mer du Nord. Le bois du Pin Noir en général est durable, riche en résine et relativement facile à traiter, il a été pendant longtemps utilisé en construction navale, vraiment approprié pour les parquets intérieurs, son pulpe peut être utilisée pour la

fabrication de papier sans oublier qu'en méditerranée, il est non seulement exploité pour la fabrication de fourniture et la construction générale mais aussi pour le chauffage.

Due à son aspect frappant et sa tolérance envers la pollution, le Pin Noir est énormément utilisé dans le boisement des parcs, les zones urbaines et industrielles.

Chapitre II :

Matériel et méthode

1- Présentation de la zone d'étude :

1.2- Situation géographique et géologie :

Notre étude a été menée dans l'une des trois stations de pin noir qui se trouvent sur le versant méridional du massif montagneux du Djurdjura, plus précisément à Tikjda, il s'agit du forêt de Tigounatine. Sur le plan administratif, elle fait partie de la wilaya de Bouira.

Cette station présente une topographie abrupte avec des pentes dépassant les 60%, exposée du nord au sud-ouest, sur le flanc d'une montagne accidentée caractérisée par des reliefs contrastés.

Tableau 1 : situation géographique de la station d'étude

Stations	Latitude	longitude	Altitude (m)	Exposition	Peuplement
Tigounatine	36° 27' N	4° 06' E	1450 - 1610	Nord-Ouest	Naturel

Le massif du Djurdjura agit comme une barrière entre les masses métamorphiques du nord et le cratère du sud, caractérisé par des plis intenses et une topographie sédimentaire fracturée, rendant sa géologie complexe.

Au nord, on trouve des roches cristallophylliennes telles que le schiste saturé, le micaschiste et le grès métamorphique.

Au sud, il est bordé de manière continue par des schistes verdâtres puissants appartenant au système créacé (BELIN et al, 1947 in ABDELLI et MOALI, 1996).

1.3- Pédologie :

D'après les recherches menées par BENMOUFFOK en 1994, les sols de Tigounatine présentent un stade de développement relativement limité et sont classés dans la catégorie des sols calcimagnésiques. Il s'agit de rendzines locales qui contiennent une quantité significative de particules grossières. Leur texture varie de limono-sableuse à sablo-limoneuse. Les profils de ces sols sont principalement du type A/C, et ils sont riches en matière organique sur toute leur épaisseur. Les taux de matières organiques y sont élevés, en grande partie en raison de la composition de la roche mère, qui génère du calcaire actif capable de retenir les composés organiques, ainsi que de la nature de la litière présente.

Des échantillons de sol prélevés en 2009 dans la réserve intégrale de Tigounatine (HEDJAM, 2010) à proximité de certains arbres ont révélé les caractéristiques suivantes : une texture limoneuse fine, un pH neutre de 7,31, un rapport C/N de 19,57 (indiquant une activité

biologique intense avec un taux de matière organique élevé de 12,91 %, une teneur en carbone de 6,45 %, une capacité d'échange cationique de 26,65 %, et enfin un taux de calcaire de 43,25 %. Ceci suggère que près de la moitié de la composition du sol est constituée de calcaire.

1.4- Conditions climatiques :

Pour caractériser le climat de notre région d'étude, nous avons utilisé les données de HEDJAM (2019) qui, en raison de l'absence de stations météorologiques dans le Parc National du Djurdjura, a appliqué la méthode d'extrapolation proposée par SELTZER (1946). Cette approche s'est basée sur les données climatiques de Bouira, située à une altitude de 555 mètres, pour une période de 21 ans, de 1996 à 2016.

1.4.1- Températures :

Les températures mensuelles enregistrées aux stations d'études sur une période de 21 ans, de 1996 à 2016 sont illustrées dans la figure ci-dessous. Au niveau de Tigounatine et Tikjda centre, le mois de février se distingue par ses températures minimales les plus basses, chutant à $-0,7^{\circ}\text{C}$, tandis que le mois de juillet enregistre les températures maximales les plus élevées, avec une moyenne de $30,0^{\circ}\text{C}$.

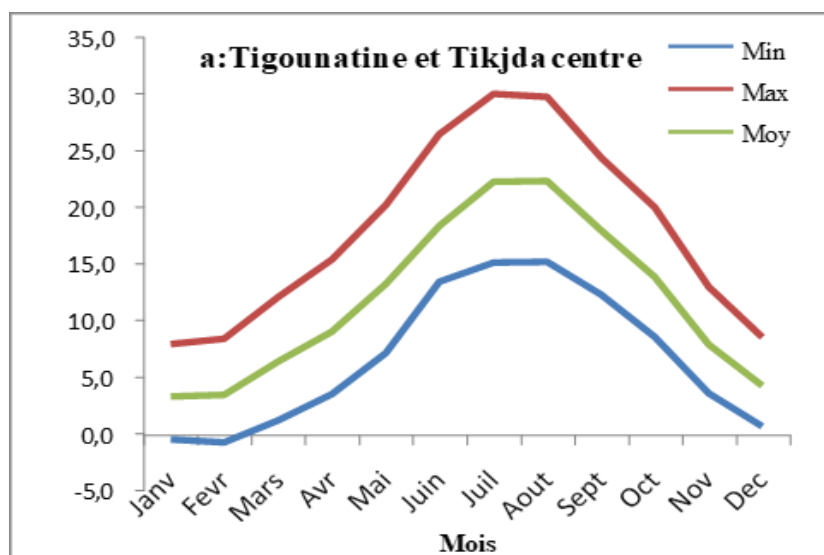


Figure 9 : Températures minimales et maximales et moyennes mensuelles des températures Tigounatine et Tikjda centre (HEDJAM, 2019)

1.4.2- Précipitations:

Comme pour les températures, les précipitations ont été calculées à partir des données de la station météorologique de Bouira enregistrées sur la période de 1996 à 2016.

Cette estimation a été ajustée en suivant la méthodologie de SELTZER (1946), qui identifie une corrélation entre les précipitations (P) et l'altitude (h) en se basant sur les courbes d'accroissement des précipitations.

Cette corrélation est exprimée par la formule : $N_i = A \times B / X$.

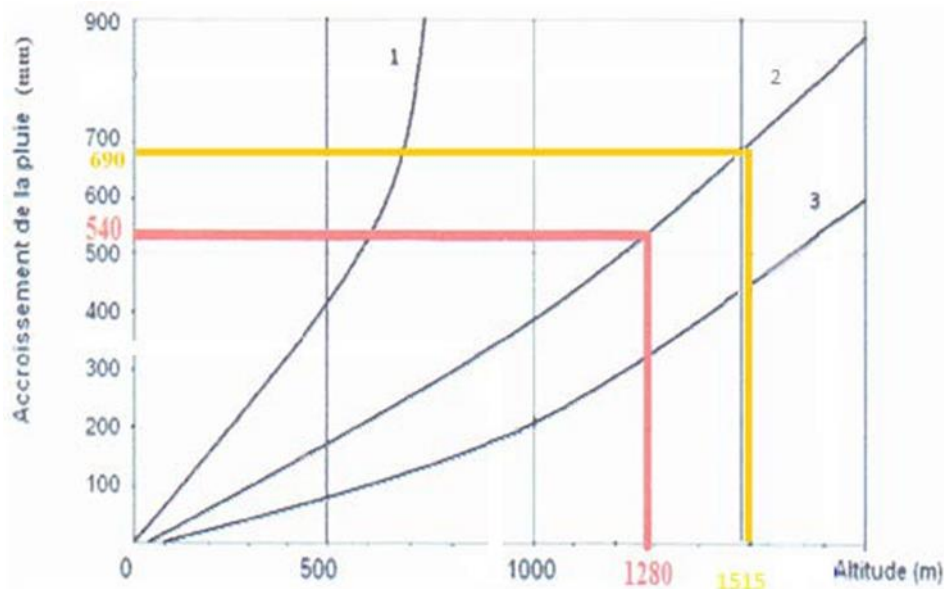


Figure 10 : Courbe d'accroissement de la pluie selon SELTZER (1946).

- 1- Littoral, 2- Atlas Tellien, Départements d'Alger et de Constantine, 3- Atlas Tellien, Département d'Oran, Atlas Saharien et Sahara.

Les données pluviométriques de la station d'étude après extrapolation sont présentées dans la Figure qui suit :

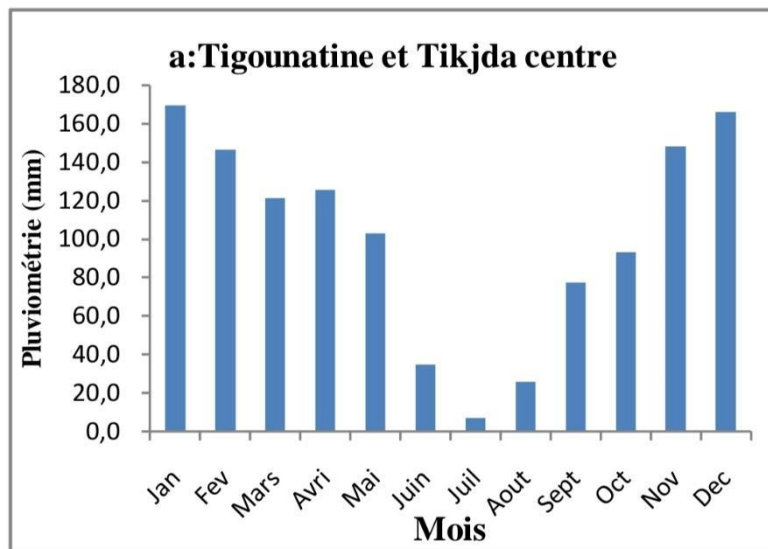


Figure 11 : Pluviométrie moyenne mensuelle des stations d'études pendant la période. Tigounatine et Tikjda Centre (HEDJAM, 2019)

Les données estimées nous montrent que la pluviométrie annuelle moyenne a atteint 1217,7 mm à une altitude de 1515 mètres pour les stations Tigounatine et Tikjda Centre. La saison des pluies va de septembre à mai, tandis que la saison sèche s'étend de juin à août (voir la figure).

En utilisant la même méthode d'extrapolation, DERRIDJ (1990) avait estimé la fourchette de précipitations annuelles entre 1126 et 1420 mm/an dans le Djurdjura méridional.

1.4.3- Précipitations saisonnières :

Les précipitations saisonnières à Tikjda, sont classées comme de type HPAE, en se basant sur les calculs effectués à partir des données de la station de Bouira. Cette classification signifie que l'hiver présente une concentration de précipitations tandis que l'été est la saison la plus sèche. Ce même schéma a été observé dans la région d'étude par DERRIDJ (1990), KROUCHI (2010) et MEDDOUR (2010).

1.4.4- Neige :

SELTZER (1946) rapporte une moyenne de 28 jours d'enneigement par an à seulement 1 100 mètres d'altitude. QUEZEL (1957) avait noté une épaisseur de neige de 2 à 4 mètres sur le versant nord. BENMOUFFOK (1994) avait signalé entre 15 et 20 jours de chute de neige par an, avec des accumulations de 0,3 à 2 mètres dans les zones élevées. Selon

ABDESSELAM (1995), la neige tombe sur le massif du Djurdjura d'octobre à mai, avec une moyenne de 32 jours de chute par an, et elle persiste sur les sommets pendant quatre mois.

1.4.5- Vents :

De manière générale, deux vents prédominants caractérisent le versant sud du Djurdjura, provenant de l'ouest et du sud-ouest. Le premier souffle en automne et en hiver, apportant de l'humidité et de la neige. Le second, communément appelé Sirocco, se fait sentir à partir de la fin du printemps et tout au long de l'été, accentuant ainsi le processus de dessèchement du sol et l'évapotranspiration des plantes (BENMOUFFOK, 1994).

5- Synthèse climatique :

Pour caractériser le climat d'une région donnée, les méthodes les plus couramment utilisées sont le diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gaussen ainsi que le quotient pluviothermique d'Emberger.

5.1- Diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gaussen:

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gaussen est une méthode graphique couramment utilisée pour identifier les périodes sèches et humides de l'année. Ce diagramme représente les températures moyennes mensuelles (T en °C) et les précipitations (P en mm) en fonction des mois. Les températures sont en ordonnées (avec $P = 2T$) et les mois en abscisses.

La surface délimitée par le polygone, résultant de l'intersection des deux courbes (précipitations et températures), reflète l'intensité et la durée de la saison sèche. Cette période correspond aux mois secs où la courbe des précipitations se situe en dessous de celle des températures.

Les moyennes mensuelles des températures et des précipitations pour la station d'étude pendant la période de 1996 à 2016 sont présentées dans le tableau.

Tableau 2 : Températures et précipitations moyennes au niveau de Tikjda (HEDJAM, 2010)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
T moy, (°C)	3,4	3,5	6,4	9,1	13,3	18,4	22,2	22,3	18	13,9	7,9	4,3
P moy, (mm)	169,3	146,2	121,2	125,5	103	34,8	7,3	25,8	77,4	93,1	148,1	165,9

Selon le diagramme ombrothermique des stations d'étude (voir la figure), la période sèche s'étend sur environ 3 mois. Elle débute au début du mois de juin et se prolonge jusqu'à la fin du mois d'août. En ce qui concerne la saison humide, elle est plus étendue et couvre le reste de l'année. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par BENMOUFFOK en 1994 dans la partie sud du Djurdjura.

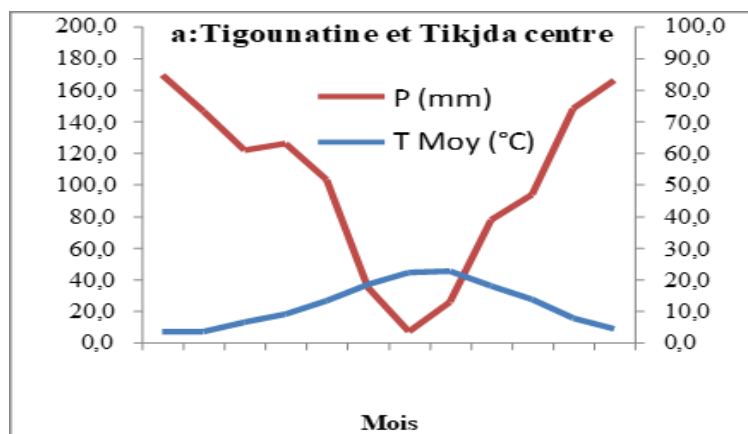


Figure 12: Diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gausse pour Tigounatine et Tikjda Centre

5.2- Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger:

Le quotient pluviothermique, également connu sous le nom de quotient d'Emberger (Q2) et le quotient de Stewart (Q3), sont des indices utilisés pour évaluer le climat d'une région et mettre en évidence son niveau de sécheresse. Un Q2 plus bas indique un climat plus

sec, tandis qu'un Q2 plus élevé suggère des conditions plus humides. Les paramètres nécessaires pour calculer ces indices sont les suivants :

P, la moyenne annuelle des précipitations en millimètres (mm).

M, la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en degrés Kelvin (°K).

m, la moyenne des températures minimales du mois le plus froid en degrés Kelvin (°K).

Le calcul du quotient pluviothermique d'Emberger (Q2) s'exprime comme suit :

$$Q2 = 1000 * P / ((M + m) / 2) * (M - m)$$

Le calcul du quotient pluviothermique de Stewart (Q3) utilise la formule suivante, avec une constante K de 3,43 :

$$Q3 = K * (P / (M - m))$$

Selon les données climatiques pour la période 1996-2016, les valeurs calculées de ces indices pour Tigounatine et Tikjda centre sont les suivantes :

Q3 pour Tigounatine et Tikjda centre est égal à 136,1.

