

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DÉPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de Master II

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Foresterie

Option : Sciences Forestières

**Utilisation de la méthode photographie hémisphérique pour
quantifier le taux de lumière dans le peuplement de pin noir de
Djurdjura (*Pinus nigra ssp. Mauretanica* Maire et Peyer)**

Présenté par :

-FODIL KAMELIA

-HAMADACHE SAFIA

Devant le jury :

- Président : Mr METNA B. Maitre-assistant classe A à l'UMMTO.

- Promoteur : Mr KHELLAF.R professeur à l'UMMTO.

-Co-promoteur : Mme ADJAOUD D. Maitre assistante classe A à l'UMMTO.

- Examinatrice : Mme HAMIDOUCHE SI MOHAMED Ch. Maitre-assistante classe A à l'UMMTO

Année universitaire : 2023/2024

Remerciement

A travers de ce modeste travail nous tenons à exprimer notre gratitude au bon Dieu de nous avoir donné la force pour le réaliser.

*Nous tenons à remercier **Mr. RABHI. K** Professeur à l'UMMTO qui nous a aidé et accueillie tout au long du notre travail.*

*Nous remercions **Mme ADJAOUED. D** Maitre assistante au département des sciences agronomiques à l'Université de Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, qui nous a idée tout au long de ce mémoire et pour ses orientations, ses précieux conseils qui nous ont permis d'améliorer constamment ce travail.*

*Nous remercions également Monsieur **METNA.B** maitre-assistant à l'Université de Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou d'avoir accepté la présidence du jury,*

*Et Madame **HAMIDOUCHE SI MOHAMED CHAFIA** maitre-assistante à l'Université de Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, pour avoir accepté d'examiner notre travail.*

Et aussi un grand merci pour les agents de parc national de Djurdjura.

Enfin, nous ne serons bien sûr oubliés d'assurer de notre gratitude tous ceux, qui nous ont Fait bénéficié de leur expérience, de leur soutien, lors des différentes étapes de notre Formation.

*Je dédie ce modeste travail
À toute ma famille, Mes frères et sœurs
Ainsi que tous mes ami(es), et
particulièrement Radouane.*

KAMELIA

Je dédie ce modeste travail

A mes parents

À toute ma famille

Ainsi que tous mes ami (s)

SAFIA.

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Classification du pin noir selon CRONQUIST.....	15
Tableau 2 : Classification de pin noir selon FUKARFEK(1952).....	15
Tableau 3 : Caractère botanique et dendrologiques du pin noir	20
Tableau 4 : Les différentes sous espèces du pin noir.....	23
Tableau 5 : Ravageurs principaux du pin noir d'autriche	25
Tableau 6 : Ravageurs du pin noir du DJURDJURA	26
Tableau 7 : Tableau de kimall.....	33
Tableau 8 : Localisation et caractéristiques principale de la station d'étude	42
Tableau 9 : Précipitation moyennes de la station d'étude	43
Tableau 10 : Températures moyennes de la station d'étude.....	44
Tableau 11 : Le quotient pluviométrique d'Emberger	46
Tableau 12 : Résultats des calculs des attributs de la canopée	63

Liste d'abréviation :

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).

PND : parc national de Djurdjura

(Q2) : quotient d'Emberger

(Q3) : quotient de Stewart

Liste des figures :

Figure 1: Aire de répartition schématique du pin noir et ses sous espèces en région méditerranéenne	18
Figure 2: Photo du pin noir planté en 2014 à Tala Rana.....	20
Figure 3 : a) troc de pin noir, b) arbre adulte du pin noir.....	22
Figure 4 : (a) les aiguilles du pin noir, (b) un cône du pin noir.....	22
Figure 5: Cycle de reproduction chez le pin noir du Djurdjura	29
Figure 6: Le concept de la méthode de Beer-Lambert	35
Figure 7 : Exemple d'une photographie hémisphérique.....	36
Figure 8: Représente lors de la prise de vue	37
Figure 9: Tirée de papier	38
Figure 10: Carte géographique de la zone de Djurdjura	42
Figure 11: Précipitation moyennes mensuelle(1996à2016)Tgounatine et Tikejda centre.....	43
Figure 12: Températures moyennes mensuelles (1996à2016),Tigounatine et Tikejda centre..	44
Figure13: Diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gaussen de la station d'étude(1996à2016) Tigounatine et Tikejda Centre	45
Figure 14 : Situation de la station d'étude dans le climagramme d'EMBERGER	46
Figure 15: Photo panoramique 1	48
Figure 16: Photo panoramique 2	48
Figure 17: Photo panoramique 3	48
Figure 18: Photo panoramique 4	48
Figure 19 : Photo panoramique 5	48
Figure 20 : Exemple d'un placeaux.....	48
Figure 20 : Représente les méta donnée d'une image hémisphérique.....	56
Figure 21: Principe graphique de la définition de l'indice de foliaire	56
Figure 22 : Photo (1) avec masque noir	59
Figure 23 : Photo (2) avec masque.....	59
Figure 24 : Photo (3) avec masque noir	59
Figure 25 : Photo (4) avec masque noir	59
Figure 26 : Photo (5) avec masque noir.....	59
Figure 27 : Niveau de gris de la photo (01).....	60
Figure 28 : Niveau de gris de la photo (02)	60
Figure 29 : Niveau de gris de la photo (03)	60
Figure 30 : Niveau de gris de la photo (04)	60

Figure 31 : Niveau de gris de la photo (05)	60
Figure 32 : Binarisation en noir et blanc De la photo 01	61
Figure 33 : Binarisation en noir et de la photo 02	61
Figure 34 : Binarisation en noir et blanc De la photo 03.....	61
Figure 35 : Binarisation en noir et blanc De la photo (4)	61
Figure 36 : Binarisation en noir et blanc de la photo 05.....	61
Figure 37 : Binarisation circulaire Hémisphérique plot avec azimuth Rings et segments de la photo 03.....	62
Figure 38 : Binarisation circulaire hémisphérique plot avec azimuth rings et segments de la photo 03.	62
Figure39 : Binarisation circulaire hemisphérique plot avec azimuth rings et segments de la Photo 04.	62
Figure 40 : Binarisation circulaire hemisphérique plot avec azimuth rings Segments de la photo05.....	62
Figure41 : Binarisation circulaire hémisphérique plot avec azimuth rings et segments de la photo 05.....	52
Figure 42 : Représente le pourcentage de lumière arrivé au sol au niveau de chaque photo...	63

Table des matières

Liste des tableaux :

Liste des figures :

Liste d'abréviations :

Introduction Générale.....12

Chapitre I : Généralités sur le pin noir

I.	Historique :	15
II.	Les différentes sous-espèces du pin noir :	15
III.	Taxonomie du pin noir :	16
IV.	La répartition du <i>Pinus nigra</i> :	17
1.	Dans le monde :	17
a.	Aire naturelle :	17
b.	Aire artificielle :	18
2.	En Algérie :	19
a.	Aire naturelle :	19
b.	Aire artificielle :	19
V.	Caractères botaniques et dendrologiques :	21
VI.	La végétation :	23
VII.	Exigences écologiques :	24
1.	Altitude :	24
2.	Le climat :	24
a.	Précipitations :	25
b.	Températures :	25
3.	Facteurs édaphiques :	25
VIII.	Maladies et Menaces :	26
1.	Les insectes :	26
2.	Les incendies :	28
IX.	Cycle de reproduction :	28
X.	Importance de l'espèce :	29

Chapitre II : Généralités sur la lumière et les méthodes de mesures

I.	Généralités sur la lumière dans un peuplement forestier :	31
II.	Généralités sur les méthodes de mesure de la lumière dans un peuplement forestier :	32
1.	Historique sur les méthodes de mesure de la lumière :	32

2.	Les différentes méthodes de mesures :	33
a.	La méthode de Beer-Lambert :	33
b.	La méthode de photographie hémisphérique :	34
c.	Méthode de mesure et de traitement d'image :	35
d.	La méthode d'Arietta :	36

Chapitre III : Matériel et méthode

I.	Caractéristiques de parc national du Djurdjura :	40
II.	Caractéristique de la zone d'étude :	40
1.	Délimitation géographique :	40
2.	Pédologie :	41
3.	Conditions climatiques :	42
a.	Les précipitations :	42
b.	Les températures :	43
III.	Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN :	43
IV.	Quotient pluviothermique :	44
V.	Climagramme d'Emberger :	45
VI.	Méthodologie :	45
1.	Utilisation de l'application de 360° Photo Sphère :	46
VII.	Les images panoramiques avant le traitement sous R :	47
VIII.	Traitement des photos sur R :	49
IX.	Le rôle de chaque fonction dans chaque package :	49
1.	Package « Exifr » :	49
a.	Read_Exif :	49
2.	Package « Imager » :	49
a.	Resize_Image :	49
b.	Image_rotate :	49
3.	Package « magick » :	49
a.	Image_Read :	50
c.	Image transparent :	50
d.	Image_mosaic :	50
e.	Image write :	51
g.	Image_crop :	51
h.	Image_info :	51
i.	Image_flip :	51
4.	Package« hemispheR » :	51
a.	Binarize_Fisheye :	51

b.	Gapfric_fisheye :.....	51
c.	Import_fisheye :	51
X.	Le Script complet utilisé pour le traitement d'image et le calcul des attributs de la canopée :.....	51

Chapitre IV : Résultats et discussion

I.	Les étapes de traitement des images sphériques –panoramiques :.....	55
1.	Les méta donnés :.....	55
a.	Indice de LAI :	55
b.	Indice d'agglutination(Ω) :.....	56
c.	DIFN :	56
d.	MTA.ell :.....	57
II.	Conversion en image hemispherique :.....	57
1.	Redimensionnement de l'image et projection sur les coordonnées polaires :.....	57
2.	Création du masque noir et la photo hémisphérique :	57
III.	Les photos hemésphiriques avec le masque noir :.....	58
IV.	Les étapes de traitement des images hémisphériques :.....	59
1.	Niveau de gris avec la fonction ‘import_fisheye’ :.....	59
2.	Binarisation en noir et blanc avec la fonction ‘binarize_fisheye’. La méthode de seuillage est ‘Otsu’ :.....	60
3.	Binarization circulaire hémisphérique plot avec azimuth rings et segments avec la fonction ‘gapfrac_fisheye’ :.....	61
V.	Calcul des attributs de la canopée avec la fonction ‘canopy_fisheye’ :	62
VI.	Discussion :.....	62

Conclusion

	Références bibliographiques :.....	64
--	------------------------------------	----

Introduction Générale

Les forêts méditerranéennes présentent une singulière complexité, suite aux effets des facteurs écologiques et génétiques qui les composent. Malgré une richesse en espèces, des signes de régression sont très remarquables. Parmi les causes de cette régression, les plus importantes sont les conséquences des grands bouleversements géologiques dans le bassin méditerranéen et les traces des impacts anthropiques. A ces derniers, s'ajoute une régénération naturelle insuffisante de certaines espèces posant des questions délicates et préoccupantes. (Abdelli, 2002).