Tableau 3 : Quotient pluviothermique d'Emberger

Station	Altitude (m)	P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q3
Tikjda	1515	1217,7	30,0	-0,7	136,1

Selon le quotient pluviothermique et sa projection sur le climagramme d'Emberger (Figure de référence), il est possible de déterminer que les stations Tigounatine et Tikjda centre sont localisées dans l'étage bioclimatique humide avec un hiver froid.

Cela avait déjà été observé par BENMOUFFOK en 1994, tandis que les études de DERRIDJ en 1990, MESSAOUDENE et al. En 2004 et MEDDOUR en 2010 confirment que le bioclimat de la région de Tikjda était de nature perhumide avec un hiver frais.

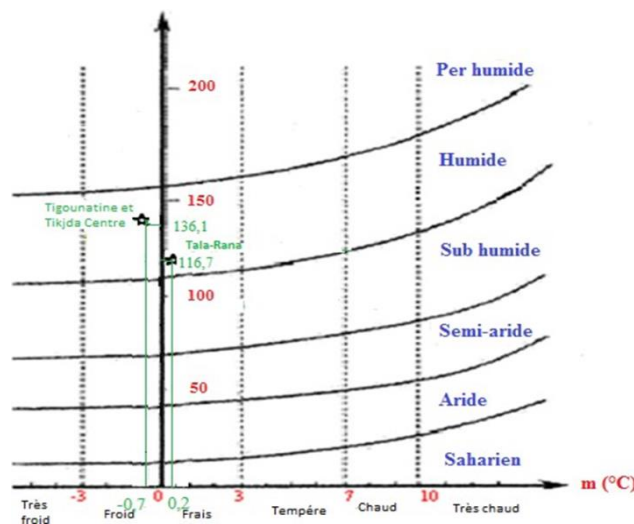


Figure 13: Situation des stations d'étude dans le climagramme d'Emberger.

6- Matériel:

6.1- Échantillons:

Le matériel végétal employé dans notre étude se compose d'aiguilles de Pin noir (*Pinus nigra* Arnold ssp. *mauretanica* Maire et Peyer) prélevées dans le peuplement naturel à Tikjda dans le Parc National de Djurdjura (forêt de Tigounatine). Ces aiguilles présentent différentes tranches d'âge, allant de la troisième année jusqu'à la sixième année. Elles ont été récoltées et placées ensuite dans des sacs en plastique, et transportées jusqu'au laboratoire, où elles ont été stockées dans un environnement frais.

6.2- Équipement:

- Pinces
- Sac en plastique
- GPS et boussole depuis un Smartphone grâce à l'application GPS essentiel disponible sur Play store
- Fiche de collecte des données
- Étiquettes
- Mètre ruban

7- Méthode:

7.1- Collecte des échantillons:

La collecte des aiguilles a été réalisée le 26 juin 2023. Nous avons échantillonné un total de 41 arbres situés dans neuf bouquets différents par leur densité couvrant une gamme d'âges et de dimensions variables, y compris la circonférence, la hauteur et l'exposition. Les aiguilles ont été prélevées sur des rameaux situés à hauteur d'homme pour les jeunes plants et jusqu'à 10 mètres pour les arbres adultes, du moins pour ceux accessibles.

Nous avons effectué un échantillonnage de 164 rameaux provenant de 4 expositions : Nord, Sud, Est et Ouest, ce qui nous a fourni un total de 1640 aiguilles.

7.2- Identification et étiquetage des échantillons:

Afin de garantir une organisation sans faille, nous avons classé les rameaux collectés en fonction de leur exposition, c'est-à-dire Nord, Sud, Est ou Ouest, pour chaque arbre. Chaque exposition a été soigneusement placée dans un sachet identifié, en utilisant la convention suivante : le numéro du bouquet de l'arbre suivi de l'exposition du rameau.

Un exemple d'étiquette serait le suivant : « B1A1 – Exp. Nord ». Cette étiquette se compose de « B1 » pour le numéro du bouquet, « A1 » pour le numéro de l'arbre, et « Exp.

Nord » pour l'exposition du rameau, orienté vers le Nord. Cette méthode d'étiquetage assure une identification précise de chaque échantillon collecté.

Nous avons suivi un processus en plusieurs étapes. Tout d'abord, les échantillons des quatre expositions ont été rassemblés dans un même sachet, correspondant à un seul arbre. Ensuite, ces arbres individuels ont été regroupés sous la bannière du même bouquet, et l'ensemble a été placé dans un sachet plus grand. Cette démarche a été entreprise pour maintenir l'intégrité et la traçabilité de nos échantillons de manière rigoureuse.

7.3- Distribution des arbres:

Nous avons procédé à échantillonné 41 arbres par convenance dans les 9 bouquets qu'on a pu atteindre, nous avons compté le nombre d'arbres pour déterminer la densité de chaque bouquet et nous avons mesuré la circonférence de chaque arbre échantillonné. (Voire annexe 07)

Les arbres ont été regroupés en fonction de leur proximité vue la nature de distribution du Pin noir en groupes (bouquets). Cela signifie que les arbres qui étaient proches les uns des autres sur le terrain ont été assimilés ensemble dans le même bouquet. Cette méthode de regroupement était basée sur la localisation physique des arbres sur le site d'étude.

7.4- Biométrie des aiguilles:

En utilisant un pied à coulisse électronique d'une précision de 1/100^e, nous avons effectué des mesures sur les aiguilles, notamment leur longueur (en millimètres), leur largeur (en millimètres) et leur épaisseur (en millimètres). De plus, en utilisant une loupe binoculaire avec un grossissement de (4x10), nous avons procédé à la décompte du nombre de lignes de stomates, à la fois sur la face ventrale (NLSV) et la face dorsale (NLSD), pour les 40 aiguilles de chaque arbre soit 10 par exposition.

7.5- Méthodes d'analyse des résultats

Les mesures morphologiques des aiguilles ont été analysées à l'aide de deux logiciels : Microsoft Excel (et Excel Stat) ainsi que le logiciel de programmation R. pour réaliser des analyses de la variance à plusieurs critères de classification dans le but de voir le degré de fluctuation des variables étudiées en fonction des paramètres retenus à savoir, la densité du bouquet, l'exposition des aiguilles et la circonférence des arbres.

Microsoft Excel a été utilisé pour effectuer des statistiques descriptives. Ce logiciel offre des fonctionnalités pour réaliser des calculs numériques, créer des graphiques, analyser les données et effectuer des opérations de programmation.

Les statistiques descriptives dans Excel ont permis d'analyser en détail les paramètres morphologiques, en fournissant des résumés tels que la moyenne, l'écart type, le coefficient de variation, les minima et les maxima.

De plus, Excel (et xlstat) a été utilisé pour réaliser une analyse des composantes principales (ACP) qui est une méthode statistique principalement orientée vers

La description dont l'objectif est de résumer le maximum d'informations contenues dans un tableau de données, comme l'a mentionné Philippeau en 1986. Elle vise à simplifier la structure des données en transformant les variables initiales en un ensemble de nouvelles variables non corrélées, appelées composantes principales. Cette réduction de la dimension est particulièrement utile lorsqu'on travaille avec un grand nombre de variables, permettant de simplifier l'analyse tout en préservant autant d'informations que possible.

L'ACP permet également de détecter des structures, des tendances ou des regroupements dans les données en mettant en évidence les relations linéaires entre les variables d'origine. Les composantes principales sont ordonnées en fonction de leur contribution à la variance totale des données, ce qui permet de hiérarchiser l'information contenue dans les données.

Le programme R a également été employé dans cette analyse. Il est à la fois un logiciel de statistique et un langage de programmation, il fonctionne sous la forme d'un interpréteur de commandes. En utilisant le programme R, une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée pour comparer les caractères morphologiques en fonction de différents facteurs (densité du bouquet, circonférence des arbres et l'exposition). L'ANOVA est une méthode statistique puissante pour déterminer s'il existe des différences significatives entre les groupes de données.

Chapitre III :

Résultats et discussion

1- Effet de l'arbre (circonférence) sur la morphologie des aiguilles :

Les moyennes des différents caractères des aiguilles étudiées ainsi que les coefficients de variation obtenus, les valeurs maximales et minimales et les écarts types sont résumés dans le tableau : annexes 1

1.1- Longueur des aiguilles :

La moyenne générale pour la longueur des aiguilles est de 98.21 mm avec un écart type de 13.4 mm et un CV de 13.65 %.

Les moyennes par arbre varient entre 73.34 mm appartenant à l'arbre (A6) avec une circonférence de 58 cm et 133.69 mm de l'arbre (A20) avec une circonférence de 118 cm.

Pour CV, il oscille entre 4.76 % pour (A11) et 18.60 pour (A5).

On note comme tendance générale que les arbres les plus gros, donc les plus âgés, ont en moyenne les aiguilles les plus longues.

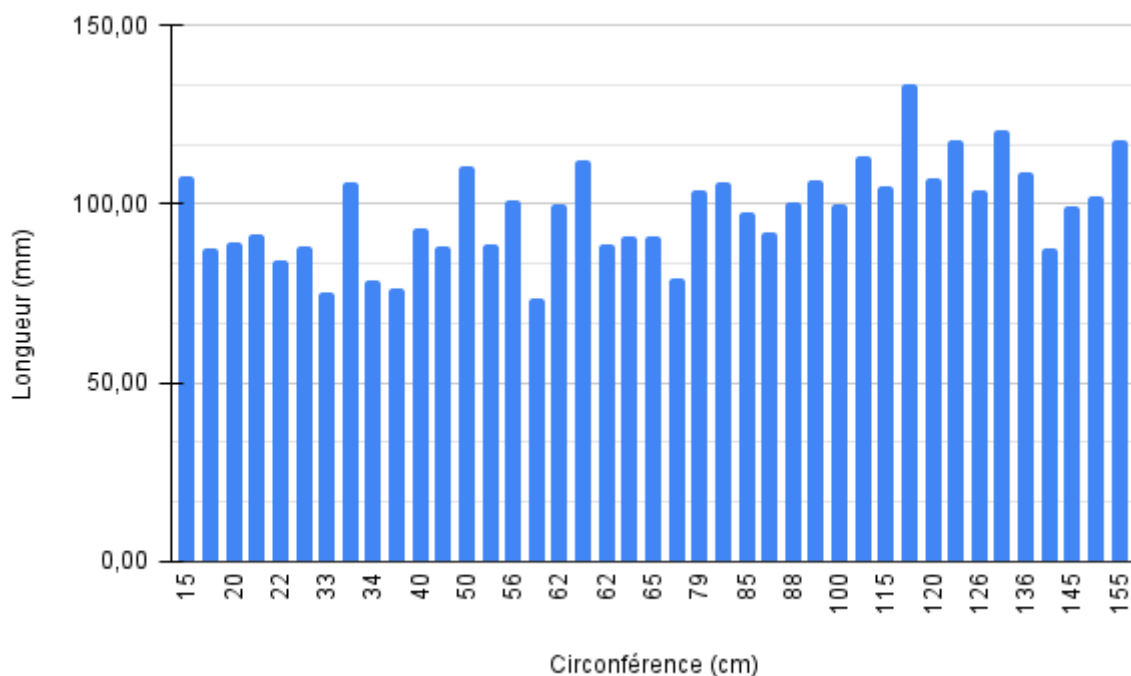


Figure 14 : Histogramme représentant la longueur en fonction de la circonférence

1.2- Largeur des aiguilles :

Pour la largeur, la moyenne générale est de 1.24 mm avec un écart type de 0.12 mm et un CV de 9.96 %.

Les moyennes par arbre se place entre 0.90 mm pour (A34) qui est l'arbre avec la plus petite circonférence mesurée et 1.68 mm pour (A17) qui fait 89 cm de circonférence.

Pour CV, il part de 2.77 % jusqu'à 10.56 % pour les arbres (A38) et (A15) respectivement.

On remarque qu'en général, les arbres dont la circonférence est moyenne (entre 90 cm et 120 cm) ont les aiguilles les plus larges.

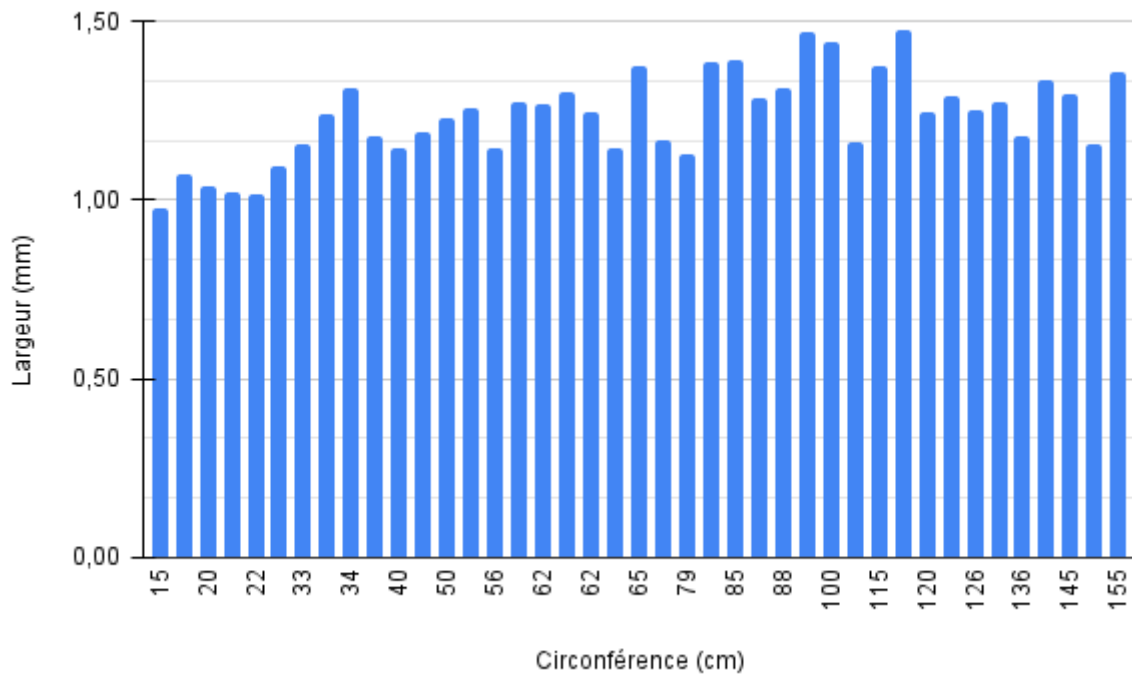


Figure 15 : histogramme représentant la largeur en fonction de la circonférence

1.3-épaisseur des aiguilles :

La moyenne générale de l'épaisseur des aiguilles est de 0.7 mm avec un écart type de 0.08 et un coefficient de variation de 11.60 %.

Les moyennes par arbre sont comprises entre 0.41 mm pour l'arbre (A1) et 1.06 mm pour (A17) qui mesurent 33 cm et 89 cm de circonférence respectivement.

Pour CV, il varie entre 4.10 % pour l'arbre (A38) qui l'arbre le plus gros avec une circonférence de 155 cm et 12.17 % pour (A5).

Approximativement, on remarque que l'épaisseur augmente avec la circonférence mais que les valeurs maximales ne sont pas détenues par les arbres les plus gros.

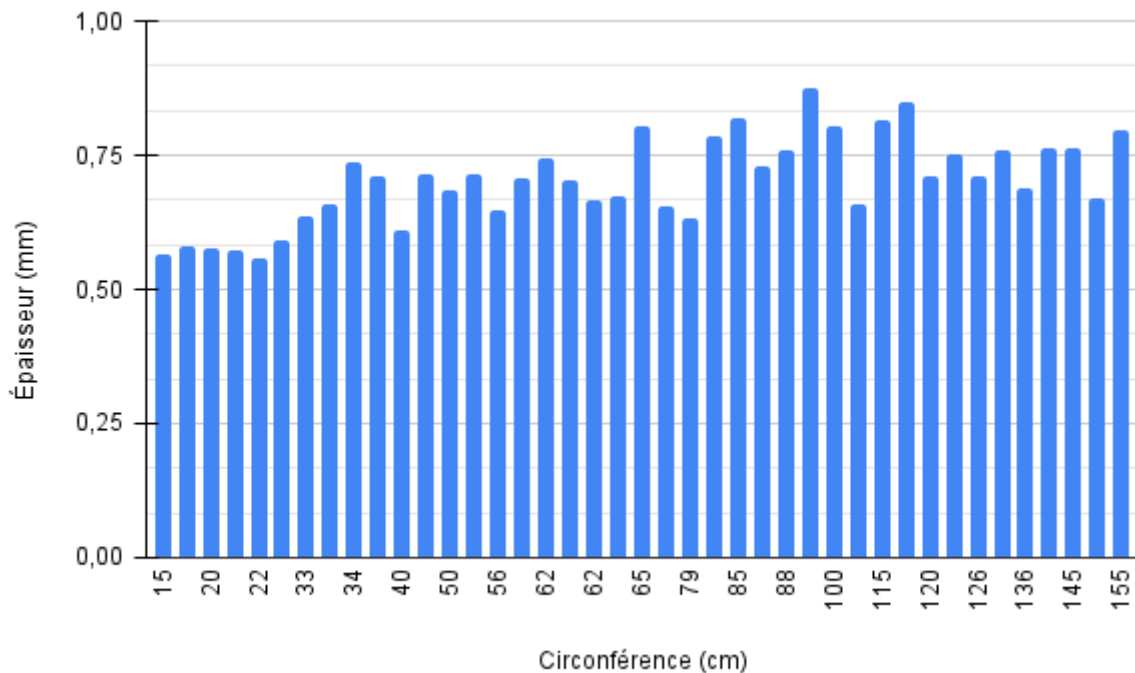


Figure 16 : histogramme représentant l'épaisseur en fonction de la circonférence

1.4-Nombre de lignes de stomates dorsales (NLSD) :

La moyenne générale d'NLSD est de 10.32 lignes par aiguille, un écart type de 2.04 lignes avec un CV de 19.77 %.

Les moyennes par arbre, partent de 5.83 lignes pour (A30) mesurant 22 cm de circonférence jusqu'à 14.03 lignes pour (A17) qui fait 89 cm.

CV oscille entre 9.17 % pour (A38) qui est le sujet le plus large (155 cm) et 25.01 % pour (A3).

On remarque que le nombre des lignes de stomates dorsales augmente avec la circonférence ceci dit, les arbres qui sont juste au-dessus de la circonférence moyenne qui est de 76 cm sont ceux qui présentent les valeurs maximales.

1.5-Nombre de lignes de stomates ventrales (NLSV):

La moyenne générale d’NLSV est de 7.09 lignes par aiguilles, un écart type de 1.35 lignes avec un CV de 19 %.

Les moyennes par arbre varient entre 3.35 lignes pour l’arbre (A30) avec une circonférence de 22 cm et 10.15 lignes pour (A17) mesurant 89 cm.

Les valeurs de CV sont comprises entre 8.93 % et 39.15 %, respectivement pour les arbres (A31) et (A30) qui est un des plus petits arbres mesurés avec 22 cm de circonférence.

On constate que NLSV et NLSD sont impactés de la même manière vis-à-vis du changement des valeurs de la circonférence.

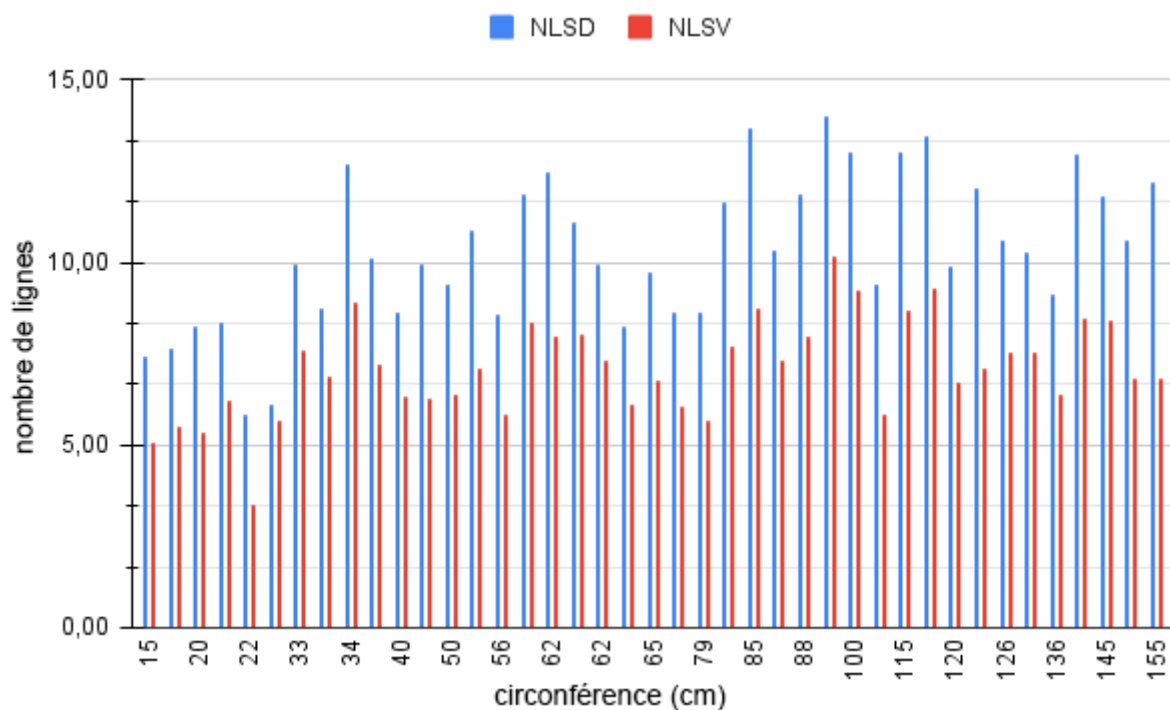


Figure 17 : histogramme représentant le nombre de ligne de stomates (dorsale, ventrale) en fonction de la circonférence

2- Effet du bouquet (densité) sur la morphologie des aiguilles :

Les moyennes des caractères mesurés par rapport aux bouquets sont résumées dans le tableau : annexe 2

Pour cette partie, nous avons pris les bouquets et dans ce cas leur densité comme facteur.

Tableau 5 récapitulatif des moyennes générales

Variable	Longueur	Largeur	Épaisseur	NLSD	NLSV
X	98,21 (mm)	1,24 (mm)	0,7 (mm)	10,32	7,09

2.1- Longueur des aiguilles :

L'écart type de la longueur des aiguilles issues des différents bouquets est de 6.02 mm avec un CV de 6.13 %.

Les moyennes par bouquet vont de 86.22 mm pour le bouquet (B3) qui comprend 13 sujets avec une circonférence moyenne de 70.67 cm jusqu'à 105.2 mm de (B9) avec 6 sujets et une circonférence moyenne de 84 cm.

Pour CV, il oscille entre 12.03 % pour (B7) qui a 3 sujets et 20.61 % pour (B2) avec 7 sujets, avec (B7) qui est le plus petit bouquet de par le nombre d'arbres qu'il comporte.

L'histogramme suivant nous permet de visualiser la longueur moyenne par bouquets classés en ordre croissant en termes du nombre d'individus qu'ils comportent ;

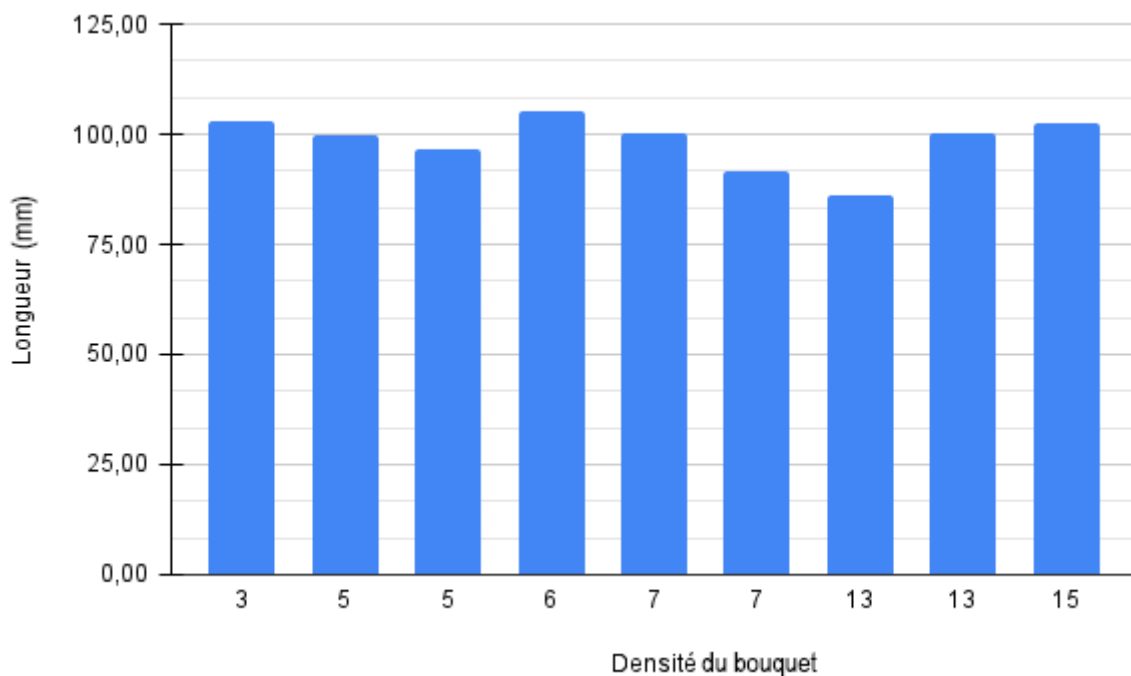


Figure 18 : histogramme représentant la longueur des aiguilles en fonction de la densité du bouquet

2.2- Largeur des aiguilles :

La largeur moyenne des aiguilles est de 1.24 mm, en ce qui concerne les bouquets, l'écart type est de 0.07 mm avec un CV de 5.66 %.

Les moyennes par bouquets oscillent entre 1.15 mm pour (B8) avec 5 sujets et une circonférence moyenne de 37.33 cm et 1.34 mm pour les deux bouquets (B4) et (B9) qui comprennent 15 et 6 sujets respectivement avec (B4) qui est le plus important bouquet de par le nombre d'arbres qu'il comporte, leur circonférences moyennes sont de l'ordre de 92.14 cm pour (B4) et 84 cm pour (B9).

Pour CV, il va de 6.27 % (B9) jusqu'à 12.48 % pour (B5) avec 13 sujets.

L'histogramme suivant nous permet de visualiser les largeurs moyennes par bouquets classés en ordre croissant en termes de nombre d'individus qu'ils contiennent ;

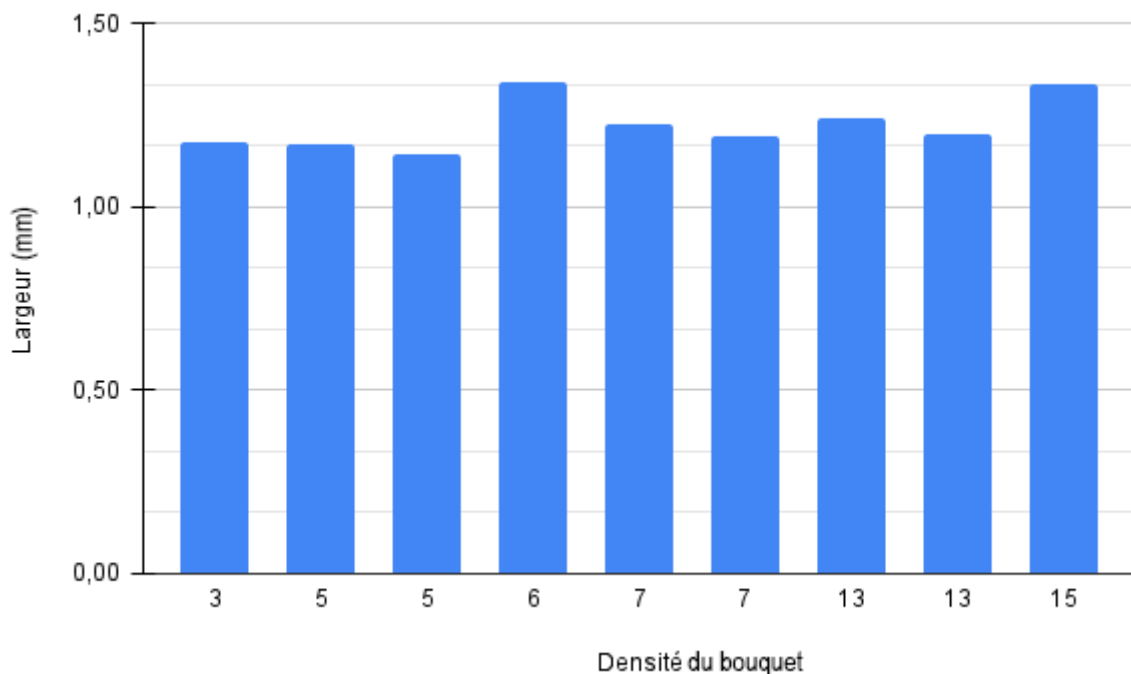


Figure 19 : histogramme représentant la largeur des aiguilles en fonction de la densité du bouquet

2.3-Épaisseur des aiguilles :

L'épaisseur moyenne est de 0.7 mm, pour les bouquets l'écart type est de 0.07 mm avec un CV de 6.34 %.

La moyenne par bouquet varie entre 0.65 mm pour (B7) avec 3 individus et une circonférence moyenne de 46.33 cm et 0.77 mm (B4) avec ces 15 sujets et une circonférence moyenne de 92.14 cm.

Pour CV, il oscille entre 10.44 % pour (B9) et 14.9 % pour (B4) et (B6) qui comporte 7 sujets.

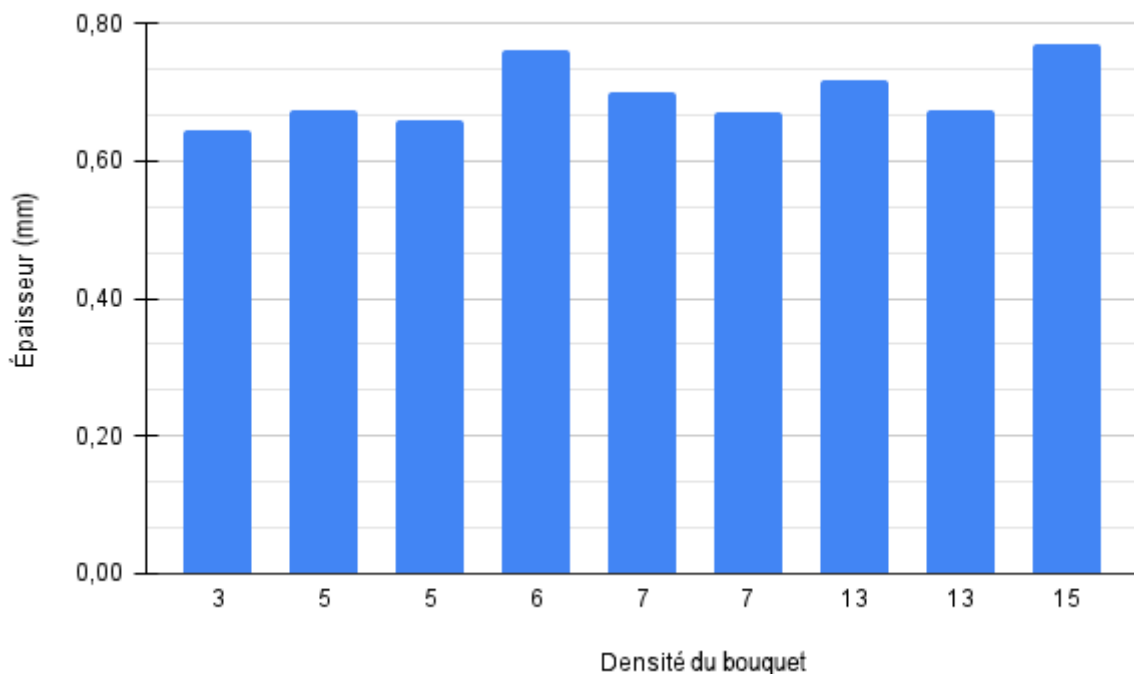


Figure 20 : histogramme représentant l'épaisseur des aiguilles en fonction de la densité du bouquet

2.4-Nombre de lignes de stomates dorsales (NLSD):

Le NLSD moyen est de 10.32 lignes, l'écart type est de 1.11 lignes avec un CV de 10.72%.