En Algérie, le pin noir (*Pinus nigra subsp. Mauretanica*) est une espèce endémique Algéro-marocaine menacée de disparition, notamment par l'absence de régénération naturelle sur de longues périodes et les incendies récurrents, et la concurrence avec les semis de cèdre, et ce dernier est un facteur limitant les chances de la germination des graines. (Muller, 1986 in Adjaoud, 2005). Cette concurrence justement entre le pin noir et le cèdre à l'état adulte a un effet sur la lumière qui traverse la canopée.

Le pin noir a fait l'objet de plusieurs études au niveau du peuplement naturel de Tikjda, à titre d'exemple (ASMANI, 1988), (ASMANI, 1993) et (ADJAOUD et AIDROUS, 1992) qui ont travaillé sur la biosystématique et la variabilité du pin noir de Djurdjura, (ABDELLI, 2002) qui a traité la variabilité morphologique et anatomique chez quelques provenances du Pin noir de la méditerranée occidentale. (ADJAOUD, 2005) a étudié la variabilité morphologique et physiologique du pin noir du Djurdjura, (HEDJAM, 2019) qui a travaillé sur la contribution à la caractérisation des décolorations des aiguilles du pin noir.

Pour notre part, notre travail traite un nouveau paramètre qui est la lumière qui est un élément essentiel qui possède une grande importance dans le processus de la régénération naturelle, pour la santé et productivité des peuplements forestiers, le but au départ était de voir l'effet de la photosynthèse sur la germination des graines, mais faute de présence de semis dans cette année, nous avons essayé de quantifier le taux de lumière qui arrive au sol, elle est déterminée par l'ouverture du couvert forestier.

Pour bien étudier ce paramètre, notre étude est basée sur une nouvelle méthode de mesure de lumière la méthode photographie hémisphérique qui est développée par l'écologue américain ARIETTA qui est basée sur l'utilisation du smartphone et des outils informatiques, pour quantifier le taux de lumière, nous avons mesuré les différents attributs de la canopée (l'indice

de surface foliaire, l'indice d'agglomération de l'ouverture de couvert forestier et l'angle d'inclinaison des feuilles) sur la régénération du pin noir.

Donc, comment les progrès technologiques pourraient-ils améliorer la mesure de taux de lumière dans les peuplements forestiers en général, et dans le peuplement du pin noir du Djurdjura (Tigounatine) en particulier ?

Le mémoire est structuré en plusieurs parties comme suit :

- ✓ Généralités sur le pin noir
- ✓ Généralités sur la lumière et les méthodes de mesure
- ✓ Matériel et méthodes
- ✓ Résultats et discussion
- ✓ Conclusion et bibliographie

Chapitre I : Généralités sur le pin noir

I. Historique :

Les premiers fossiles du genre *Pinus* dateraient du jurassique supérieur (EMBERGER, 1960 cités par CHEKAOUI ET OUAMROUCHE ,2017).il a été découvert à Spitzberg dans l'océan arctique glacial (*G de sporta in roman –amant*,1984)

Le pin noir du Djurdjura (*Pinus nigra* subsp. *Mauretanica*) représente une essence forestière relique, qui remonte probablement à l'ère tertiaire

A la fin du tertiaire, une intense activité tectonique a eu lieu, ce qui a engendré une répartition discontinue du pin noir sur le globe terrestre et pour la période du refroidissement global, le changement des conditions climatiques s'est manifesté sur tout le globe, Et par conséquent la période du quaternaire qui a succédé a connu une forte extinction des pins ou bien leur migration vers le pourtour méditerranéen. (QUEZEL, 1980).

La découverte du pin noir en Algérie s'est faite plus récemment en 1922 par le brigadier SOULIER, ce pin a été considéré comme un *Pin laricio* (MAIRE et DE PEYERIMHOFF, 1927). De nos jours, ce même pin constitue avec celui du Rif Marocain découvert par FONT-QUER en 1930 la sous espèce *Mauretanica* (BELLEFONTAINE, 1979).

II. Les différentes sous-espèces du pin noir :

Selon QUEZEL (1979) Le Pin noir est une espèce particulièrement plastique du point de vue écologique et génétique est représentée par de nombreuses races dont le statut botanique n'est pas toujours clair.

Six sous-espèces principales peuvent être distinguées (ISAJEV et al.,2003.) :

1. *Pinus nigra mauretanica* (Maire et Peyer).
2. *Pinus nigra salzmannii*, Il est parfois appelé pin des Pyrénées.
3. *Pinus nigra laricio*, il est également reconnu sous le nom de Pin noir calabrica,
4. *Pinus nigra nigra*, (le pin noir d'Autriche)
5. *Pinus nigra dalmatica*, (le pin dalmate).
6. *Pinus nigra pallasiana*., Il est parfois appelé pin de Crimée.

III. Taxonomie du pin noir :

La grande variabilité de l'espèce explique la confusion qui règne depuis longtemps dans sa systématique (Arbez et Millier, 1971).

Plusieurs auteurs ont proposé différentes classifications établies selon des critères d'ordre anatomiques, dendrologiques, morphologiques, enzymatiques, botaniques et géographiques et de nombreux auteurs travaillent encore sur cette problématique.

Tableau 01 : classification du pinus nigra selon CRONQUIST (1988)

Règne	Plantae
Sous-règne	Viridaeplantae
Division	Pinophyta
Classe	Pinopsida
Ordre	Pinales
Famille	Pinacées
Genre	<i>Pinus</i>
Espèce	<i>Pinus nigra</i>

Tableau02 : La classification de la variété Mauretunica est la suivante selon FUKARFEK (1952), in CHALABI, (1980).

Embranchement	Spermatophytes
Sous Embranchement	Gymnosperme
Classe	Coniferospedeae
Ordre	Coniferales
Famille	Pinacées
Genre	<i>Pinus</i>
Espèce	<i>Pinus Nigra Arn</i>
Sous Espèce	<i>Pinus Nigra</i> Arnold Subps Clusiana Clem Ex.Araias
Variété	<i>Pinus Nigra</i> Arnold Subps Clusiana Ex.Arias Variete Mauretunica Maire Et Peyer

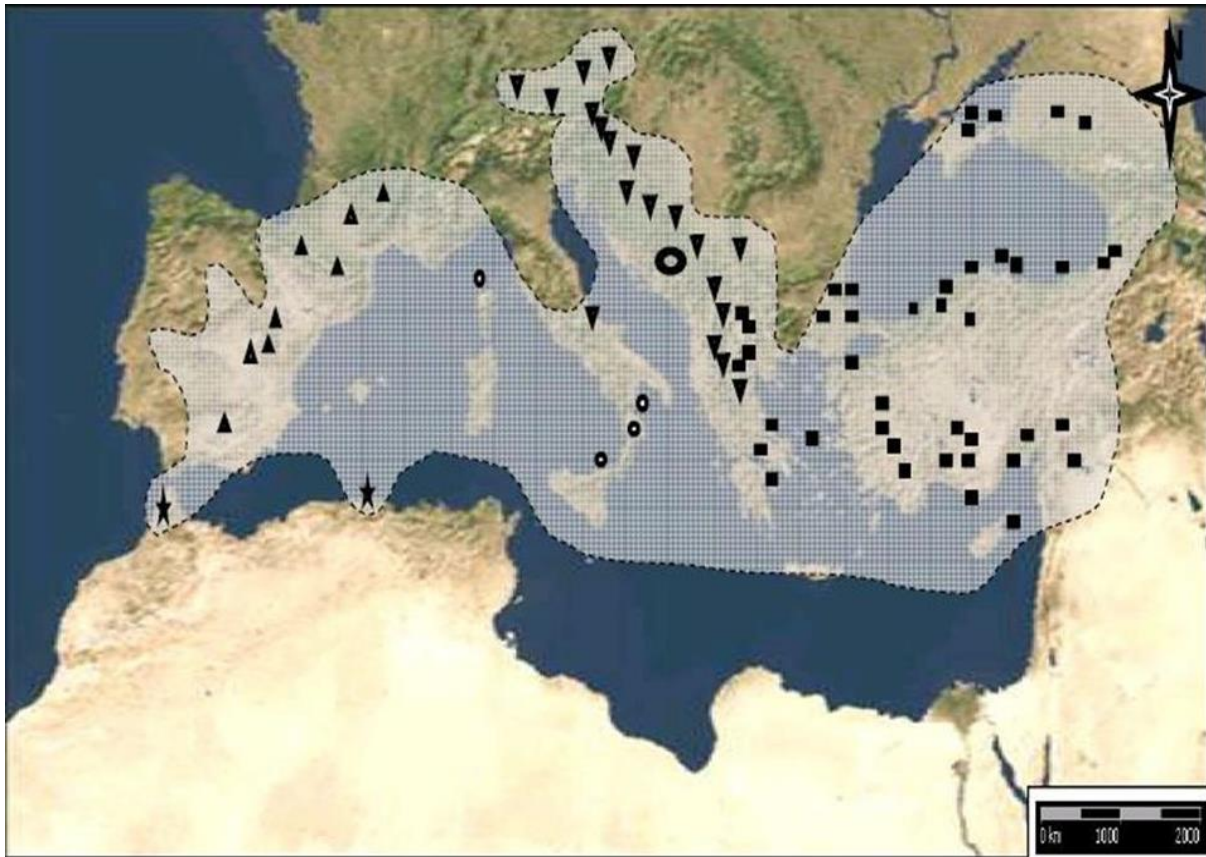
IV. La répartition du *Pinus nigra* :**1. Dans le monde :****a. Aire naturelle :**

Les forêts de pin noir, *Pinus nigra* Arnold, occupent une aire vaste et morcelée dans les montagnes du pourtour méditerranéen.

Le pin noir occupe une aire vaste de plus de 3,5 millions d'hectares autour de la Méditerranée. Il est présent sur 3 continents (Europe, Asie, y l'Afrique) et 13 pays : Espagne, France, Italie, Autriche, Ex-Yougoslavie, Albanie, Bulgarie, Roumanie, Grèce, Turquie, Crimée, Algérie et Maroc (GUIA. ;2017)

Selon DEBAZAC (1971) les peuplements naturels de cette espèce occupent des superficies variables d'un pays à un autre :

1. Turquie : 1 million ha.
2. Espagne : 400.000 ha.
3. Autriche : 80.000 ha.
4. Calabre : 50.000 ha.
5. Corse : 22.000 ha.
6. Algérie :3ha.