La moyenne par bouquet va de 8.22 lignes pour (B1) avec 5 individus et une circonférence moyenne de 76 cm jusqu'à 12.13 lignes pour (B4).

Le CV oscille entre 17.24 % pour (B8) qui comporte 5 sujets et 31.02 % pour (B6) qui est formé de 7 sujets.

2.5-Nombre de lignes de stomate ventrales (NLSV):

Le NLSV moyen est de 7.09 lignes, l'écart type est de 0.63 lignes avec un CV de 8.88 %.

La moyenne par bouquet va de 6.29 lignes pour (B8) avec 5 individus et une circonférence moyenne de 37.33 cm jusqu'à 8.31 lignes pour (B4).

Pour le CV, il va de 15.06 % pour (B8) jusqu'à 37.32 % pour (B6) qui est formé de 7 sujets.

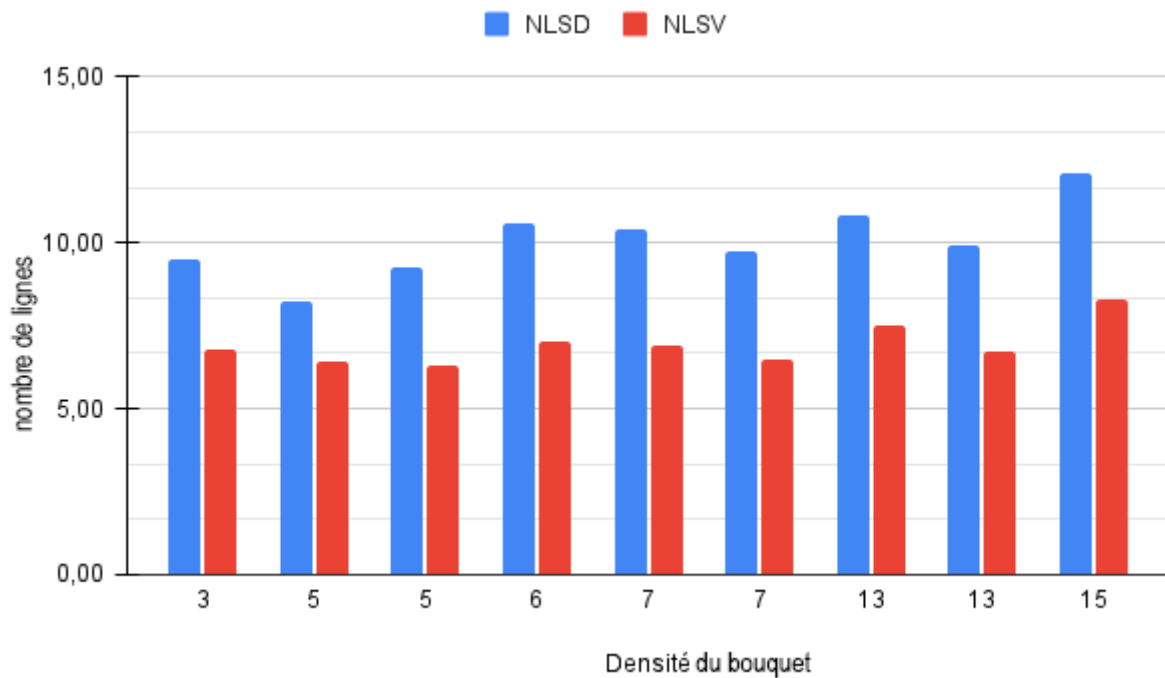


Figure 21 : histogramme représentant le nombre de ligne de stomates (dorsale, ventrale) en fonction de la densité des bouquets

3- Effet de l'exposition sur la morphologie des aiguilles :

Les Moyennes, écarts types et les coefficients de variation sur les différents caractères mesurés pour les expositions Nord, Sud, Est et Ouest sont donnés dans le tableau : annexe 3

3.1- Longueur des aiguilles :

Les aiguilles exposées vers le Sud se caractérisent par des longueurs plus importantes que celles exposées vers les autres points cardinaux, avec une moyenne de 100.66 mm dépassant la moyenne générale qui est de 98.21 mm et peut aller de 60.48 mm jusqu'à 148.39 MM. Le CV des longueurs du Sud est de 16.91 %.

En 2ème position viennent les aiguilles exposées vers l'Est avec une moyenne de 98.03 mm et qui varie entre 59.63 mm et 137.61 mm avec un CV de 17.36 %.

Puis vient l'exposition Ouest avec une longueur moyenne de 98.02 qui est inférieure à celle de l'Est de juste 0.01 mm, elle oscille entre 61.27 mm et 142.53 mm avec CV qui est de l'ordre de 17.95 %.

On note que les aiguilles exposées au Nord affichent les valeurs les plus faibles avec une longueur moyenne de 96.11 mm, elle peut aller de 60.48 mm jusqu'à 148.39 mm avec un CV de 16.41 %.

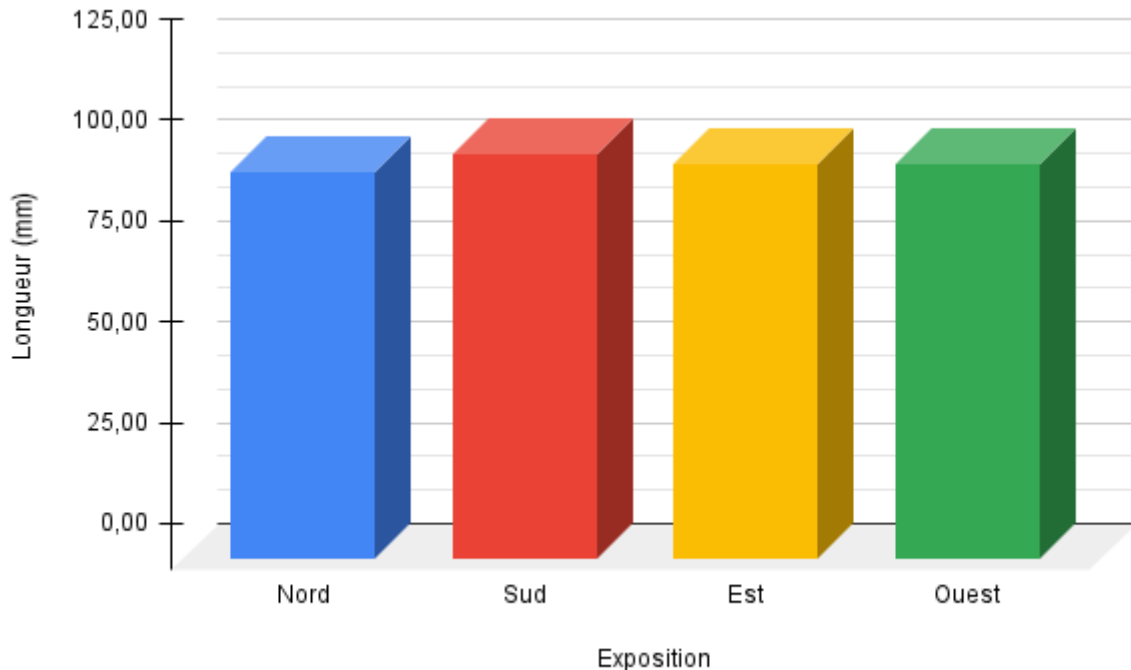


Figure 22 : histogramme représentant la longueur des aiguilles en fonction de l'exposition

3.2- Largeur des aiguilles :

Les aiguilles exposées au Sud sont plus larges avec une moyenne de 1.25 mm par rapport à la moyenne générale qui est de 1.24 mm et celles des autres expositions qui partagent la même valeur de 1.23 MM. La largeur du Sud varie entre 0.94 mm et 1.64 mm. Pour le CV de l'exposition Sud, il est de 11.41% qui est égale au CV du Nord ou la largeur peut aller de 0.90 mm jusqu'à 1.39 MM.

En ce qui concerne l'exposition Est et Ouest, elles affichent des CV respectifs de 11.61 % et 12.56 %. Les largeurs oscillent entre 0.92 mm et 1.61 mm pour l'Est et entre 0.91 et 1.68 mm pour l'Ouest.

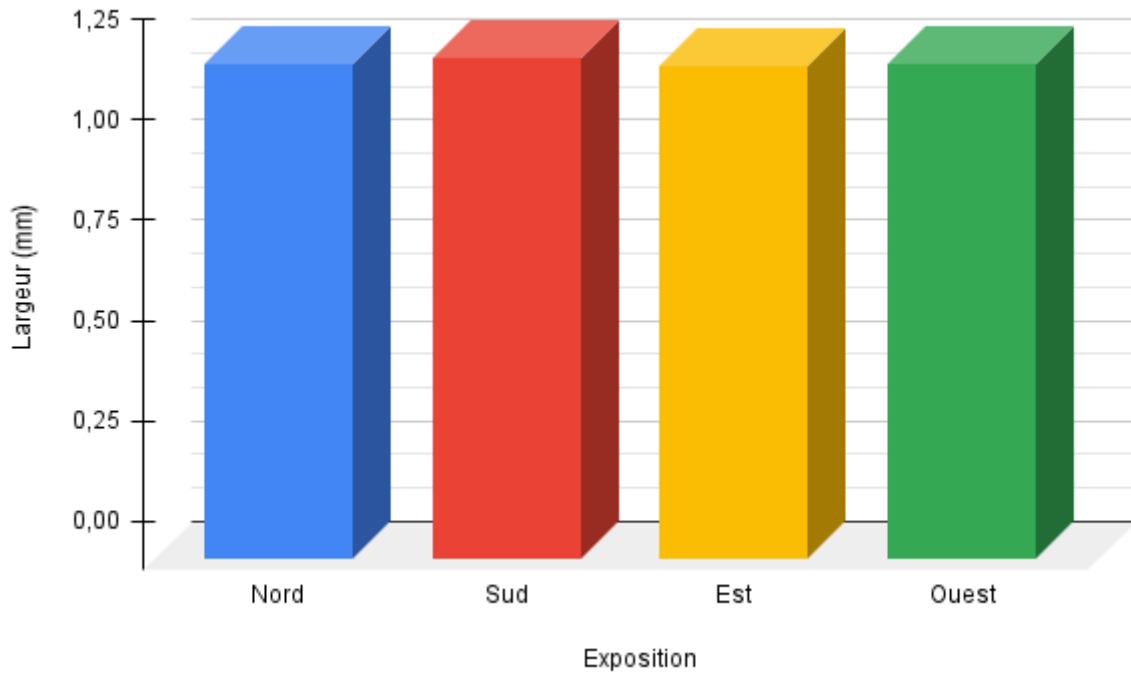


Figure 23 : histogramme représentant la largeur des aiguilles en fonction de l'exposition

3.3-Épaisseur des aiguilles :

En ce qui concerne l'épaisseur, les aiguilles de l'exposition Sud et celles de l'Est présentent la même moyenne qui est de l'ordre de 0.71 MM. Pour le Sud, l'épaisseur varie entre 0.42 mm et 1.01 mm avec un CV de 13.81 %. Pour l'Est, l'épaisseur peut aller de 0.5 mm jusqu'à 1 mm avec un CV de 13.59 %.

Pour ce qui est du Nord et de l'Ouest, les 2 expositions affichent la même moyenne qui est de l'ordre de 0.7 MM. Pour le Nord, l'épaisseur varie entre 0.41 mm et 0.7 mm avec un CV de 14.61 %. L'épaisseur pour les aiguilles de l'Ouest oscille entre 0.48 mm et 1.06 mm avec un CV de 14.61 %.

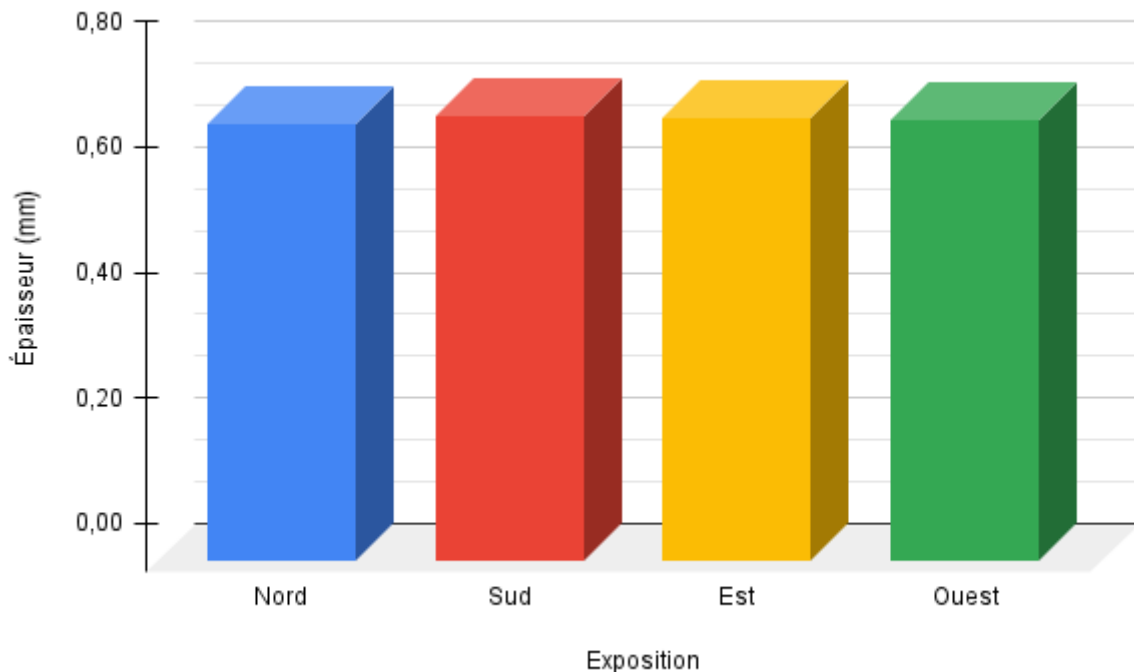


Figure 24 : histogramme représentant l'épaisseur des aiguilles en fonction de l'exposition

3.4-Nombre de lignes de stomates dorsales (NLSD):

Les aiguilles exposées vers le Sud présentent la moyenne la plus haute qui est de 10.47 lignes, le nombre de lignes peut aller de 5 jusqu'à 18 lignes avec un CV de 22.46 %.