- | | |
|---|--|
| ▲ <i>Pinus nigra</i> subsp <i>salzmanii</i> | ▼ <i>Pinus nigra</i> subsp <i>nigra</i> subsp <i>nigra</i> |
| ■ <i>Pinus nigra</i> subsp <i>pallasiana</i> | ● <i>Pinus nigra</i> subsp <i>laricio</i> |
| ★ <i>Pinus nigra</i> subsp <i>Mauretunica</i> | ● <i>Pinus nigra</i> subsp <i>dalmatica</i> |
| ----- Limite de la zone de répartition | |

Figure 01 : Aire de répartition schématique du Pin noir et ses sous-espèces en région méditerranéenne (QUÉZEL et MÉDAIL 2003).

b. Aire artificielle :

Dans le cours du développement de la Sylviculture artificielle, *Pinus nigra* s'est révélé depuis le début du XIX siècle comme une des principales essences de reboisement en Europe. Pour améliorer les pratiques de reboisement, les sylviculteurs se sont basés sur la sélection des meilleures sources de graines tel que (les peuplements naturels d'Autriche, de Corse et de Calabre) (DEBAZAC 1971).

Le pin noir d'Autriche est largement planté en dehors de son aire de répartition naturelle, il a été utilisé intensivement pendant le 19^{ème} et au début du 20^{ème} siècle dans de grands programmes de reboisement, par exemple dans les Alpes du Sud françaises pour lutter contre l'érosion et la restauration des terrains de montagne, en effet, le nombre de plants produits en pépinière est stable, et régulièrement compris, depuis une quinzaine d'années, entre 10 et 15 millions d'unités par an. (ISAJEV.V et al, 2004), (debazak,1971 seigue,1985) cité par (ADJAOUD ,2005),

Le pin noir est l'un des premiers arbres introduits aux États-Unis, signalé pour la première fois en culture en 1759. Ce dernier a été l'un des premiers conifères dont l'adaptabilité a été testée dans les dunes du Nebraska, dans la plantation Bruner de 1891, dans le comté de Holt, et en 1909 dans la forêt nationale du Nebraska. Il a également été planté par des colons dans les Grandes Plaines au début des années 1900 pour apporter beauté et protection contre le vent et la neige dans les prairies sans arbres. (Van HAVERBEKE, 1990).

2. En Algérie :

a. Aire de répartition naturelle :

Le pin noir en Algérie se trouve sur le versant Sud du Djurdjura où il forme trois peuplements distants les uns des autres de 1,2 à 1,5km.

1. Tigounatine (1450 à 1610 m d'altitude) à exposition sud-ouest à Nord) : il y a environ 500 sujets (y compris les jeunes arbres).
2. Djebel Taouialt (1420 et 1500 m d'altitude) à exposition sud : il y avait environ 20 individus ravagés par les incendies.
3. Tikjda centre (1450 à 1550 m) à exposition sud :06 individus.

b. Aire de répartition artificielle :

Dans un objectif de sauvegarder le pin noir, le premier reboisement datant des années 1930, dont la semence provient du peuplement origine, à Tala Rana (wilaya de Bouira), mais cette plantation a été victime d'un incendie en 1979 et seule une vingtaine d'arbres ont survécu(miller1986). D'autres tentatives d'introduction dans le Parc National de Chréa dans l'Atlas Blidéen, ce peuplement a été complètement détruit par le feu, et Thala Guilef en 1984, et enfin on le trouve à l'Akfadou. (Messaoudene et, al.,2007, chambit,2016).

Depuis 2012, différentes petites populations ont vu le jour notamment dans le Parc National du Djurdjura où les plants ont atteint des hauteurs moyennes de plus de 70 cm et que certains sujets ont même atteints plus de 150 cm (Djemai, et al.,2017), il existe aussi quatre (04) beaux sujets adultes au niveau de l'auberge à Tikejda.



Figure 02 : photo du Pin noir planté en 2014 à Tala-Rana (DJEMAI et al., 2017)

V. Caractères botaniques et dendrologiques :

Tableau 03 : Caractères botaniques et dendrologiques du pin noir

	Caractéristiques	Références
Port	-Fut droit à tronc dressé -Taille moyenne 20 à 30m de hauteur	ADJAOUD2005
L'écorce	Chez les jeunes : -Elle n'est pas bien développée -De couleur grisâtre -Peu écaillée Chez les adultes : -Est bien développée -De couleur brune présente des fissures -Elle est rugueuse et son épaisseur varie de 1 à 3cm Chez les vieux : -Elle est moins rugueuse avec 4 à 5cm D'épaisseur -De couleur presque rougeâtre	ASMANI 1993
Aiguilles	-Fasciculées en deux d'un vert clair, souples, piquantes, de 9,35cm à 12,22cm de long et de 1 à 1,5cm de large -De 12 à 15 cm(corse)	ADJAOUD ET AIDROUS 1992 DEBAZAK 1977
Cône	-Petit, de couleur brun clair, de forme ovoïde, conique, 3,95 à 6,47cm de long et de 2,04 à 3,28cm de large. -il est composé d'écussons imbriqués de couleur brun rougeâtre peu luisant	ASMANI 1993
Bourgeons	-Jaune orangé -Ovoïde, allongée, égerment plus large que le rameau, résineux, est brusquement rétréci au sommet, il est pointu et possède des écailles d'une couleur brun pale	CHALABI1980
Graines	-Ailée, de longueur de 5,67mm à 7,34mm de largeur	ADJAOUD ET AIDROUS 1992
Racines	-Enracinement pivotant	ASMANI 1990



(a) (b)
Figure 03 : a) Ecorce de pin noir, b) Pin noir adulte (originelle).



(a) (b)
Figure 04 : (a) les aiguilles du pin noir, (b) un cône ouvert du pin noir (originelle).

VI. La végétation :

Pinus nigra n'a pas de groupe de végétation spécifique (DERRIDJ et, al 2013) Le peuplement clair de *Pinus nigra* Arn. Subsp. *Mauretunica* (Maire et Peyer) ne représente qu'un stade pré forestier (MEDDOUR et al 2010)., il végète dans la cédraie de Tigounatine à Tikjda (ADEL et MEDDOUR, 2015)

La végétation au niveau du peuplement du pin noir du Tigounatine se présente avec 03 strates qui sont :

- **Strate arborescente** : Est une association entre le cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica*), le pin noir (*Pinus nigra* ssp. *Mauretunica*), le chêne vert (*Quercus ilex*), l'If (*Taxus baccata*) et quelque sujet de grand houx (*Ilex aquifolium*)

- **Strate arbustive** : *Juniperus oxycedrus* (Genévrier Oxycèdre), *Berberis hispanica*, *Crataegus laciniata* (Aubépine orientale), *Lonicera kabylica*, *Prunus prostrata*

Amelanchier ovalis (Amélanchier à feuilles ovales)

- **Strate herbacée** :

Ampelodesmos mauritanicus (Diss), *Ruscus aculeatus* (le petit Houx), *Erinacea anthyllis* (Genêt bleu), *Agropyron panormitanum*

VII. Exigences écologiques :

1. **Altitude** : Le pin noir en général est qualifié d'espèce montagnarde (QUEZEL,1980), cependant certaines variétés sont localisées à basse altitude comme le pin de salzman (DEBAZAC,1963) et celui d'Autriche entre 250 et 800m (DEBAZAK ,1971)

Tableau04 : les différentes altitudes des sous espèces du pin noir (CLARA.2016 et HEDJAM,2019).

Sous espèce	Altitude	Superficie
<i>Pinus nigra salzmannii</i>	1660m à 2000m(Espagne) 400m à 950m(Cévennes)	400.000 ha –
<i>Pinus nigra nigra</i>	350 m à 1500m (Apennins italiens jusqu'au Nord de la Grèce passant par les Balkans)	Couvrant plus de 800 000 ha
<i>Pinus nigra dalmatica</i>	350 m à 1500m (la cote Croatie)	Très peu représentée
<i>Sous espèce pallasiana</i>	1000m à 2000m (Taurus) 1400m à 1800m(Chypre)	1 millions ha 1,5 millions ha
<i>Pinus nigra laricio</i>	1100m à 1400m (Calabre) 900m à 1500m (région de Sicile)	22 000 ha
<i>Pinus nigra mauretunica</i>	1400m à 1600m(Djurdjura)	3ha

2. Le climat :

Les changements climatiques pourront être extrêmement importants pour comprendre les exigences environnementales des espèces. Les exigences du pin noir varient en fonction des sous-espèces.

Il existe des races de *Pinus nigra* adaptées aux :

- **Climat méditerranéen** : Cévennes françaises, côte Dalmate, ex Yougoslavie.
- **Climat continentale basse altitude** : basse Autriche.
- **Climat méditerranéen montagnard** : la plupart des races.

(BERNARD,1984)

En méditerranée occidentale en Algérie et au Maroc, le pin noir est localisé en bioclimat humide à variante fraîche et froide (QUEZEL,1980)

a. Précipitations :

Le pin noir pousse sous des régimes pluviométriques variant de 600 à 1100 mm/an avec 400 à 550 mm de précipitations pendant la période estivale.

Le massif du Djurdjura reçoit 800 à 1500 mm de pluie. La totalité du volume étant reçu entre Décembre et Avril (HEDJAM 2019)

b. Températures :

Le Pin noir fait preuve d'une plus grande plasticité écologique en Méditerranée orientale que dans la partie occidentale. Il supporte ainsi des températures minimales allant jusqu'à -8°C , alors qu'en méditerranée occidentale il disparaît pour des valeurs minimales de l'ordre de -5°C . (QUEZEL 1980)

3. Facteurs édaphiques :

On peut trouver le pin noir selon BERNARD (1984) :

- **Sur des substrats acides** : issus de la décomposition de roches éruptives, cristallins ou métamorphiques, par exemples en Corse, en Calabre, dans les Cévennes ou les Pyrénées françaises.
- **Sur substrat calcaire** : en Espagne, à saint Guilhem le désert (Hérault)
- **Sur substrat magnésiens** : sédimentaires comme les dolomies et calcaires dolomitique alpins, métamorphiques comme les serpentines et gabros des Balkans.

Dans le Djurdjura, comme dans le rif, la sous espèce *mauretanica* se développe sur des sols calcaires dolomitiques (BELIN et al.,1947 ; M'HIRT, 1982 et BENABID,1984) cité in (ADJAOUD 2005).

VIII. Maladies et Menaces :

1. Les insectes :

Le pin noir se révèle très sensible à toutes sortes de ravageurs, ce qui est le signe d'une mauvaise adaptation écologique (BOUCHON & Toth, 1971) cité in J. Timbal, M. Turrel, M. Ducrey 1985)

Tableau 05 : Ravageurs principaux du pin noir d'Autriche.

(HEDJAM et al 2017), (Fichier écologique des essences 2017)

Insecte	Site D'attaque	Conséquences
<i>Eulachnus Tuberculostemmatus</i>	Les Aiguilles	Décoloration Et dépérissement Des Aiguilles
Processionnaire Du Pin <i>Thaumetopoea Pityocampales</i>	Les Aiguilles	Des attaques répétées peuvent favoriser des dépérissements, poils urticants.
<i>Sténographe Ips Sexdentatus</i>	L'Ecorce, le Tronc	Coloration bleue du bois attaqué.
<i>Hylobe Hylobius Abietis</i>	L'Ecorce, le Collet.	Mort des jeunes plants.
<i>Chalcographe Pityogenes Chalcographus</i>	L'Ecorce, le Tronc Et les Branches	Mort, Perte de régénération.
Scolyte Liseré <i>trypodendron lineatum</i>	Le Tronc	Dévalorisation du bois
Hylésine Du Pin <i>tomicus piniperda</i>	A) le Tronc Et les Grosses les Branches, OÙ B) Pousses Terminales.	A) Coloration bleue du bois attaque B) Dégarnissage des houppiers

Tableau 06 : Ravageurs du pin noir de Djurdjura recensés dans la station Tigounatine.
(Bedrane, et Bousafeur,2023)

Espèces	Constance %	Catégorie
<i>Geotrupes sp</i>	50	Rg
<i>Pleurophorus sp</i>	50	Rg
<i>Harpalus</i>	50	Rg
<i>Anthaxia sp</i>	50	Rg
<i>Macrothorax morbillosus</i>	50	Rg
<i>Ocypus olens</i>	100	C
<i>Hister sp</i>	100	C
<i>Polistes gallicus</i>	50	Rg
<i>Monomorium sp</i>	100	C
<i>Tapinoma simrothi</i>	100	C
<i>Messor structor</i>	50	Rg
<i>Tenthredopsis sordida</i>	50	Rg
<i>Bombus sp</i>	50	Rg
<i>Apis mellifera</i>	50	Rg
<i>Syrphoide</i>	50	Rg
<i>Musca domestica</i>	100	C
<i>Melanargia galathea</i>	50	Rg
<i>Bombyx sp</i>	50	Rg
<i>Gryllus sp</i>	50	Rg
<i>Ectobius sp</i>	100	C
<i>Anisolabis maritima</i>	50	Rg

Rg : Espèce régulière

C : Espèce constante

2. Les incendies :

La survenue des incendies constitue l'un des facteurs les plus dangereux pour les espèces végétales ainsi que pour les espèces animales. Le feu exerce une action traumatisante sur les végétaux et bloque leur système physiologique (PESSON, 1980), cité par (BEGRICHE et OUYED, 2020).

En Algérie 1637 feux par an en moyenne ayant parcouru une superficie de 35 025 ha durant la période 1985-2010. les années catastrophiques sont : 1993, 1994, 2000, 2007 (MEDDOUR SAHAR, 2016).

En moins d'un siècle, depuis sa découverte, on peut citer l'incendie de l'an 2000 qui a brûlé quatre sujets du pin noir à Tikjda, qui peuvent être considéré comme des arbres producteurs de graines en raison de leur vigueur, ce qui représente une perte considérable (ADJAOUD, 2005).

En plus des incendies, L'action anthropique sur les milieux naturels se traduit par une destruction des écosystèmes naturels et semi-naturels présents sur le territoire du PND et de sa périphérie. Notamment : le défrichement, le surpâturage.

IX. Cycle de reproduction :

Le processus de reproduction des essences forestières débute avec l'apparition des bourgeons à l'état reproducteur. Après une phase juvénile s'étendant de 1 à 40 ans (Kozlowski, 1971, cité dans Owens et Blake, 1986, mentionné par ADJAOUD ET AIDROUS, 1992),

Le cycle de reproduction du pin noir du Djurdjura, un conifère monoïque, s'étale sur une période de 02 ans et deux mois. (ASMANI, 2003)

Année N : les inflorescences femelles apparaissent vers la mi-mai, après leur pollinisation en juin ces dernières ferment leurs bractées puis commencent une lignification se transformant ainsi en cône de couleur brun clair qui entrent en dormance.

Année N+1 : après une dormance qui dure jusqu'à la mi-mars, le cône reprend sa croissance active jusqu'en Été où il atteint sa taille définitive et se lignifie puis entre en dormance, durant cette période a lieu la maturité physiologique des graines.

Année N+2 : La déhiscence à lieu au début d'avril, elle commence par le dessèchement des cônes qui libèrent par la suite leurs graines.

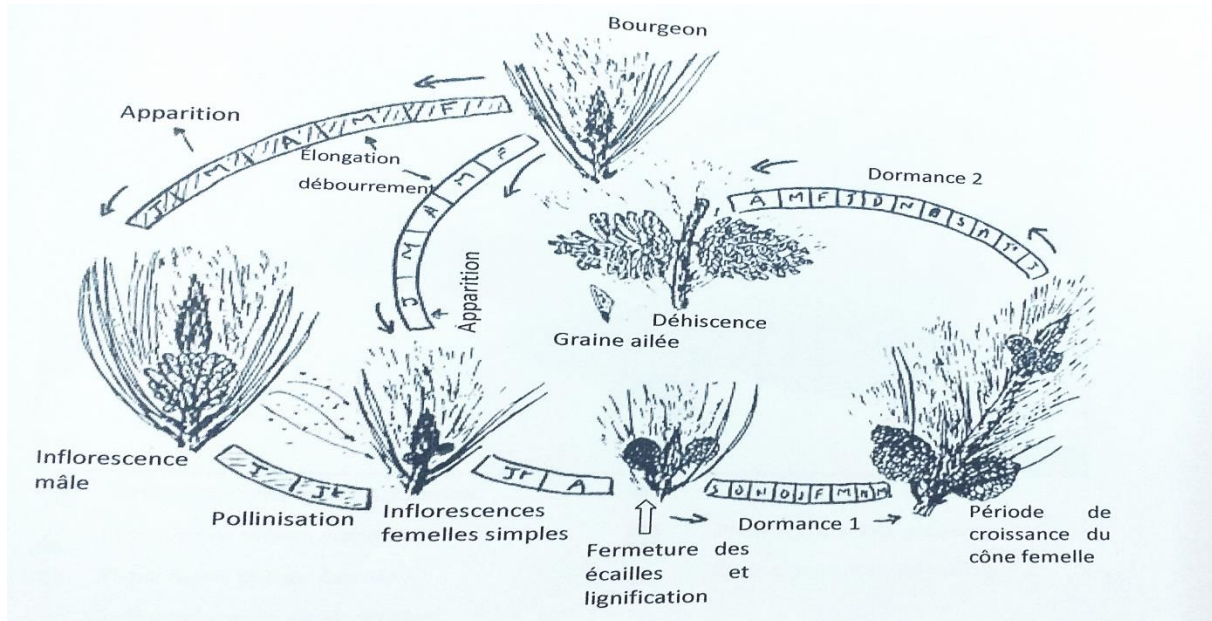


Figure 05 : Cycle de reproduction chez le pin noir du Djurdjura (ASMANI ,2003)

X. Importance de l'espèce :

Pinus nigra est l'un des conifères indigènes les plus importants d'un point de vue économique en Europe centrale et méridionale.

Côte paysagère, le pin noir constitue de très beaux peuplements, on l'utilise dans les plantations urbaines. Le pin autrichien est principalement planté comme brise-vent, arbre de rue, et comme arbre ornementale .il possède une grande valeur en tant qu'arbre de rue en raison de sa résistance au brouillard salin, il est utilisé dans le dégivrage des routes et les polluants industriels et sa tolérance intermédiaire à la sécheresse .il est résistant aux dommages causés par la neige et la gelée. (HAVERBEKE 1990, cité in RAZIKA ABBASEN 2023)

Les caractéristiques forestières du pin noir comprennent un bois durable, riche en résine et facile à transformer, les utilisations sylvicoles de ce pin sont surtout orientées pour la production de bois d'œuvre très apprécié dans des domaines tels que l'ébénisterie, la construction, le sciage, les poteaux, les charpentes, la pâte à papier, et l'extraction de la résine (HAVERBEKE, 1990).

Chapitre II :
**Généralités sur la lumière et les méthodes de
mesures**

I. Généralités sur la lumière dans un peuplement forestier :

La lumière a un rôle biologique fondamental. Elle a probablement été un facteur essentiel de la formation et du développement de la vie sur terre tant par le maintien d'une température ambiante favorable que par la réaction photochimique qui permet notamment la photosynthèse (BLADIER et al. 2010)

La lumière est l'un des principaux facteurs environnementaux contrôlant les processus écologiques et biologiques dans les forêts, par exemple, la lumière contrôle le succès de la germination des graines ainsi que l'établissement et la croissance des semis d'arbres dans le sous-étage (BLANDIER et al. (2015). La lumière est parmi les principes qui, traditionnellement, guide les forestières dans la conduite des coupes de régénération (Roussel ,1962).

La lumière favorise également le développement de la végétation du sol, dont la composition varie selon les conditions du site en plus de la lumière. BLANDIER et al. (2015).

La modification de la disponibilité lumineuse en sous-étage, par exemple lors d'éclaircies, interfère ainsi avec la régénération des arbres, le couvert et la composition de la flore. BLANDIER et al. (2015).

En forêt la lumière traverse une structure complexe constituée d'éléments variés (feuilles, Branches, troncs) ayant des propriétés optiques spécifiques, qui à leur tour la réfléchissent, l'absorbent ou la transmettent, sa quantité et sa qualité sont fortement modifiées au fur, et à mesure de sa traversée de la canopée. (BLANDIER, 2010).

Les modèles de lumière simulent la distribution de l'éclairement sous couvert, en prenant en compte explicitement l'interception du rayonnement incident par le peuplement forestier en particulier, ils permettent d'analyser de l'influence de la structure du peuplement hétérogène nécessite une caractérisation détaillée des arbres et de la géométrie de leur houppier. (Alexandre, 2015).

La lumière provient soit du ciel seul, soit du ciel et du soleil. La plupart du temps, on ne pense qu'au soleil. C'est lui qui est évidemment à l'origine de toute la lumière qui baigne notre monde, mais, à l'échelle terrestre, nous pouvons ne recevoir qu'une partie seulement de cette lumière diffusée par les nuages (ROSSEL, 1953).

En outre, quand le soleil est apparent, on sait bien que sa lumière dirigée provoque alors en forêt des ombres portées, des taches sombres et lumineuses, mais, en plus le ciel tout entier prodigue une lumière diffuse qui vient s'ajouter à la lumière solaire directe. (ROSSEL, 1953)

Des études longues et précises ont été faites par le scientifique américain Kimall, (Rossel, 1953) et nous donne la manière dont peut être distribué, la lumière solaire directe et la lumière diffuse ciel ou des nuages dans le cadre de la lumière globale recueillie au sol en plein découvert.

<i>Ciel sans nuage</i>	Soleil : 74 % — ciel : 26 % — moyenne global 65500 lux
<i>Ciel nuageux</i>	Soleil : 52 % — ciel : 48% — moyenne globale 65300 lux
<i>Ciel couvert</i>	Soleil : 0% — ciel : 100% — moyenne globale 21500 lux

Tableau 07 : Tableau de kimall. (Rossel,1953)

II. Généralités sur les méthodes de mesure de la lumière dans un peuplement forestier :

1. Historique sur les méthodes de mesure de la lumière :

Le climat lumineux est une des variables écologiques les plus importantes, mais aussi l'une des plus difficiles à mesurer en forêt (Becker, 1971).