L'Est vient en 2ème position avec une moyenne de 10.42 lignes et varie entre 4 et 18 lignes et un CV de 24.53 %

Alors que le Nord et l'Ouest partagent une moyenne égale de 10.2 lignes cependant les NLSD du Nord oscillent entre 3 et 16 lignes avec un CV de 25.17 % et celles de l'Ouest entre 5 et 19 lignes avec un CV de 25.73 %.

3.5-Nombre de lignes de stomate ventrales (NLSV):

Le NLSV moyen de l'exposition Sud qui est de 7.19 lignes est plus important que ceux des autres expositions, le nombre de lignes varie entre 2 et 13 lignes et présente un CV de 23.21 %.

L'exposition Ouest pour sa part, affiche un NLSV moyen de 7.11 lignes et oscille entre 3 et 14 lignes avec un CV de 25.21 %.

En ce qui concerne l'Est, la moyenne est de 7.06 lignes mais le nombre peut aller de 2 jusqu'à 13 lignes avec un CV de 23.21%.

Pour l'exposition Nord, elle présente le nombre de lignes le plus bas avec une moyenne de 7.02 % et des valeurs qui oscillent entre 2 et 13 lignes avec un CV de 25.38%.

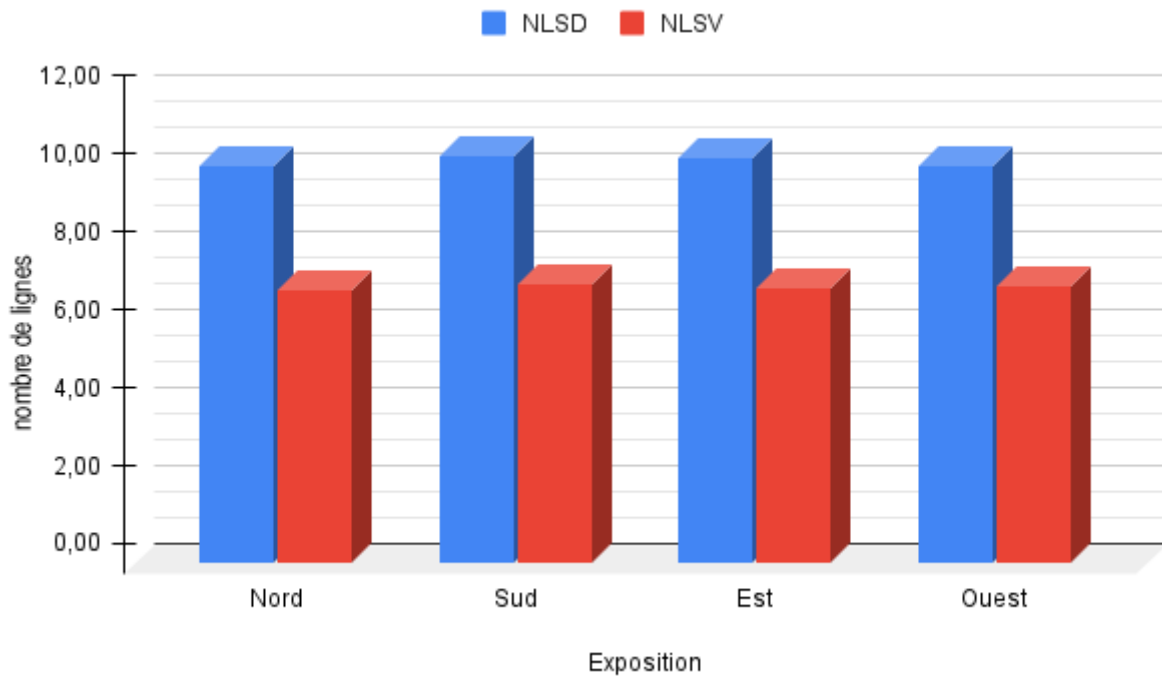


Figure 25 : histogramme représentant le nombre de ligne de stomates (dorsale, ventrale) en fonction de l'exposition

4- Résultats de l'analyse de la variance :

Les résultats sont donnés dans le tableau suivant, nous rappelons que cette analyse est faite dans le but de voir si la densité du bouquet, l'exposition des aiguilles et la circonférence des arbres influence l'anatomie des aiguilles.

Tableau 6 : résultats de l'analyse de la variance

Variable	Source de variation	S.C.E	D.D.L	C. M	F.o.b.	Probe	Significati on	Hypothèse
Longueur des aiguilles	bouquet (Den)	59352	8	7419	33,188	<2.2e-16	***	Rejetée
	arbre (Cir)	43495	6	7249,1	32,428	<2.2e-16	***	Rejetée
	exposition	4469	3	1489,6	6,663	0,000180	***	Rejetée
	résiduelle	362582		223,5				
Largeur des aiguilles	bouquet (Den)	7.2500	8	0.90625	58.768	< 2e-16	***	Rejetée
	arbre (Cir)	4.5306	6	0.75510	48.966	<2e-16	***	Rejetée
	exposition	0.1385	3	0.04617	2.9938	0,0298	*	Rejetée
	résiduelle	25.0126		0.01542				
Epaisseur des aiguilles	bouquet (Den)	11.0	8	1.376	0.5605	0.81081	N.S	Accepté
	arbre (Cir)	32.4	6	5.407	2.2099	0.03965	*	Rejetée
	exposition	7.8	3	2.602	1.0635	0.36350	N.S	Accepté
	résiduelle	3969.1		2.4470				
Nombre de lignes de stomate ventral	bouquet (Den)	833.6	8	104.204	20.5415	<2e-16	***	Rejetée
	arbre (Cir)	562.8	6	93.807	18.4920	<2e-16	***	Rejetée
	exposition	41.2	3	13.734	2.7074	0.043	*	Rejetée
	résiduelle	8228.1		5.073				
Nombre de Ligne de stomate dorsale	bouquet (Den)	1840.8	8	230.101	49.7620	<2e-16	***	Rejetée
	arbre (Cir)	1109.9	6	184.976	40.0032	<2e-16	***	Rejetée
	exposition	25.5	3	8.508	1.8399	0.137	N.S	Accepté
	résiduelle	7500.2		4.624				

Avec : S.C.E : somme des carrés des écarts ; DDL : degré de liberté ; CM : carré moyen ; Probe : Probabilité ; F.o.b. : Fonction observée ; N.S : Non Significative ; Théor : fonction théorique lue sur la table des distributions de Fisher et SNEDECOR pour :

- Facteur bouquet ($\alpha = 5\%$) F.théo1=1,94 ; ($\alpha = 1\%$) F.théo1=2,511 ; ($\alpha = 1\%$) F.théo1 =3.265;
- Facteur arbres ($\alpha = 5\%$) F.théo2=2.09 ; ($\alpha = 1\%$) F.théo2 =2.802 ; ($\alpha = 1\%$) F.théo2 =3.742;
- Facteur exposition ($\alpha = 5\%$) F.théo3=2,60 ; ($\alpha = 1\%$) F.théo3 =3,782 ; ($\alpha = 1\%$) F.théo3 =5.422.

-Longueur des aiguilles :

L'analyse de la variance (ANOVA) effectuée sur la longueur des aiguilles a révélé des différences très hautement significatives pour les facteurs suivants : "Densité du bouquet", "Circonférence des arbres" et "Exposition des aiguilles" vu que la fonction observée est supérieure à la fonction théorique avec un risque d'erreur de 1%.

Ces constatations réfutent l'hypothèse nulle d'égalité des variances (H0), ce qui suggère que ces facteurs ont une influence notable sur la longueur des aiguilles des arbres étudiés.

-Largeur des aiguilles :

Pour la largeur des aiguilles on constate des différences très hautement significatives pour les facteurs "Densité du bouquet" et "Circonférence des arbres", vu que la fonction observée est supérieure à la fonction théorique ainsi qu'une différence significative pour le facteur "Exposition des aiguilles".

Ces résultats indiquent que ces facteurs ont une influence notable sur la largeur des aiguilles et réfutent ainsi l'hypothèse nulle d'égalité des variances (H0).

-Épaisseur des aiguilles :

Pour cette variable, à l'exception du facteur "Circonférence des arbres" qui présente une différence significative réfutant ainsi l'hypothèse nulle (H0), les facteurs "Densité du bouquet" et "Exposition des aiguilles" affichent des différences non significatives

Ces résultats indiquent que la circonférence des arbres a une influence marquée sur l'épaisseur, tandis que la densité du bouquet et l'exposition des aiguilles n'ont pas d'effet significatif. Ce qui confirme partiellement l'hypothèse nulle d'égalité des variances entre ces groupes de variables.

-Nombre de lignes de stomates dorsales :

L'analyse a révélé que pour le nombre de lignes de stomates dorsales, il y a des différences très hautement significatives pour les facteurs "Densité du bouquet" et "Circonférence des arbres" étant donné que la fonction observée est supérieure à la fonction

théorique avec un risque d'erreur de 1‰ dans les deux cas, et des différences non significatives pour le facteur "Exposition des aiguilles". Ces résultats suggèrent que la densité du bouquet et la circonférence des arbres ont une influence notable sur le nombre de lignes de stomates dorsales, tandis que l'exposition des aiguilles n'a pas d'effet significatif sur cette variable. Cela confirme partiellement l'hypothèse nulle d'absence de différences significatives liées à l'exposition des aiguilles.

Nombre de lignes de stomates face ventrale :

De même, l'analyse de la variance du nombre de lignes de stomates de la face ventrale montre des différences très hautement significatives pour les facteurs "Densité du bouquet" et "Circonférence des arbres" étant donné que la fonction observée est supérieure à la fonction théorique avec un risque d'erreur de 1‰, ainsi que des différences significatives pour le facteur "Exposition des aiguilles". Ces résultats suggèrent que la densité du bouquet et la circonférence des arbres ont une influence notable sur le nombre de lignes de stomates de la face ventrale, tandis que l'exposition des aiguilles présente également un effet significatif mais potentiellement moins marqué. Ces constatations réfutent l'hypothèse nulle d'égalité des variances entre les groupes de variables étudiés.

5- Résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) ;

Une fois l'ACP réalisée, les résultats ont été visualisés graphiquement en fonction des Composantes principales, facilitant ainsi la compréhension des relations entre les observations et les variables, la détection des valeurs aberrantes et l'exploration de la structure sous-jacente de nos données.

Tableau 7 : Valeurs propres des axes

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Valeur propre	4,355	1,214	0,828	0,333	0,168	0,073	0,029
Variabilité (%)	62,221	17,340	11,835	4,750	2,397	1,040	0,418
% cumulé	62,221	79,561	91,396	96,146	98,543	99,582	100,000

D'après le tableau, nous avons sélectionné les deux axes principaux, qui présentent des valeurs propres supérieures à 1. En conséquence, ces deux axes expliquent ensemble 79,56% de la variabilité totale des données. Il est également intéressant de noter que l'axe 1 à lui seul contribue à expliquer 62,221% de cette variabilité totale.

Dans notre plan factoriel (axe 1 et axe 2), nous avons pris en compte les variables les plus importantes pour notre étude, notamment la longueur, la largeur, l'épaisseur, le nombre de lignes de stomates, la densité du bouquet et la circonférence des arbres.

Tableau 8 : cosinus carrés des variables

	F1	F2	F3
Circonférence	0,498	0,164	0,160
Longueur	0,197	0,643	0,034
Largeur	0,899	0,001	0,042
Épaisseur	0,910	0,000	0,026
NLSD	0,895	0,027	0,013
NLSV	0,797	0,074	0,046
den	0,158	0,304	0,507

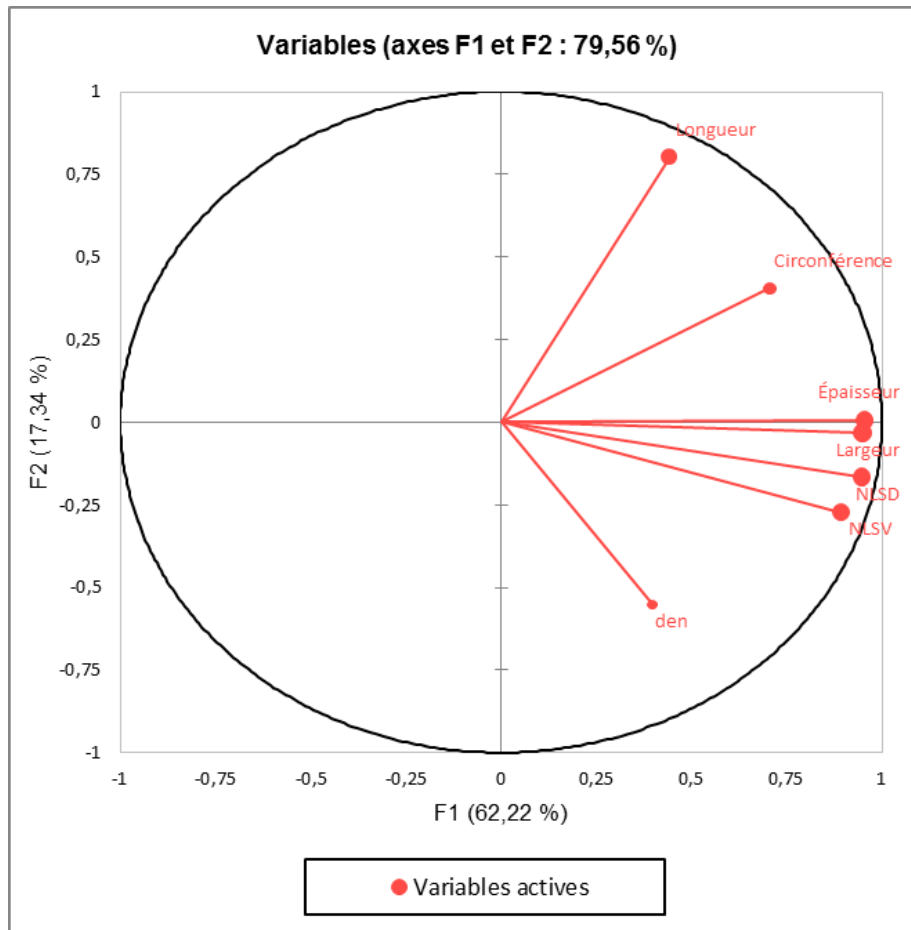


Figure 26 : cercle de corrélation

En excluant la densité, pour laquelle aucune corrélation particulière n'a été observée, il convient de noter que toutes les autres corrélations entre variable sont significatives et affichent une direction positive.

En examinant la représentation dans le plan factoriel et les coordonnées des variables, il est possible de distinguer trois groupes d'individus. Les groupes A et B sont clairement différenciés, tandis que les individus situés au centre sont regroupés en C.

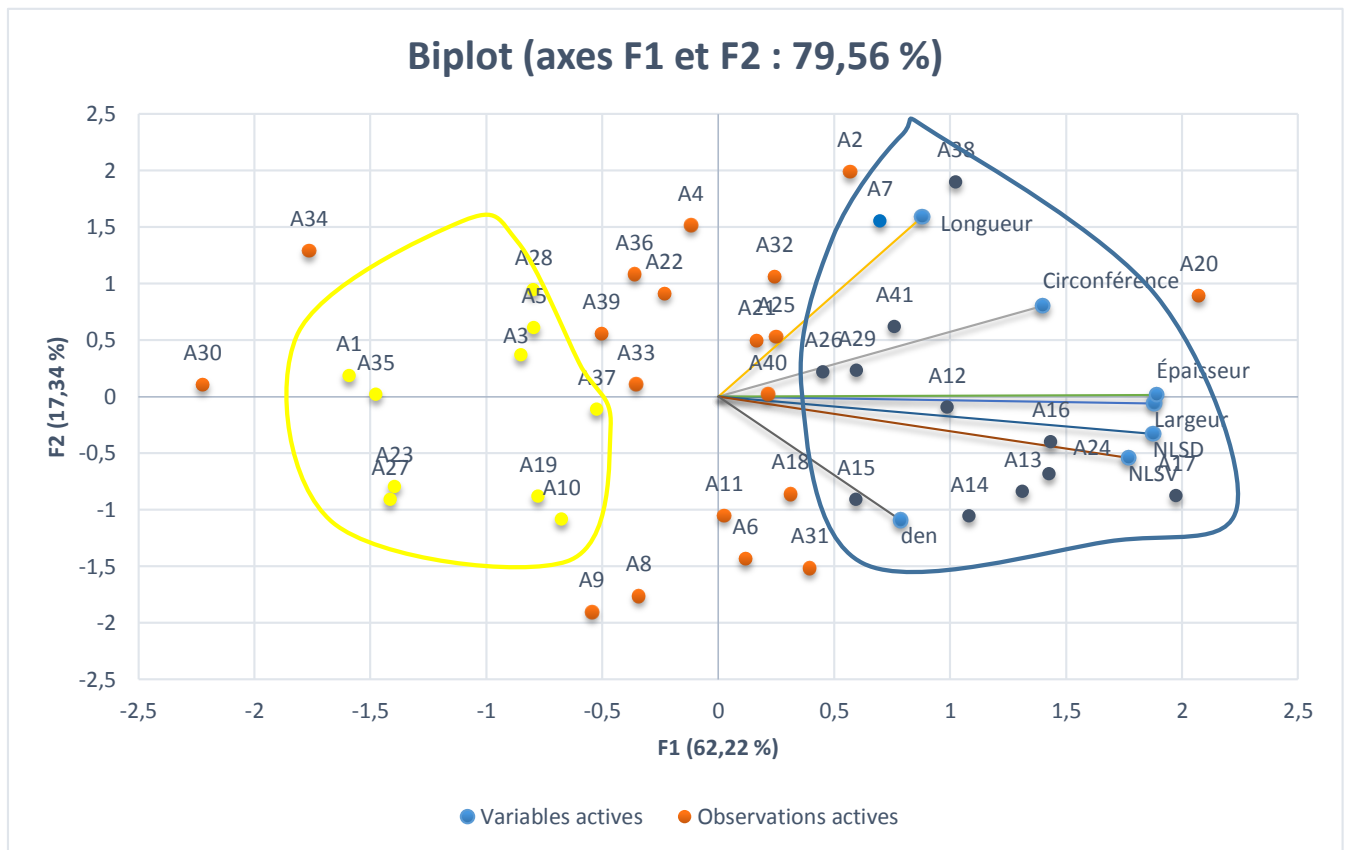


Figure 27 : plan factoriel de l'analyse en composantes principales et les groupes obtenus

Voir le tableau des cosinus carrés des individus : Annexe 4

Signification des axes :

L'analyse du plan factoriel révèle clairement une séparation distincte entre les groupes A et B, le long de l'axe F1

L'orientation positive de l'axe F1 est associée à une augmentation des variables telles que l'épaisseur des aiguilles, la circonférence, la largeur des aiguilles, ainsi que le nombre de lignes de stomates dorsales et ventrales. En revanche, l'orientation négative l'axe F1 est liée à une diminution de ces mêmes variables.

Tandis que l'orientation positive de l'axe F2 est associée à une augmentation de la longueur des aiguilles. En revanche, l'orientation négative de l'axe F2 est liée à une diminution de cette variable.

Le groupe A, composé des individus (A7, A12, A13, A14, A15, A16, A17, A20, A24, A26, A29, A38, A41), est localisé dans la partie positive de l'axe 1. Il est caractérisé par des arbres

ayant des circonférences, des épaisseurs, longueurs, des largeurs d'aiguilles, un nombre de lignes de stomates dorsales et ventrales élevées.

En revanche, le groupe B, qui comprend les individus (A1, A3, A5, A10, A19, A23, A27, A28, A35), est positionné dans la partie négative de l'axe 1. Ces arbres se caractérisent par des circonférences, longueurs, épaisseurs, largeurs d'aiguilles, ainsi qu'un nombre de lignes de stomates dorsales et ventrales plus réduits.

Le groupe C représente les individus dont les valeurs se situent au centre des axes, caractérisés par une neutralité apparente. Ces données ne présentent pas de caractéristiques saillantes dignes d'une analyse approfondie dans le contexte de cette étude.

6- Matrice de corrélation :

Tableau 9 : Matrice de corrélation

Variables	Cir						
Cir	1	Long					
Long	0,567	1	Larg				
Larg	0,554	0,361	1	Ép			
Ép	0,611	0,380	0,961	1	NLSD		
NLSD	0,553	0,276	0,885	0,893	1	NLSV	
NLSV	0,423	0,172	0,865	0,829	0,919	1	Den
Den	0,270	-0,077	0,263	0,267	0,373	0,353	1

Pour l'analyse en prenant en compte une valeur de 0,304 comme seuil de signification, nous allons considérer les corrélations qui sont significatives à ce niveau ou à des niveaux plus élevés (0,001, 0,01).

Voici les résultats pertinents en tenant compte de ce seuil :

Corrélations Très Hautement Significatives ($p < 0,001$)

1. Circonférence et Épaisseur des aiguilles ($r = 0,611$) :

- Il existe une corrélation très hautement significative entre la circonférence des arbres et l'épaisseur des aiguilles, indiquant que les arbres de plus grande circonférence ont tendance à avoir des aiguilles plus épaisses.

2. Circonférence et NLSD ($r = 0,553$):

- Une corrélation très hautement significative est observée entre la circonférence des arbres et le nombre de lignes de stomates dorsales (NLSD), suggérant que les arbres plus grands présentent généralement un nombre plus élevé de ces lignes.

3. Largeur et Épaisseur des aiguilles ($r = 0,961$) :

- Il existe une corrélation très hautement significative entre la largeur et l'épaisseur des aiguilles, montrant que les aiguilles plus larges ont tendance à être plus épaisses.

4. Largeur et NLSD ($r = 0,885$):

- Une corrélation très hautement significative est observée entre la largeur des aiguilles et le nombre de lignes de stomates dorsales (NLSD), suggérant que les aiguilles les plus larges ont tendance à avoir un nombre de lignes de stomates dorsales plus élevé.

5. Épaisseur des aiguilles et NLSD ($r = 0,893$) :

- Il existe une corrélation très hautement significative entre l'épaisseur des aiguilles et le nombre de lignes de stomates dorsales (NLSD), indiquant que les aiguilles plus épaisses ont tendance à avoir un nombre de lignes de stomates dorsales plus élevé.

6. Épaisseur des aiguilles et NLSV ($r = 0,829$) :

- Une corrélation très hautement significative est observée entre l'épaisseur des aiguilles et le nombre de lignes de stomates ventrales (NLSV), suggérant que les aiguilles plus épaisses ont tendance à avoir un nombre de lignes de stomates ventrales plus élevé.

7. NLSD et NLSV ($r = 0,919$):

- Il existe une corrélation très hautement significative entre le nombre de lignes de stomates dorsales (NLSD) et le nombre de lignes de stomates ventrales (NLSV), suggérant une forte association entre ces deux variables.

8. Circonférence et Longueur des aiguilles ($r = 0,567$) :

- Une corrélation très hautement significative est observée entre la circonférence des arbres et la longueur des aiguilles, indiquant que les arbres de plus grande circonférence ont tendance à avoir des aiguilles plus longues.

9. Circonférence et Largeur des aiguilles ($r = 0,554$) :

- Il existe une corrélation très hautement significative entre la circonférence des arbres et la largeur des aiguilles, montrant que les arbres de plus grande circonférence ont tendance à avoir des aiguilles plus larges.

Corrélations Significatives ($p < 0,01$)1. Circonférence et NLSV ($r = 0,423$) :

- Une corrélation significative est observée entre la circonférence des arbres et le nombre de lignes de stomates ventrales (NLSV), suggérant que les arbres de plus grande circonférence ont tendance à avoir un nombre de lignes de stomates ventrales plus élevé.

2. Longueur et Largeur des aiguilles ($r = 0,361$) :

- Il y a une corrélation significative entre la longueur et la largeur des aiguilles, indiquant que les aiguilles plus longues ont tendance à être plus larges.

3. Longueur des aiguilles et Épaisseur des aiguilles ($r = 0,380$) :

- Une corrélation significative est observée entre la longueur et l'épaisseur des aiguilles, suggérant que les aiguilles plus longues ont tendance à être plus épaisses.

4. NLSD et Densité du bouquet ($r = 0,379$) :

- Il existe une corrélation significative entre le nombre de lignes de stomates dorsales (NLSD) et la densité du bouquet, indiquant que les arbres avec un nombre de lignes de stomates dorsales plus élevé ont tendance à avoir une densité du bouquet plus élevée.

5. NLSV et Densité du bouquet ($r = 0,352$)** :

- Une corrélation significative est observée entre le nombre de lignes de stomates ventrales (NLSV) et la densité du bouquet, suggérant que les arbres avec un nombre de lignes de stomates ventrales plus élevé ont tendance.

7-Discussion :

Afin d'analyser nos résultats nous avons jugé utile de les comparer à ceux des travaux précédents.

Tableau 10 : comparatif de nos moyennes et celles des travaux précédents

Moyennes	ADJAOUD et AIDROUS (1992)	ABDELLI et MOUALI (1996)	BEY (2000)	ADJAOUD (2005)	MEKKI et MANSOURI (2015)	MESBAHI et ZEMIRLI (2021)	Nos résultats (2023)
Longueur (mm)	120,33	97,01	129,37	114,41	130,7	106,779	98,21
Largeur (mm)	1,26	1,17	1,45	1,34	1,07	1,1	1,24
ÉPAISSEUR (mm)	0,73	0,52	0,86	0,81	*	0,608	0,7
NLSD	10,91	*	11,29	12,32	12,7	9,108	10,32
NLSV	7,16	*	11,51	7,64	7,43	6,356	7,09

Ce tableau récapitule les résultats des dimensions des aiguilles trouvées par des auteurs de travaux précédents, si nous les comparons,

Nous constatons des différences marquées des dimensions des aiguilles et du nombre de lignes de stomates selon l'année de la récolte, remarqué aussi par ADJAOUD (2005) d'une manière plus négligeable. Cela revient peut être au climat et ses changement périodiques comme l'affirme KING (1965) in PROBST (1983) où il soutient que chez le Pin sylvestre, l'année du prélèvement influence nettement la longueur des aiguilles.

En ce qui concerne la longueur des aiguilles, nos résultats se rapprochent plus de ceux de ABDELLI et MOUALI (1996). Pour la largeur, l'épaisseur, nombre de lignes de stomates face dorsale et ventrale, nos résultats sont plus proches de ceux d'ADJAOUD et AIDROUS (1992)

L'analyse des résultats nous ont permis de mettre en évidence l'impact des différents facteurs étudiés sur les caractères morphologiques mesurés en premier lieu et de discerner en deuxième lieu, une variabilité intra individuelle puisque même au sein de l'arbre existe des

différences marquées en allant d'une exposition à une autre et aussi une variabilité interindividuelle au niveau des arbres et des bouquets.

En ce qui concerne la circonférence (âge) des arbres, nous avons pu apprécier qu'en moyenne, les arbres les plus gros ou les plus âgées ont en générale des dimensions d'aiguilles les plus importantes, en revanche, ce qu'on a remarqué comme tendance générale est que la circonférence est corrélée positivement et significativement avec tous les caractères étudiés mesuré sauf pour le nombre de stomate ventrales ou on constate une légère diminution de la corrélation,

En plus, on a remarqué que les arbres qui détiennent les valeurs maximales des lignes de stomates sont ceux de circonférence moyennes et pas les plus gros, ce phénomène peut être expliqué par le ralentissement du métabolisme avec la diminution des taux des accroissements annuels des arbres en vieillissant ou que cette diminution des stomates par aiguille avec l'âge est compensée par un nombre total plus important vue la supériorité des grands arbres en surface foliaire.

Pour l'exposition, on note que les dimensions des aiguilles qui sont exposées aux Sud sont les plus importantes pour la longueur et la largeur mais pas pour l'épaisseur qui partage la même moyenne que l'Est, nos résultats concordent avec ceux d'ADJAOUD et AIDROUS (1992) pour la longueur et la largeur mais différent pour l'épaisseur. Ce phénomène a pour cause le taux de lumière captée par les aiguilles, il est expliqué en partie par BOTTACCI et al. (1990) qui ont démontré que sur *Abies nebrodensis*, les aiguilles portées sur les branches éclairées ont des dimensions plus importantes que celles des branches d'ombre, même situation pour *Pinus sylvestris* où ELLSWORTH et al. (2001) in FERGANE (2014) ont démontré que la lumière peut affecter l'épaisseur et la largeur des aiguilles, pour notre cas, puisque la zone d'étude est dans l'hémisphère Nord au-dessus de l'équateur, c'est son exposition sud qui reçoit le plus de lumière vue la position du soleil lors de son acheminement de l'Est à l'Ouest. Pour les autres points cardinaux et leurs longueurs moyennes vient l'Est en deuxième position suivi de l'Ouest puis du Nord en derniers avec les valeurs les moins importantes vue que c'est l'exposition qui reçoit le moins de lumière. Une autre hypothèse peut probablement élucider cette singularité, elle porte sur que les arbres sont pourvue d'une certaine intelligence d'après les travaux de PETER WOHLLEBEN (2016) et SUZANNE SIMARD (2021), un exemple plus concret pour notre cas sont les travaux de BRUNO MOULIA de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) de Clermont-Ferrand qui a prouvé que les arbres ont le sens de proprioception ou autrement dit la perception de la

configuration de son propre corps dans l'espace, à partir de cela, on peut supposer qu'à grâce à cette intelligence les arbres investissent plus d'énergie et favorisent le développement de leurs feuilles qui se situent dans les parties les plus éclairées de manière à capter le plus de lumière possible afin de maximiser le potentiel photosynthétique qui est essentiel pour la vie et le développement des arbres.

Pour ce qui est de la densité, une corrélation significative et négative existe entre la longueur des aiguilles et la densité du bouquet, On peut donner une explication de ce phénomène en se basant sur le travail de PROBST (1998) qui en parlant d'altitude a impliqué la densité qui influe sur les dimensions des aiguilles puisque l'espacement des bouquets est plus important avec l'altitude ce qui leur permet de mieux développer leurs houppiers, à partir de cela on peut dire que plus les arbres s'éloignent plus ils reçoivent plus de lumière et vice versa donc, comme on a expliqué l'effet de la luminosité dans le paragraphe précédent, On peut conclure que plus la densité du bouquet augmente plus les longueurs des aiguilles diminuent car les individus qui le forment reçoivent moins de lumière, vu la concurrence qui peut exister entre les arbres pour ce facteur, d'où cette corrélation négative mais pour des résultats plus méticuleux, on aurait dû prendre en considération l'espacement et les distances inter arbres au sein des bouquets ainsi que la présence de sujets de *Cedrus atlantica* dans la même zone

Nos résultats montrent l'existence d'une grande variabilité entre les arbres pour les dimensions des aiguilles mise à part l'épaisseur qui semble présenter une stabilité pour les facteurs d'exposition et densité du bouquet, alors que AUSSENAC (1973) a observé une augmentation de l'épaisseur de l'aiguille de quelques résineux selon que les sujets soient soumis à une coupe d'abris ou qu'ils soient en plein découvert les avis sont partagés quant à la stabilité des caractères mesurables des aiguilles, certains comme PROBST (1998), CANTEGREL (1983) pensent que ces caractères sont variables et dépendent du milieu (Altitude, Exposition) alors que d'autres auteurs comme KENG et LITTLE (1961) pensent que certains caractères sont stables et donc fiables pour discriminer entre les populations d'une espèce ou sous-espèce. Pour ce qui est du nombre de stomates la corrélation est très hautement significative avec la largeur des aiguilles, ce résultat nous semble logique vu que les lignes de stomates sont comptées sur cette dernière.