Le processus de mesure de la lumière a traversé plusieurs étapes au fil des années. Il existe des méthodes anciennes telles que la méthode de Beer-Lambert qui a été inventé en 2000 qui consiste à décrire la diminution exponentielle d'un rayonnement lors de sa traversée d'un milieu trouble par analogie. (BLANDIER, 2010). Cette méthode est restée utilisé jusqu'à 2005. En 2010 ils sont adapté une autre manière de mesure qu'est la méthode de photographe hémisphérique (hemispherical photography ,fisheye/canopy photography) est une technique permettant de caractériser la structure de la canopée en prenant des photographies vers le haut à l'aide d'un objectif à très large champ de vision (Becker, 2020) . Les photographies

hémisphériques sont obtenues à l'aide d'un appareil muni d'un objectif super grand angle (jusqu'à 180°), dit « fish-eye » (Becker 1971).

Au cours des dernières années, les chercheurs ont tenté de trouver des moyens de contourner cet obstacle matériel. Les gens ont essayé d'éviter le dispositif de mise à niveau, en utilisant des lentilles hémisphériques à clipper pour les smartphones ou en utilisant des images de smartphone non hémisphérique. Malheureusement aucune de ces méthodes ne produit réellement des images comparables aux images des reflex numériques, pour trois raisons (ARIETTA, 2020) :

- Les captures des smartphones sont minuscules par rapport à ceux des reflex numériques ce qui entraîne une énorme réduction de la qualité.
- Les objectifs de smartphone à clipper sont minuscules par rapport aux reflex numériques, donc encore une fois, la quantité optique est considérablement réduite.
- Les estimations du couvert forestier sont sensibles aux paramètres d'exposition.

2. Les différentes méthodes de mesures :

a. La méthode de Beer-Lambert :

On peut appliquer cette loi aux canopées végétales on considère alors les houppiers comme remplis uniformément et aléatoirement de petites particules de feuilles ayant une densité D . Soit un rayon incident I_0 parvenant à la surface d'un houppier. Sa probabilité d'interception par le houppier est fonction de la longueur L du trajet dans le houppier et de sa densité foliaire D . I est le rayon finalement transmis par le houppier (BLANDIER, 2010).

La relation de Beer-Lambert s'écrit alors : $I = I_0 \cdot \exp(-K \cdot L \cdot D)$

I : Le flux de rayonnement transmis.

I_0 : Le flux de rayonnement incident.

K : Le coefficient d'extinction.

D : Densité de petites particules de feuilles.

Le spectre solaire correspond à la répartition des ondes du rayonnement électromagnétique du soleil. Le rayonnement solaire est modifié quantitativement et qualitativement lors de son passage dans l'atmosphère cette dernière l'absorbe et le disperse sélectivement, changeant le flux et le spectre atteignant la terre. Le rayonnement solaire

parvenant au sol est appelé rayonnement globale. Il est constitué de deux types de rayonnement :

Rayonnement direct : qui parvient directement du disque solaire après la traversée de l'atmosphère.

Le rayonnement diffus : qui provient de la diffusion dans l'atmosphère d'une partie du rayonnement solaire, il parvient de l'ensemble de la voûte céleste (BLANDIER, 2010).

La qualité du rayonnement globale incident résulte de l'importance relative de ces deux composantes et dépend donc de l'altitude du lieu et des conditions atmosphérique (BLANDIER, 2010).

Le spectre solaire s'étale 300 et 3000nanomètre (nm). La lumière est l'ensemble des rayonnements électromagnétiques visible par l'œil humain, dont les longueurs d'onde sont comprises entre 380 et 780 (nm) (BLANDIER, 2010).

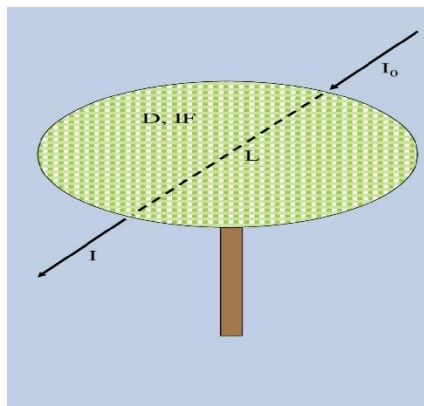


figure 06: Représente le concept de la méthode de Beer-Lambert.

b. La méthode de photographie hémisphérique :

C'est une méthode qui consiste à utiliser un objectif « Fiche eye » ayant un angle d'ouverture de 180°, ce qui permet d'avoir l'ensemble de la voûte céleste sur la photographie (GAUDIO, 2011).

c. Méthode de mesure et de traitement d'image :

La photographie est réalisée au-dessus du point de mesure au levé ou coucher du soleil, ou encore par temps gris uniforme (ce qui est extrêmement rare en été), pour éviter que le soleil ne soit sur l'image. Elle est ensuite transformée en noir et blanc grâce à un logiciel de seuillage. Cette étape correspond à une attribution des pixels à la végétation (noir) ou au ciel (blanc).

Enfin, le pourcentage de lumière arrivant au point de mesure est calculé par un logiciel en compte le jour ou la période sur lesquels le pourcentage de lumière doit être estimé et pour lesquels il est possible de préciser le rapport entre les rayonnement diffus et globale (D/G) donné par le capteur BF3 placé en terrain découvert sur l'ensemble de la saison de végétation ainsi que les coordonnées géologiques du point de prise de vue (GAUDIO, 2011).

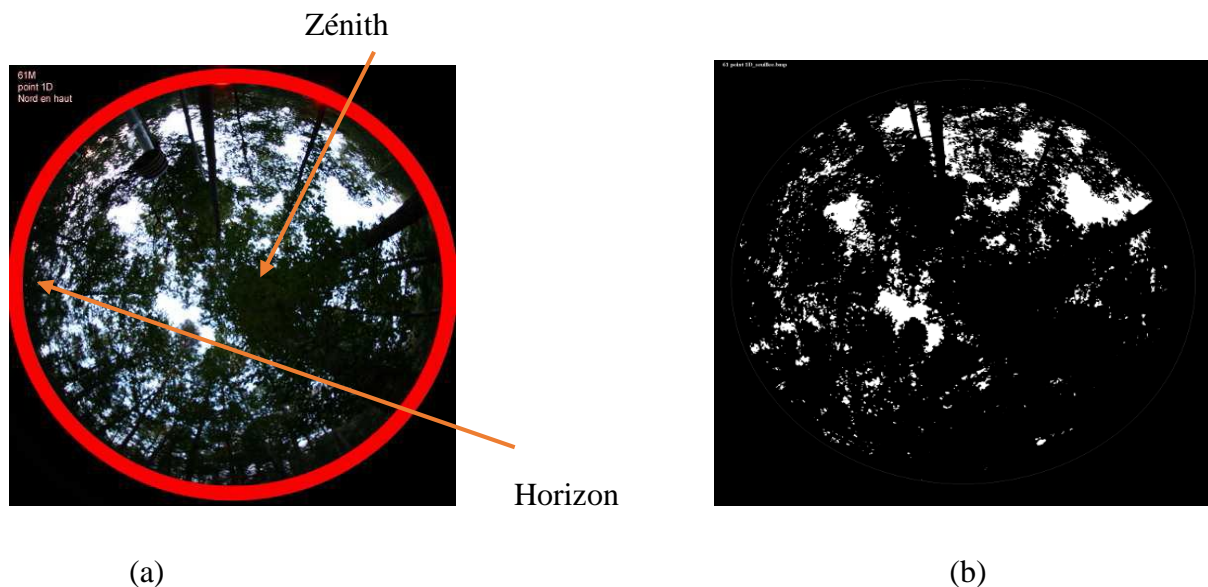
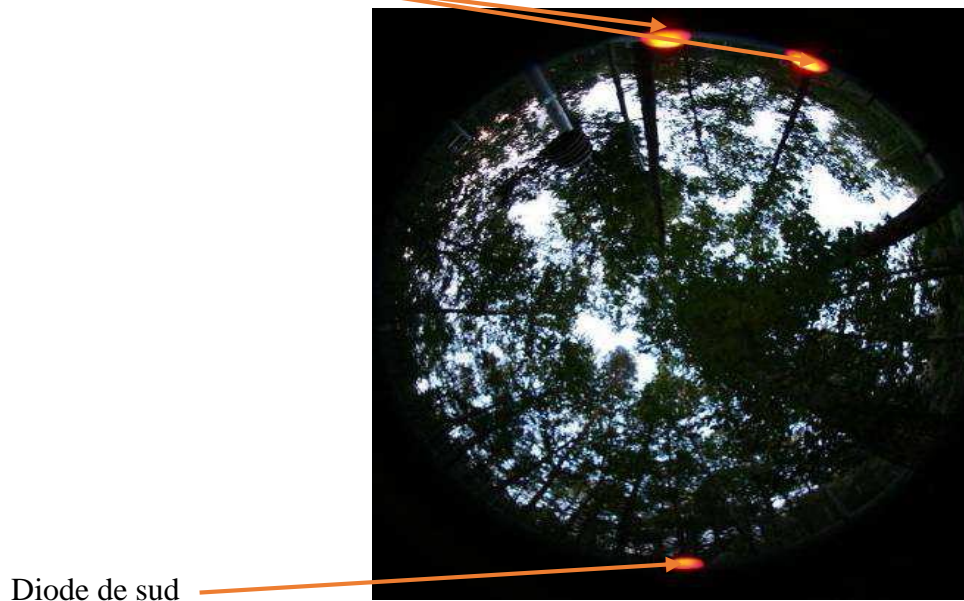


Figure 07 : Exemple d'une photographie hémisphérique (a) et (b) c'est seuillage d'une photographie hémisphérique ((GAUDIO, 2011).

Il est important de bien identifier l'orientation de la photographie hémisphérique. Ceci peut se faire notamment grâce à des diodes (ici, le couple de diodes, symbolise le nord et la diode seule le sud) (GAUDIO, 2011).

Les deux diodes de nord



Diode de sud

Figure 08 : représente lors de la prise de vue (GAUDIO, 2011)

d. La méthode d'Arietta :

C'est une méthode où en utilisant plusieurs images individuelles de téléphone portable pour assembler une seule image hémisphérique. Ainsi, au lieu de compter sur un seul petit capteur de téléphone portable, nous utilisons effectivement de nombreux petits capteurs de téléphone portable pour combler la différence (ARIETTA ,2020).