Pour le nombre de lignes de stomates, même constatation que les dimensions des aiguilles, nous remarquons que ce nombre est plus important pour les aiguilles en exposition Sud que sur les aiguilles exposées au Nord, Est et l'Ouest, ces résultats rejoignent ceux de

BOTTACCI et al. (1992) qui avance que le nombre de lignes de stomates augmente sensiblement lorsque les aiguilles sont portées sur des rameaux exposé à la lumière, par contre pour MERGEN (1958), le nombre de stomates par unité de longueur dépend étroitement des facteurs génétiques et peut servir à apprécier l'hybridité chez certains pins.

Conclusion générale

Conclusion générale

Pour conclure ce travail, nous rappelons brièvement les points les plus marquants des résultats obtenus.

En passant en revue la bibliographie du Pin noir, nous avons pris conscience de la nature fragmentée de sa distribution dans le pourtour méditerranéen et sa capacité à occuper divers milieux du fait de sa plasticité écologique.

Pour ce qui est de la sous espèce *mauretanica* qui est le représentant de l'espèce collective *Pinus nigra* Arnold en Algérie se cantonne dans un seul peuplement naturel situé à Tikjda dans le parc national du Djurdjura comptant environ 500 sujets menacés de disparition vue le faible taux de régénération naturelle en plus des incendies qui ravagent chaque année la région en question.

L'étude des dimensions des aiguilles montre une grande variabilité entre les arbres sous l'influence des facteurs considérés : circonférence des arbres, densité du bouquet et l'exposition des aiguilles.

-la circonférence des arbres est liée positivement à toutes les variables mesurées, cette liaison est très significative surtout pour la longueur, la largeur, l'épaisseur et le nombre de lignes de stomates face dorsales, ceci suggère que les arbres les plus gros présentent les aiguilles les plus dimensionnées.

-la densité des arbres dans les bouquets montre une corrélation négative avec la longueur des aiguilles, ceci peut être expliqué par la compétition des arbres au sein du même bouquet néanmoins cette corrélation est positive pour le reste des variables mesurées.

-L'exposition a une influence marquée sur les dimensions des aiguilles ou nous avons constaté que celles exposées au Sud sont en moyenne les plus dimensionnées car elles reçoivent plus de lumière que celles exposées vers les autres points cardinaux.

-la comparaison de nos résultats avec les travaux précédents démontre une similitude avec les résultats trouvés par ADJAOUD et AIDROUS (1992) pour la largeur, l'épaisseur, nombre de lignes de stomates face dorsale et face ventrale mais nos il reste différents des autres travaux selon l'année de récolte, ce qui suggère que les conditions climatiques jouent un rôle important dans les dimensions des aiguilles.

À la fin de ce travail, nous conseillons les élaborateurs des futurs travaux similaires que pour des résultats plus méticuleux et surtout mieux démontrer l'impact de la densité, de procéder à un échantillonnage aléatoire au niveau des arbres et des bouquets puisque l'échantillonnage de commodité n'est pas aussi fiable et de prendre en considération

Conclusion générale

l'espacement inter arbre dans le bouquet et inter bouquets en plus de la présence de pieds de Cèdre d'Atlas qui ont peut-être une certaine influence sur les Pins noirs qu'ils côtoient.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

1. **ABDELLI, D. et MOALI, D. 1996.** Contribution à l'étude biosystématique du Pin noir du Maghreb (*Pinus nigra* Arnold subsp. *mauretunica*) Rif et Djurdjura.
2. **ABDELLI, D. (2002).** Contribution à l'étude de la variabilité morphologique et anatomique chez quelques provenances de Pins noirs de la Méditerranée occidentale : *Pinus nigra* Arnold.
3. **Abdesselam, M. 1995.** Structure et fonctionnement d'un karst de montagne sous climat méditerranéen : exemple du Djurdjura occidental (Grande Kabylie-Algérie). Thèse doctorat de l'Univ. Franche-Comté. 232p
4. **Adjaoud D. et Aidrous N., 1992.** Contribution à l'étude bio systématique du *Pin* noir du Djurdjura (*Pinus nigra* Arn. Subsp. *mauretunica*). Mem. Ing. Agr. UMMTO. (Algérie) 121p
5. **Adjaoud D., 2005.** Étude de la variabilité morphologique et physiologique du Pin noir du Djurdjura *Pinus nigra* Arnold ssp. *mauretunica*. Mém. Mag. Agr. U.M.M.T.O. (Algérie). 101p.
6. Algérien (*Pinus nigra* Arn. Ssp *clusiana* Maire et Peyer) à Tikjda : Djurdjura. Mém. Ing. Agr. INA. El Harrach Algérie. 87 p.
7. **Asmani .A., 1993.** "Exploration de la variabilité chez le Pin noir de la forêt de Tigountine (Djurdjura - Algerie) en comparaison avec quelques provenances de pins noirs méditerranéens. Thèse de Magister, UMMTO. Algérie. 156 p.
8. **ASMANI. A., 1988 :** Etude biosystématique du pin noir de Djurdjura (*Pinus nigra* Arnold subsp. *clusiana* Clem. Var. *mauretunica* Maire & Peyer). thèse Ing .Agr. Inst. D'agronomie T.O. 105p.
9. **ASMANI, A., 2003.** Plaidoyer pour le pin noir d'Algérie (*Pinus nigra* Arnold ssp. *mauretunica* Maire et Peyerimohff) - peuplements menaces. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). P01.
10. **Aussenac, G. (1973).** Effet des conditions microclimatiques différentes sur la morphologie et la structure anatomiques des aiguilles de quelques résineux. Annals of Forest Science, 30(4), 376-391
11. **BELLEFONTAINE, R 1979.** Plaidoyer pour le pin noir du Rif, espèce en voie de disparition Ann. Rech. For. Maroc. Stat. Rech Rabat. T19 : 327-338.
12. **Benabid, A. (1982).** Etudes phytoécologique, biogéographique et dynamique des associations et séries sylvatiques du rif occidental (Maroc): problèmes posés par la

reforestation et l'aménagement des peuplements forestiers actuels. Thèse de doctorat. Université d'Aix-Marseille 3.

13. **BENARAB et ALI SLIMANE, 2000** Etude de la variabilité des caractères biométriques et anatomiques du pollen et des aiguilles du peuplement de Pin noir du Djurdjura *Pinus nigra* Arnold Ssp. *Mauretunica*
14. **Benmoufflok A., 1994.** Approche éco-pédologique dans les formations à *Cedrus atlantica* cas du massif du Djurdjura. Annales de la recherche forestière du Maroc. 27 : 205-217.
15. **BOJOVIC 1995** : Analyse Biométrique et écologique du pin noir (*Pinus nigra* Arnold) en région méditerranéenne.
16. **BOJOVIC, S. 1995.** Analyse biométrique et Eco-géographique du Pin noir (*Pinus nigra* Arn) en région Méditerranéenne. Institut Méditerranéen d'écologie et de paléoécologie Marseille.
17. **Bottacci, A., Gellini, R., & Grossoni, P. (1990).** Morphological and anatomical aspects of *Abies nebrodensis* (Lojac) Mattei. Pp 117 – 124 Proceedings of International EEC Work-shop on Mediterranean Firs. 11- 15 Jun 1990, Avignon.
18. **BOUTAMINE R., 1987.** Étude structurale et dynamique du peuplement de pin noir du Djurdjura. Mém. de D.E.S. Sciences de la nature, Univ. Sci. Tech. H. Boumedienne. BabEzouar - Alger. 64 P
19. **CANTEGREL R., 1982.** Essai de discrimination de deux populations pyrénéennes de pins à crochets (*Pinus uncinata*) Anie et Néouvielle. Approche biologique et biochimique. Conséquences pour la sylviculture des pineraies sauvages. Université de Pau et des Pays de l'Adour. 238 p. + ann. 40 p. (Thèse).
20. **Chalabi B., 1980.** Etude écologique, dendrologique et dendrométrique du Pin noir
21. **CHEKAOUI et OUAMROUCHE, 2017.** Etude de la production grainière du Pin noir du Djurdjura
22. **DEBAZAC 1971** : Contribution à la connaissance de la répartition et l'écologie de *Pinus nigra* Arn. dans le Sud-Est de l'Europe. 50P.
23. **DERRIDJ A., 1990** : Etude des populations de *Cedrus atlantica* Man. en Algérie. The. Doc. Univ. Paul Sabatier Toulouse III, 288P.
24. **Emberger L., 1952.** Le quotient pluviothermique. Compt. Rend. Acad. Sci. Paris. 234, PP : 2508 – 2511

- 25. FLOUS CLASSIFICATION & Evolution Groupe Abiétinées Labo Forestier Sciences 1936**
- 26. FUKAREK, P. 1958.** Die Standortrassen der Schwarzföhre (*Pinus nigra* Arn. sen Lat.). *Zbl. ges. Forstw.*, 75: 203-207.
- 27. Gaston Delevoy 1949** A propos de la systématique de *Pinus nigra* Arnold Published in 1949 in Groenendaal by Ministère de l'agriculture Administration des eaux et forêts Station de recherches des eaux et forêts Groenendaal-Hoeilaart
- 28. GAUSSEN, H., LEROY, J. F., & OZENDA, P ;1982.** Précis de botanique. 2-Végétaux Supérieurs, 2 eme édition
- 29. HEDJAM .H, 2019.** Contribution à la caractérisation des décolorations des aiguilles du pin noir (*Pinus nigra* Arnold ssp. *Mauretanica* Maire et Peyer) dans le Parc National du Djurdjura (Algérie). These de Doctorat. UMMTO. PP 11-12.
- 30. Hedjam H., 2010.** "Diagnostic de la pollution par l'ozone par l'étude des symptômes foliaires sur le Pin noir du Djurdjura (*Pinus nigra* Arnold ssp *mauretanica* Maire et Peyer) et le Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Miller) dans les forêts de : Bainem (Alger), Harouza (Tizi- Ouzou), Tikjda et Tigounatine (Parc National du Djurdjura)." Mémoire de Magister, USTHB. Algérie. PP 137.
- 31. Isajev V., Fady B., Semerci H. et Andonovski V., 2003.** Pin noir (*Pinus nigra*). Fiche technique pour la conservation génétique. EUFORGEN. 1- 6. www.euforgen.org.
- 32. 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). These de Doctorat. UMMTO. PP 26- 27.
- 33. MAIRE ET DEPEYERIMHOFF. 1927.** Communication sur la découverte du Pin laricio dans le Djurdjura Bull. Soc. Hist. Nat. De l'Afrique du Nord, Tome XVIII, n : 6. méditerranéen. Editions Elsevier, Paris, 193 p.
- 34. MERGEN (1958),** Genetic variation in needle characteristics of slash pine and in some of its hybrids
- 35. M'herit, O. (1990).** Eléments pour un projet régional : Sélection et amélioration génétique du cèdre. Comité Silva Méditerranéen, Réseau sylviculture des espèces le cèdre. FAO. Rome.

36. **MULLER M. ,1986** : Contenu de l'étude bulgare sur le Parc National de Djurdjura. Rapport SEFMVT, 4p.
37. **OZENDA, 1975.** Sur les étages de végétations dans les montagnes du bassin méditerranéen Document de Cartographie écologique, Vol XVI, Univ. Sci. et Médicale de Grenoble. 1-32.
38. **PETER WOHLLEBEN, 2016.** The Hidden Life of Trees
39. **PROBST, 1983.** Variation intraspécifique et introgression entre *Pinus uncinata* Ram et *Pinussylvestris*L. en forêt d'Osseja (Pyrénées-Orientales).
40. **QUEZEL P, & MEDAIL F., 2003.** : Ecologie et biogéographie des forêts du bassin
41. **QUEZEL P., 1980** : Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen Act d'écologie Forest-Edit-Pesson, Paris, 225p.
42. **QUEZEL, P., (1957).** Peuplement végétal des hautes montagnes de l'Afrique du Nord : essai de synthèse biogéographique et phytosociologique, pp463. P :Lechevalier,
43. **SEIGUE A., 1985-** La foret circumméditerranéenne et ses problèmes. Edi. Maisonneuve et Larose. Paris (Ve). 496 p.
44. **SUZANNE SIMARAD 2021** Finding the Mother Tree. Uncovering the Wisdom and Intelligence of the Forest

Annexes

Annexes.