Un autre avantage de création d'une image hémisphérique à partir de plusieurs images est que chaque image individuelle ne doit être exposée que pour une partie du ciel variable qui afflige les systèmes traditionnels. Un avantage supplémentaire est que les appareils photo des smartphones fonctionnent d'une manière complètement différente de ceux des reflex numériques, ils sont donc beaucoup moins sensibles aux problèmes d'exposition en général (ARIETTA ,2020).

Les smartphones sont moins sensibles aux problèmes d'exposition car, contrairement aux reflex numérique qui capteur, les appareils photo des smartphones utilisent des techniques de photographie informatique qui mélangent les meilleures parties de nombreuses image prise successivement (ARIETTA ,2020).

Il existe déjà des logiciels capables de le faire pour nous via la fonction de panorama sphérique incluse avec la plupart des appareils photo des smartphones contemporains. Cette

fonctionnalité a été introduite dans l'application Google Camera en 2012 et les utilisations iOS peuvent accéder à la fonctionnalité via l'application Google StreetView (ARIETTA ,2020).

Une fois le panorama sphérique est pris, il est stocké dans un téléphone sous forme de JPEG 2D au format équirectangulaire. Le logiciel photosphère il utilise le gyroscope et les capacités de cartographie spatiale du téléphone pour niveler automatiquement l'horizon. Ceci est avantageux pour deux raisons. Premièrement, cela signifie que nous pouvons abandonner les fastidieux dispositifs de nivellement. Deuxièmement, l'image équirectangulaire peut être parfaitement divisée entre les hémisphères supérieur et inférieur. Nous devons simplement recarder la moitié supérieure de l'image rectangulaire et la transformer aux coordonnées polaires pour obtenir une image hémisphérique circulaire (ARIETTA ,2020).

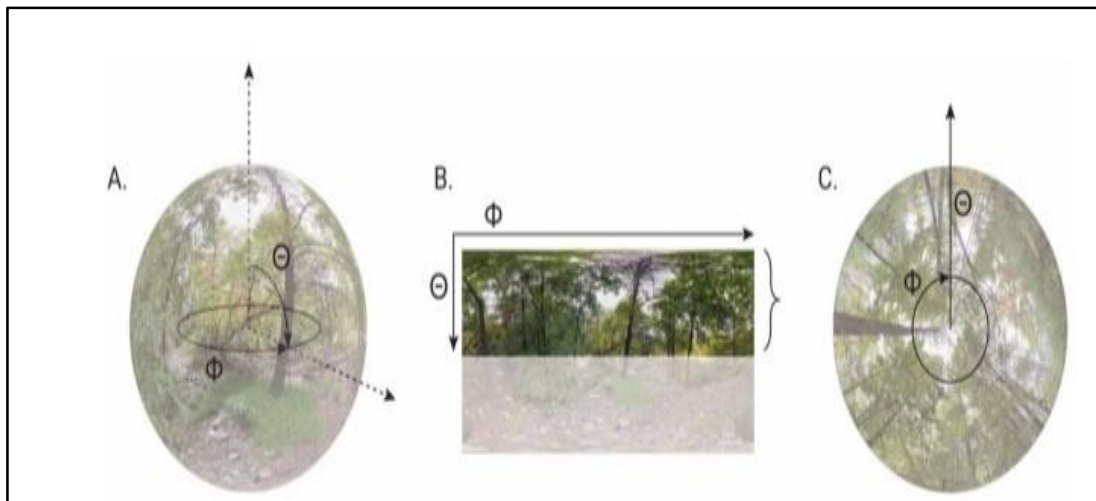


Figure 09 : Représente la méthode de photographie développée par ARIETTA (ARIETTA, 2020).

les panoramas sphériques (A) sont stockés et sortis du smartphone car les image 2D avec des panoramas sphériques sont automatiquement nivelées à l'aide du gyroscope du téléphone ,la moitié supérieure de l'image équirectangulaire correspond à l'hémisphère supérieure de l'image équirectangulaire B peut alors être transformer sur le plan de coordonnées polaire pour crée une photo hémisphérique circulaire C : dans toutes les images le zénith et l'azimut sont indiqués par et respectivement (ARIETTA, 2020).

Chapitre III : Matériel et méthodes

I. Caractéristique de la zone d'étude :

La présente étude a été réalisée dans le PND, situé au nord de l'Algérie, dans la région de la Grande Kabylie à 140 km au sud-est d'Alger et à 50 km de la mer Méditerranée. Le territoire de ce parc est aménagé selon un tronc d'arc, orienté d'Est en Ouest sur 50 km de long et sur 03 à 10 km de large. Il est considéré comme un bassin de biodiversité. D'une superficie de 18 550 ha, il occupe à la fois une partie importante des deux wilayas, en l'occurrence Tizi Ouzou avec 10 000 ha et Bouira avec une extension de 8 000 ha. Officiellement, il a été désigné parc national par le décret présidentiel n ° 83-460 du 23 juillet 1983 et érigé en réserve de biosphère et patrimoine naturel par l'UNESCO en 1997 (Chaker et al.,2021).

1. Délimitation géographique :

La zone d'étude se localise dans la forêt de Tigounatine classé réserve intégrale où le pin noir est présent sur une superficie d'environ (03) hectares à une altitude variant de (1450-1610 m).

Le peuplement est exposé au Nord, Nord-ouest, Nord-est et Ouest, sur le versant Sud du massif central du djurdjura.il se trouve en association avec le Cèdre de l'Atlas et le chêne vert, et avec une moindre importance de l'If et le houx.

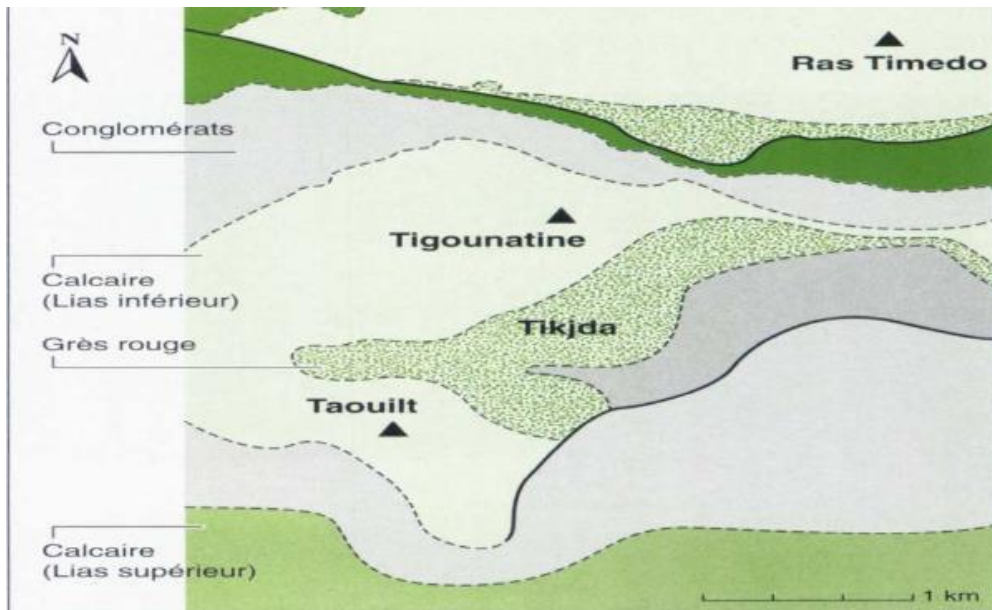


Figure 10 : Carte géologique de la zone de Djurdjura (PND), Algérie (Flandrin, 1952 in Larabi,2015)

Tableau 08 : Localisation et caractéristiques principales de station d'étude.

Stations	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Exposition	Peuplement	Nombre total De sujets
Tigounatine	36° 27' N	4° 06' E	1450 - 1610	Nord-Ouest	Naturel	500

2. Pédologie :

Les sols dans la zone de Tigounatine appartiennent à la classe des calcimagnésique. Ce sont des rendzines autochtones riches en éléments grossiers. Les profils sont de types(A/C) et humifères sur toutes leurs épaisseurs. La teneur en matière organique peut s'expliquer par la nature de la roche mère génératrice de calcaire actif qui immobilise les composés organiques ainsi que la nature de la litière. (Benmouffok,1995 cités par MIDOUNE et SLIMANI ,2009)

3. Conditions climatiques :

Nous avons utilisé l'étude de HEDJAM (2019) qui a aussi travaillé dans la réserve du pin noir pour décrire notre zone d'étude d'un point de vue climatique.

a. Les précipitations :

La pluviométrie est le premier facteur qui agit directement sur la végétation, elle est considérée comme étant la première composante du climat (Djebaili, 1978, cité par LKADIR 2018).

Tableau 09 : précipitations moyennes de la station d'étude (1996-2016)

Stations	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Tigounatie Et Tikjda Centre	169,3	146,2	121,2	125,5	103,0	34,8	7,3	25,8	77,4	93,1	148,1	165,9

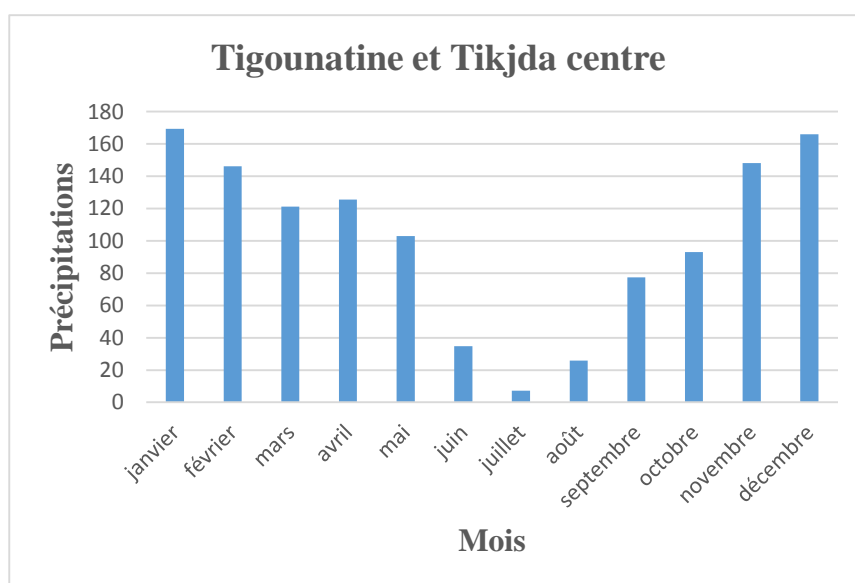


Figure 11 : précipitations moyennes mensuelle (période : 1996 à 2016) : Tigounatine et Tikjda centre

b. Les températures :

La température est un facteur climatique le plus important après la pluie, elle conditionne la répartition et la reproduction des espèces végétales dans la biosphère.

Les valeurs des températures mensuelles enregistrées au niveau de la station d'étude pendant les 21 ans (1996 à 2016) sont représentés dans la figure (12). Le mois le plus froid à Tigounatine et Tikjda centre est janvier avec une température moyenne de 3,4°C. Le mois d'août et juillet ont été les plus chauds avec une température moyenne respective de 22,3°C et 22,2°C.

Tableau 10 : Températures moyennes de la station d'étude (1996-2016)

Stations	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Tigounatine et Tikjda centre	3,4	3,5	6,4	9,1	13,3	18,4	22,2	22,3	18,0	13,9	7,9	4,3

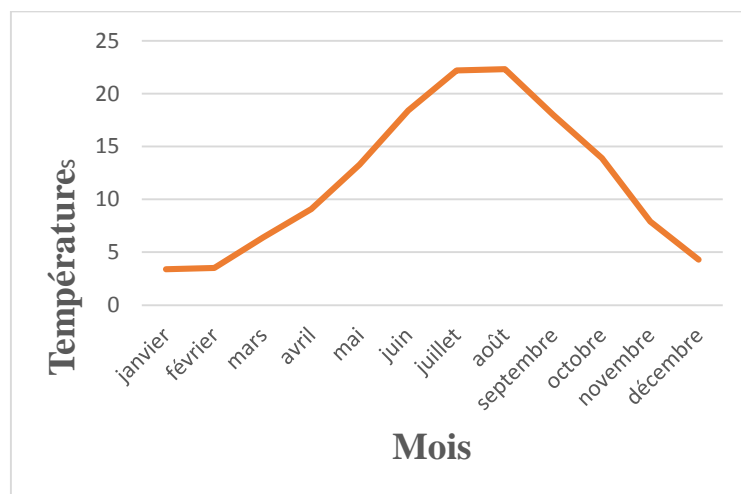


Figure 12 : Températures moyennes mensuelles (période : 1996 à 2016), Tigounatine et Tikjda centre.

I. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN :

Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953), permet de déterminer les périodes sèches et humides d'une période donnée. Selon ces derniers, le climat

est considéré comme sec, si les précipitations (mm) sont inférieures ou égales au double de la température moyenne en degré Celsius ($P \leq 2T$).

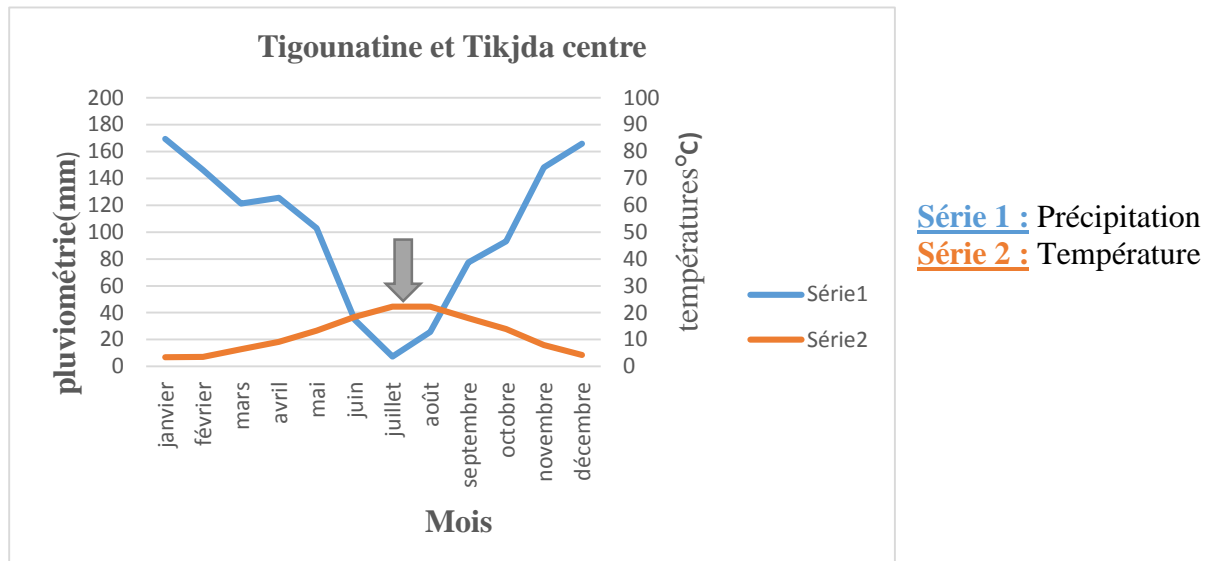


Figure13 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gausson de la station d'étude Pendant la période 1996 à 2016. Tigounatine et Tikjda Centre.

D'après le diagramme ombrothermique de la station d'étude figure (13), la période sèche est d'environ 03 mois, elle s'étale du début du mois de Juin à la fin du mois d'Août ; quant à la saison humide, elle est plus longue et s'étend sur le reste de l'année.

II. Quotient pluviométrique :

Le quotient pluviométrique, 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 pluviométrique d'Emberger (Q2) s'exprime comme suit :

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

La formule utilisée pour le calcul du quotient pluviométrique de la stations d'étude est celle, de Stewart (1969) qui est une simplification de la formule d'Emberger (1952). Elle correspond à :

$$Q3 = K (P / M-m) \text{ où } K = 3,43$$

Tableau 11 : Le quotient pluviométrique d'Emberger (HEDJAM ,2019)

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

III. Climagramme d'Emberger :

D'après les résultats de quotient pluviométrique et après sa projection sur le climagramme D'Emberger Figure (14), la station Tigounatine est située dans l'étage bioclimatique humide à variante froide

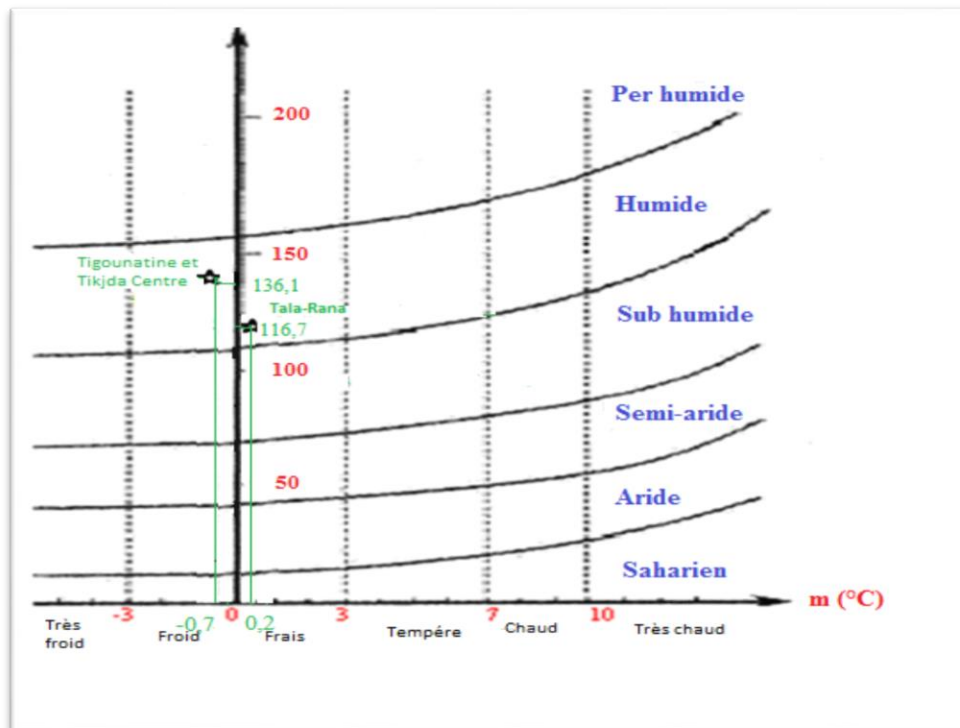


Figure14 : Situation de la station d'étude dans le climagramme d'Emberger (HEDJAM 2019)

IV. Méthodologie :

Notre travail a pour but d'essayer de mesurer la quantité de lumière qui arrive au sol au niveau de peuplement de Tigounatine, afin de voir l'influence de ce dernier sur la germination des graines et le maintien des plantules de pin noir, pour ce faire, nous avons utilisé des placeaux de 2m² installé sous des bouquets de pin noir d'arbres adultes producteurs de graines par les agents du Parc national, qui est très soucieuse de ce problème de mauvaise régénération naturelle de cette espèce rare.

La méthode de travail est basée sur des avantages de la technologie des smartphones et des photos panoramiques prises à partir de l'application "360° Photo Sphère" installée à partir de "Play store" ; et des nombreuses manipulations offertes par le langage de programmation R. Dans le but de les traiter et la mesure du taux de lumière qui arrive au sol.

1. Utilisation de l'application de 360° Photo Sphère :

Etape 1 : L'installation de l'application sur notre smartphone après qu'on a assuré qu'il dispose de Gyroscope pour suivre son mouvement pendant la capture de la photo-sphère.

Etape 2 : Une fois l'application est installée, on a pris 5 photos panoramiques (chacune se compose de 36/36 images) figures :(20 ,21,22 ,23 ,24,25) sur 19 placeaux de 2m².

Photo01 : Placeaux : 15, 19, 14,18

Photo02 : Placeaux : 16,17

Photo03 : Placeaux :10, 11, 12,13

Photos04 : Placeaux :7, 8,9

Photo05 : Placeaux :1, 2, 3, 4, 5,6

Etape03 : L'application va ensuite recoller les 36 images pour en faire une photo panoramique. Lorsque le collage des images est terminé, l'image reconstituée est téléchargée et va être traitée par le biais de logiciel R.

V. Les images panoramiques avant le traitement sous R :



Figure15 : photo panoramique (1). (Originelle)



Figure 16 : photo panoramique (2) (originelle)



Figure 17 : photo panoramique (3) (originelle)



Figure 18 : photo panoramique (4) (originelle)

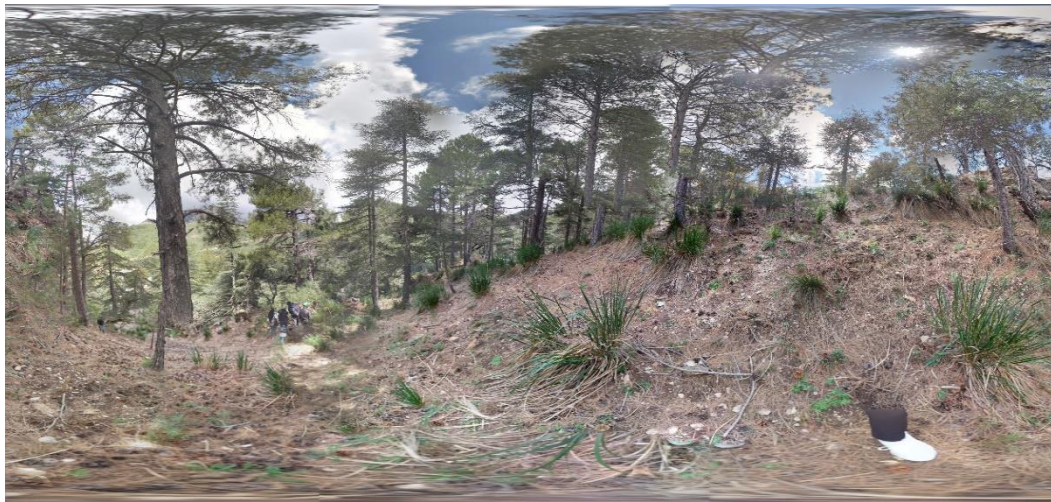


Figure 19 : photo panoramique (5) (originelle)



Figure 20 : Exemple d'un placeaux (originelle)

VI. Traitement des photos sur R :

R est un langage puissant utilisé à diverses fins telles que le traitement des images à partir de plusieurs packages (Exifr, hemespheR, Magick et Imager), chacun fournit un ensemble de fonctions qui permet de faire ce traitement.