Annexe 1 ; Tableau des moyennes par arbres

Annexe 2 ; Tableau des moyennes par bouquets

Annexe 3 ; Tableau des moyennes par exposition

Annexe 4 ; Tableau des cosinus carrés des individus

Annexe 5 ; Tableau des coordonnées des individus

Annexe 6 ; Tableau des coordonnées des variables

Annexe 1 ; Tableau des moyennes par arbres

Arbre	Cir	Long					Larg					éps					NLSD					NLSV				
		X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV
A1	33	88,07	96,52	74,06	5,24	5,95	1,09	1,29	0,96	0,07	6,02	0,59	0,69	0,41	0,07	11,73	6,13	8	3	1,02	16,61	5,70	8	4	0,85	14,97
A2	131	120,78	148,39	102,30	11,81	9,78	1,27	1,56	1,09	0,12	9,65	0,76	0,92	0,60	0,09	11,96	10,30	13	8	1,51	14,62	7,55	10	5	1,24	16,41
A3	64	91,05	110,43	78,39	8,03	8,82	1,14	1,31	0,99	0,08	7,21	0,67	0,83	0,55	0,07	10,40	8,23	12	5	2,06	25,01	6,10	9	4	1,19	19,57
A4	136	108,98	132,72	91,28	10,83	9,94	1,18	1,33	1,00	0,10	8,30	0,69	0,82	0,57	0,07	10,14	9,13	14	6	1,77	19,41	6,38	9	3	1,41	22,09
A5	56	101,16	153,08	77,65	18,82	18,60	1,15	1,50	1,00	0,12	10,51	0,65	0,87	0,55	0,08	12,17	8,60	13	6	1,48	17,23	5,85	10	3	1,42	24,34
A6	58	73,34	80,93	63,70	4,52	6,17	1,27	1,50	1,17	0,07	5,33	0,71	0,88	0,60	0,06	8,02	11,88	15	9	1,54	12,96	8,35	10	6	1,23	14,74
A7	126	118,07	137,61	101,02	10,28	8,71	1,29	1,45	1,18	0,07	5,48	0,75	0,87	0,65	0,06	8,51	12,03	17	8	2,11	17,51	7,10	10	5	1,13	15,88
A8	36	76,66	92,93	61,27	9,24	12,05	1,18	1,31	1,06	0,07	5,77	0,71	0,86	0,60	0,06	8,01	10,10	13	5	1,93	19,13	7,20	9	5	1,07	14,82
A9	33	75,51	91,73	64,49	6,47	8,57	1,16	1,25	1,03	0,06	4,90	0,64	0,73	0,52	0,04	6,23	9,95	13	7	1,43	14,39	7,60	13	5	1,35	17,83
A10	70	78,94	101,28	64,15	9,42	11,94	1,17	1,41	1,03	0,09	7,57	0,66	0,80	0,54	0,05	8,28	8,65	11	6	1,58	18,24	6,08	9	4	1,29	21,21
A11	55	88,97	96,00	80,02	4,23	4,76	1,25	1,35	1,14	0,06	4,39	0,71	0,78	0,62	0,04	5,38	10,88	13	9	1,16	10,66	7,13	9	5	1,04	14,63
A12	145	99,32	114,64	78,12	10,44	10,51	1,30	1,45	1,15	0,08	6,02	0,76	0,87	0,61	0,07	8,67	11,83	15	9	1,53	12,97	8,43	11	6	1,22	14,45
A13	85	97,91	125,01	76,61	11,21	11,45	1,39	1,49	1,22	0,07	4,72	0,82	0,92	0,61	0,05	6,17	13,68	18	8	2,47	18,09	8,73	12	6	1,20	13,73
A14	136	87,57	120,68	62,93	16,26	18,57	1,33	1,52	1,21	0,08	5,81	0,76	0,89	0,67	0,06	7,64	12,95	16	9	1,58	12,23	8,45	12	6	1,43	16,94
A15	62	99,89	122,35	74,69	13,42	13,44	1,27	1,50	0,99	0,13	10,56	0,74	0,88	0,58	0,07	9,73	12,45	16	9	1,68	13,48	7,95	12	4	1,74	21,87
A16	115	105,13	132,23	84,48	12,63	12,01	1,38	1,57	1,12	0,13	9,42	0,82	0,98	0,66	0,08	10,37	13,00	18	8	1,95	14,98	8,70	11	5	1,18	13,58
A17	89	106,43	120,54	84,60	9,70	9,12	1,47	1,68	1,31	0,10	6,54	0,87	1,06	0,72	0,08	9,11	14,03	19	10	2,13	15,19	10,15	14	6	1,81	17,79
A18	85	92,34	119,20	78,80	10,19	11,03	1,29	1,41	1,14	0,07	5,22	0,73	0,84	0,61	0,06	8,79	10,33	13	8	1,29	12,48	7,33	9	6	0,97	13,26
A19	40	93,08	119,79	74,32	11,78	12,66	1,15	1,24	1,01	0,06	5,04	0,61	0,73	0,51	0,05	8,05	8,65	11	6	1,14	13,23	6,33	8	5	0,89	14,04
A20	118	133,69	155,16	117,56	10,70	8,00	1,48	1,64	1,22	0,12	7,98	0,85	1,01	0,67	0,09	10,25	13,48	17	10	1,84	13,65	9,30	12	6	1,52	16,37
A21	153	102,41	126,69	73,39	19,07	18,62	1,16	1,36	1,04	0,08	6,79	0,67	0,77	0,56	0,05	7,89	10,60	13	7	1,41	13,31	6,83	8	5	0,71	10,43
A22	108	113,08	131,57	97,30	10,55	9,33	1,16	1,32	1,05	0,06	5,59	0,66	0,75	0,57	0,04	6,31	9,43	13	6	1,50	15,92	5,85	8	4	0,89	15,26
A23	20	89,45	118,69	60,48	11,55	12,91	1,04	1,21	0,93	0,07	6,57	0,58	0,67	0,49	0,05	9,25	8,28	11	6	1,28	15,48	5,35	7	4	0,86	16,15
A24	100	99,73	118,82	83,68	8,76	8,79	1,44	1,60	1,21	0,12	8,12	0,80	0,94	0,66	0,08	9,43	13,00	16	11	1,40	10,74	9,25	13	6	1,75	18,92
A25	120	107,29	133,31	91,63	10,79	10,05	1,25	1,51	1,12	0,09	7,00	0,71	0,83	0,64	0,05	7,08	9,90	13	7	1,34	13,49	6,70	10	5	1,20	17,95
A26	126	103,87	134,92	86,04	12,25	11,79	1,25	1,38	1,14	0,07	5,61	0,71	0,81	0,60	0,05	6,96	10,63	14	8	1,37	12,91	7,53	10	5	1,22	16,20
A27	17	87,45	119,09	67,99	10,92	12,49	1,07	1,20	0,92	0,08	7,01	0,58	0,71	0,47	0,05	8,90	7,65	11	5	1,29	16,89	5,50	8	4	1,01	18,41
A28	79	103,64	120,95	85,01	9,89	9,54	1,13	1,22	0,99	0,05	4,42	0,63	0,72	0,54	0,03	5,40	8,63	11	6	1,43	16,54	5,70	7	4	0,82	14,43
A29	88	100,68	131,51	81,91	13,30	13,21	1,31	1,52	1,20	0,07	5,44	0,76	0,88	0,66	0,05	6,96	11,85	15	9	1,25	10,56	8,00	13	6	1,32	16,51

A30	22	84,03	91,34	74,58	4,66	5,55	1,02	1,12	0,91	0,05	4,57	0,56	0,66	0,42	0,06	10,62	5,83	9	4	0,96	16,44	3,35	10	2	1,31	39,15
A31	34	78,71	118,75	59,63	12,09	15,36	1,31	1,44	1,20	0,07	5,27	0,74	0,85	0,65	0,05	6,63	12,68	16	9	1,53	12,04	8,93	10	7	0,80	8,93
A32	62	112,04	130,58	99,66	7,48	6,67	1,30	1,44	1,17	0,07	5,66	0,70	0,79	0,61	0,05	6,88	11,13	15	8	1,60	14,42	8,05	11	6	1,18	14,60
A33	62	88,63	100,14	70,82	6,95	7,84	1,25	1,36	1,11	0,06	4,74	0,67	0,77	0,56	0,06	8,28	9,93	13	8	1,29	12,98	7,30	10	6	1,09	14,94
A34	15	107,89	116,61	89,89	6,52	6,05	0,98	1,06	0,90	0,04	4,21	0,57	0,62	0,49	0,03	6,13	7,43	10	6	1,13	15,22	5,05	7	4	0,78	15,50
A35	20	91,37	118,57	70,43	12,92	14,14	1,02	1,11	0,95	0,04	3,69	0,57	0,70	0,42	0,05	8,59	8,35	11	6	1,19	14,23	6,23	8	5	0,95	15,21
A36	50	110,57	129,56	93,82	9,43	8,53	1,23	1,34	1,10	0,06	4,58	0,69	0,81	0,61	0,05	6,74	9,43	13	7	1,66	17,64	6,40	9	5	1,06	16,52
A37	42	87,95	105,47	78,13	8,60	9,77	1,19	1,35	1,01	0,10	8,20	0,72	0,86	0,50	0,08	10,94	9,95	13	7	1,48	14,92	6,25	8	5	0,84	13,44
A38	155	117,64	129,83	84,92	10,75	9,13	1,36	1,42	1,24	0,04	2,77	0,80	0,86	0,70	0,03	4,10	12,23	14	10	1,12	9,17	6,80	10	5	1,04	15,33
A39	33	105,85	119,45	83,56	8,38	7,92	1,24	1,35	1,13	0,05	4,10	0,66	0,77	0,56	0,05	7,95	8,75	11	6	1,19	13,63	6,90	9	5	0,93	13,45
A40	65	91,19	104,92	76,95	9,28	10,17	1,37	1,54	1,20	0,08	5,77	0,80	0,94	0,70	0,06	7,18	9,73	13	7	1,48	15,27	6,78	9	5	1,07	15,85
A41	83	106,11	120,88	88,84	7,70	7,26	1,39	1,48	1,24	0,07	4,77	0,79	0,96	0,64	0,06	8,23	11,65	16	8	1,83	15,74	7,73	11	5	1,20	15,51
T		Long					Larg					éps					NLSD					NLSV				
		X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV
	76	98,21	155,2	59,63	13,40	13,65	1,24	1,68	0,9	0,12	9,96	0,7	1,06	0,41	0,08	11,60	10,32	19	3	2,04	19,77	7,09	14	2	1,35	19,00

Annexe 2 ; Tableau des moyennes par bouquets

Bouquet	Densité	Long					Larg					éps					NLSD					NLSV				
		X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV
B1	5	99,96	148,39	74,06	17,20	17,20	1,17	1,56	0,96	0,12	10,30	0,67	0,92	0,41	0,10	15,33	8,22	13	3	2,32	28,28	6,45	10	4	1,36	21,07
B2	7	100,39	153,08	63,70	20,69	20,61	1,22	1,50	1,00	0,11	8,99	0,70	0,88	0,55	0,08	11,03	10,41	17	6	2,33	22,36	6,92	10	3	1,60	23,09
B3	13	86,22	125,01	61,27	13,14	15,24	1,24	1,49	1,03	0,11	8,76	0,72	0,92	0,52	0,08	11,17	10,85	18	5	2,34	21,60	7,53	13	4	1,48	19,64
B4	15	102,59	155,16	62,93	18,73	18,25	1,34	1,68	0,99	0,15	11,04	0,77	1,06	0,51	0,11	14,09	12,13	19	6	2,45	20,19	8,31	14	4	1,82	21,84
B5	13	100,47	134,92	60,48	14,94	14,87	1,20	1,60	0,92	0,15	12,48	0,67	0,94	0,47	0,09	13,56	9,93	16	5	2,12	21,37	6,71	13	4	1,69	25,24
B6	7	91,76	131,51	59,63	14,90	16,23	1,19	1,52	0,91	0,14	11,70	0,67	0,88	0,42	0,09	14,09	9,74	16	4	3,02	31,02	6,49	13	2	2,42	37,32
B7	3	102,85	130,58	70,82	12,37	12,03	1,18	1,44	0,90	0,15	13,18	0,65	0,79	0,49	0,07	11,61	9,49	15	6	2,05	21,60	6,80	11	4	1,64	24,09
B8	5	96,63	129,56	70,43	14,42	14,93	1,15	1,35	0,95	0,11	9,92	0,66	0,86	0,42	0,09	13,03	9,24	13	6	1,59	17,24	6,29	9	5	0,95	15,06
B9	6	105,20	129,83	76,95	13,03	12,39	1,34	1,54	1,13	0,08	6,27	0,76	0,96	0,56	0,08	10,44	10,59	16	6	2,00	18,93	7,05	11	5	1,13	15,97
T		Long					Larg					éps					NLSD					NLSV				
		X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV
		98,21	155,2	59,63	6,02	6,13	1,24	1,68	0,9	0,07	5,66	0,7	1,06	0,41	0,04	6,34	10,32	19	3	1,11	10,72	7,09	14	2	0,63	8,88

Annexe 3 ; Tableau des moyennes par exposition

Exp	Long					Larg					éps					NLSD					NLSV				
	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV
Nord	96,11	148,39	60,48	15,78	16,41	1,23	1,59	0,90	0,14	11,41	0,70	0,94	0,41	0,10	14,61	10,20	16	3	2,57	25,17	7,02	13	2	1,78	25,38
Sud	100,66	155,16	63,78	17,02	16,91	1,25	1,64	0,94	0,14	11,41	0,71	1,01	0,42	0,10	13,81	10,47	18	5	2,35	22,46	7,19	13	2	1,67	23,21
Est	98,03	137,61	59,63	17,02	17,36	1,23	1,61	0,92	0,14	11,61	0,71	1,00	0,50	0,10	13,59	10,42	18	4	2,56	24,53	7,06	13	2	1,83	25,99
Ouest	98,02	142,53	61,27	17,59	17,95	1,23	1,68	0,91	0,15	12,56	0,70	1,06	0,48	0,10	14,65	10,20	19	5	2,63	25,75	7,11	14	3	1,79	25,21
T	Long					Larg					éps					NLSD					NLSV				
	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV	X	M	m	SD	CV
	98,21	155,16	59,63	1,87	1,90	1,24	1,68	0,9	0,01	0,73	0,7	1,06	0,41	0,01	0,91	10,32	19	3	0,14	1,40	7,09	14	2	0,07	1,05

Annexe 4 ; Tableau des cosinus carrés des individus

	F1	F2	F3
A1	0,932	0,003	0,017
A2	0,216	0,733	0,006
A3	0,778	0,041	0,072
A4	0,015	0,691	0,106
A5	0,846	0,137	0,001
A6	0,011	0,438	0,373
A7	0,399	0,547	0,000
A8	0,113	0,837	0,000
A9	0,219	0,741	0,000
A10	0,424	0,307	0,130
A11	0,002	0,884	0,024
A12	0,737	0,002	0,115
A13	0,864	0,099	0,011
A14	0,622	0,165	0,075
A15	0,427	0,279	0,059
A16	0,938	0,021	0,032
A17	0,903	0,050	0,005
A18	0,188	0,399	0,296
A19	0,475	0,172	0,242
A20	0,833	0,043	0,018
A21	0,025	0,062	0,643
A22	0,055	0,235	0,689
A23	0,790	0,072	0,090
A24	0,920	0,059	0,005
A25	0,113	0,141	0,702
A26	0,367	0,023	0,512
A27	0,800	0,092	0,070

A28	0,691	0,270	0,029
A29	0,652	0,027	0,292
A30	0,953	0,001	0,007
A31	0,091	0,375	0,496
A32	0,056	0,294	0,485
A33	0,161	0,004	0,660
A34	0,802	0,119	0,010
A35	0,886	0,000	0,032
A36	0,191	0,476	0,177
A37	0,383	0,005	0,429
A38	0,460	0,439	0,000
A39	0,355	0,121	0,201
A40	0,051	0,000	0,412
A41	0,556	0,101	0,290

Annexe 5 ; Tableau des coordonnées des individus

	F1	F2	F3
A1	-3,319	0,203	-0,443
A2	1,190	2,190	-0,195
A3	-1,770	0,406	-0,538
A4	-0,245	1,667	0,653
A5	-1,657	0,667	-0,046
A6	0,247	-1,577	-1,454
A7	1,458	1,707	0,042
A8	-0,713	-1,941	-0,033
A9	-1,138	-2,095	0,047
A10	-1,409	-1,198	0,780
A11	0,055	-1,156	0,192
A12	2,063	-0,106	0,814
A13	2,742	-0,927	-0,313
A14	2,262	-1,166	0,784
A15	1,242	-1,004	0,462
A16	2,995	-0,444	0,557
A17	4,123	-0,967	-0,298
A18	0,650	-0,947	0,816
A19	-1,617	-0,973	1,156
A20	4,324	0,985	0,639
A21	0,348	0,549	1,765
A22	-0,485	1,004	1,719
A23	-2,912	-0,878	0,981
A24	2,980	-0,753	-0,224
A25	0,522	0,582	1,300
A26	0,947	0,239	1,119
A27	-2,950	-1,003	0,875
A28	-1,659	1,037	0,342
A29	1,249	0,255	-0,837
A30	-4,639	0,117	0,385
A31	0,825	-1,670	-1,920
A32	0,509	1,169	-1,500
A33	-0,737	0,119	-1,493
A34	-3,681	1,420	-0,420
A35	-3,078	0,019	-0,587
A36	-0,754	1,191	-0,726
A37	-1,091	-0,123	-1,155
A38	2,140	2,090	-0,043
A39	-1,050	0,613	-0,791
A40	0,446	0,022	-1,266
A41	1,588	0,678	-1,148

Annexe 6 ; Tableau des coordonnées des variables

	F1	F2	F3
Circonférence	0,706	0,405	0,400
Longueur	0,444	0,802	0,185
Largeur	0,948	-0,031	-0,206
Épaisseur	0,954	0,007	-0,160
NLSD	0,946	-0,165	-0,113
NLSV	0,893	-0,273	-0,215
den	0,397	-0,551	0,712

Annexe N° 07

Tableau du regroupement des arbres échantillonnés

Bouquet	Densité	Arbres Ech	Cir (cm)
B1	5	A1	33
		A2	131
		A3	64
B2	7	A1	136
		A2	56
		A3	58
		A4	126
B3	13	A1	36
		A2	33
		A3	70
		A4	55
		A5	145
		A6	85
B4	15	A1	136
		A2	62
		A3	115
		A4	89
		A5	85
		A6	40
		A7	118
B5	13	A1	153
		A2	108
		A3	20
		A4	100
		A5	120
		A6	126
		A7	17
B6	7	A1	79

		A2	88
		A3	22
		A4	34
B7	3	A1	62
		A2	62
		A3	15
B8	5	A1	20
		A2	50
		A3	42
B9	6	A1	155
		A2	33
		A3	65