VII. Le rôle de chaque fonction dans chaque package :

1. Package « Exifr » :

Lit les données, et renvoie les résultats sous la forme d'un cadre de données. ExifTool est une bibliothèque Perl indépendante de la plate-forme et une application en ligne de commande pour lire, écrire et modifier les méta-informations dans une grande variété de documents (Dunnington et Harvey, 2021).

Parmi les fonctions de package « Exifr » on a :

a. Read_Exif :

Lit les données « EXIF » dans un data. Frame en appelant l'application en ligne de commande « ExifTool ». En fonction du nombre d'images et de la longueur de la ligne de commande.

2. Package « Imager » :

Traitement rapide d'images jusqu'à 4 dimensions (deux dimensions spatiales, une dimension temps/profondeur, une dimension couleur. Spatiales, une dimension temporelle/de profondeur). Fournit la plupart des outils traditionnels de traitement d'images (filtrage, morphologie, transformations, etc.) (Barthelme et al., 2024)

Parmi les fonctions de package Imager on a :

a. Resize_Image :

Si les arguments de dimension sont négatifs, ils sont interprétés comme une proportion de l'image originale.

b. Image_rotate :

Faites pivoter l'image d'un angle arbitraire, autour d'un point central.

3. Package « magick » :

Elle prend en charge de nombreux formats courants (png, jpeg, Tiff, PDF, etc.) et les manipulations (rotation, mise à l'échelle, recadrage, découpage, retournement, flou, etc.) Toutes les opérations sont vectorisées via le STL Magick++, ce qui signifie qu'elles fonctionnent soit sur une seule image ou une série d'images pour travailler avec des calques, des collages, ou l'animation. Dans RStudio, les images sont automatiquement prés visualisés lorsqu'elles sont

imprimées sur la console. A la console, ce qui crée un environnement d'édition interactif. La dernière version du logiciel inclut un périphérique graphique natif pour créer des graphiques en mémoire ou de dessiner sur des images en utilisant les coordonnées des pixels. (Ooms ,2024)

Parmi les fonctions de package « Magick » on a :

a. Image_Read :

Édition d'images

Lire, écrire et joindre ou combiner des images. Toutes les fonctions d'image sont vectorisées, c'est-à-dire qu'elles opèrent sur une seule image ou sur une série d'images (par exemple, un collage, une vidéo ou une animation) (Ooms, 2024).

Effets d'image :

Effets de haut niveau appliqués à une image entière (Ooms2024).

Image vers ggplot :

Crée un ggplot avec des axes définis en coordonnées de pixels et trace l'image raster dessus en utilisant ggplot2 : annotation raster. (Jeroen Ooms2024).

Morphologie :

Il s'agit d'une fonction très flexible qui peut être utilisée pour appliquer n'importe quelle méthode de morphologie avec des paramètres personnalisés. (Jeroen Ooms2024).

Image Texte OCR :

Extraction de texte à partir d'une image à l'aide du paquetage tesseract. (Jeroen Ooms2024).

Peinture d'images :

Elle effectue un remplissage par inondation en peignant le point de départ et tous les pixels voisins de la même couleur (Ooms, 2024).

Segmentation d'images :

Segmentation d'images de base comme l'étiquetage des composants connectés (Ooms2024).

Seuil d'image

Le seuillage peut être utilisé pour une segmentation simple et directe de l'image (Ooms, 2024).

b. Image_convert :

Convertissez une image magic en classe EBImage. Ce dernier ne prend en charge que les images multi-images en niveaux de gris.

c. Image transparente :

Fonction pour régler le contraste, la luminosité, les couleurs de l'image.

d. Image_mosaic :

Opération pour manipuler ou combiner plusieurs images.

e. Image write :

Les propriétés sont transmises à des filtres. Généralement sont utilisées dans `image_read` ou `image_write` pour contrôler l'encodeur/décodeur d'image (Ooms, 2024).

Image write editing : Lisez, écrivez et joignez ou combinez des images.

Write vidéo : Exportateur vidéo/gif de haute qualité basé sur des packages externes.

f. Image_distort :

Liste option types et des valeurs prises en charge dans la version d'image magick

g. Image_crop :

Transformations de base telles que rotation, redimensionnement, recadrage et retournement.

h. Image_info :

Les attributs sont des propriétés de l'image qui peuvent être présentes sur certaines images et qui peuvent affecter les méthodes de manipulation de l'image.

i. Image_flip :

Transformations de base telles que rotation, redimensionnement, recadrage et retournement. La syntaxe géométrique est utilisée pour spécifier des tailles et les zones. (Jeroen Ooms2024).

4. Package « hemispheR » :

Importer et classer des images de la canopée en fish-eye, estimer la fraction de l'espace angulaire et dériver des attributs de la canopée tels que l'indice de surface foliaire et la transparence (Chianucci, 2024).

Parmi les fonctions du package hemispheR on a :

a. Binarize_Fisheye :

Calcule le seuil d'une image fisheye monocanal et renvoie une image fisheye binaire de pixels de canopée (0) et de pixel d'écart (1).

b. Gapfric_fisheye :

Déterminer la fraction de l'écart angulaire à partir d'une image fisheye classifiée.

c. Import_fisheye :

Importe une image fisheye en tant qu'image matriciel à canal unique et applique un masque circulaire

VIII. Le Script complet utilisé pour le traitement d'image et le calcul des attributs de la canopée :

```
#### codes established by khellaf rabehi (ummt) and carole de grande-maison (agroparistech-nancy) ###
#####
```

```
setwd(dir = "E:/dell mon micro/collegues/khellaf/pano")
```

```

### Load necessary libraries:
library(tidyverse) # For data manipulation
library(magick) # For image manipulation
library(imager) # For image display
library(exifr) # For extracting metadata
library(devtools)
library(hemispheR)

#####DEBUT de la transformation #####

# Path to raw equirectangular panos. Place all of your panos in a subdirectory within your working directory
focal_path <- "E:/dell mon micro/collegues/laidi_hem/pano/"
focal_image <- "b.jpg"
focal_image_path <- paste0(focal_path, focal_image)
focal_image_name <- sub("\\.[^.]+"$, "", basename(focal_image_path))
focal_image_path
focal_image_name

# The metadata contains lots of information about the photo.
xmp_data <- read_exif(focal_image_path) %>%
  glimpse()

# The first step in the process is to convert the equirectangular image from our phone into a hemispherical image.

### Convert the equirectangular image to hemisphere
# One advantage of spherical panos is that they are large and therefore high resolution. The images from my Google Pixel 4a
are 38 mega pixels. For this example, I downsized the example pano to 10% resolution to make processing and visualizing
easier. For your analysis, I'd recommend using fullresolution images.
pano <- image_read(focal_image_path)
pano # Visualize the pano

# Store the pano width to use in scaling and cropping the image
pano_width <- image_info(pano)$width
pano_width

# To process the image, we need to scale it, reproject it into polar coordinates, reorient it, and rotate it to true north.

pano_hemisphere <- pano %>%
  # Crop to retain the upper hemisphere
  image_crop(geometry_size_percent(100, 50)) %>%
  # Rescale into a square to keep correct scale when projecting in to polar coordinate space
  image_resize(geometry_size_percent(100, 400)) %>%
  # Remap the pixels into polar projection
  image_distort("Polar",
    c(0),
    bestfit = TRUE) %>%
  image_flip() %>%
  # Rotate the image to orient true north to the top of the image
  # image_rotate(image_heading) %>% ##### ON NE PEUT PAS APPLIQUER CETTE LIGNE QUI PERMET DE
REMETTRE LE NORD AU NORD CAR LA PHOTOS D ORIGINE NE CONTIENT PAS L'INFORMATION
NECESSAIRE
  # Rotating expands the canvas, so we crop back to the dimensions of the hemisphere's diameter
  image_crop(paste0(pano_width, "x", pano_width, "-", pano_width/2, "-", pano_width/2))

# Plot the hemispherical image. The image looks funny because the outer pixels are extended by interpolation and we've rotated
the image. Most analyses define a bounding perimeter to exclude any pixels outside of the circular hemisphere, so the weird
border shouldn't matter. But, we can add a black mask to make the images look better.
pano_hemisphere

### Create black mask for the image (this isn't really necessary, but makes the images look nicer)

# Get the image mask vector file

image_mask <- image_read("E:/dell mon micro/collegues/laidi_hem/TEMPMask.svg") %>%
  image_transparent("white") %>%
  image_resize(geometry_size_pixels(width = pano_width, height = pano_width)) %>%
  image_convert("png")

```

```

masked_hemisphere <- image_mosaic(c(pano_hemisphere, image_mask))
masked_hemisphere

masked_hemisphere_path <- paste0("E:/dell mon micro/collegues/laidi_hem/masked_hemispheres/",
focal_image_name, "_masked.jpg") # Set the filepath for the new image
image_write(masked_hemisphere, masked_hemisphere_path) # Save the masked hemispherical image

#####FIN de la transformation #####

### niveau de gris

fisheye <- import_fisheye(masked_hemisphere_path,
  channel = '2BG',
  circ.mask = list(xc = pano_width/2, yc = pano_width/2, rc = pano_width/2),
  gamma = 2.2,
  stretch = FALSE,
  display = TRUE,
  message = TRUE)

### binarisation noir et blanc

binimage <- binarize_fisheye(fisheye,
  method = 'Otsu',
  # We do NOT want to use zonal threshold estimation since this is done by the camera
  zonal = TRUE,
  manual = NULL,
  display = TRUE,
  export = TRUE)

###par segemnts

gapfrac <- gapfrac_fisheye(
  binimage,
  maxVZA = 90,
  # Spherical panoramas are equidistant perforce
  lens = "equidistant",
  startVZA = 0,
  endVZA = 90,
  nrings = 5,
  nseg = 8,
  display = TRUE,
  message = TRUE
)

##### attributs de la canopée###

canopy_report <- canopy_fisheye(
  gapfrac
)

output_report <- xmp_data %>%
  bind_cols(
    canopy_report
  ) %>%
  rename(
    GF = x,
    HemiFile = id
  )

glimpse(output_report)

```

Chapitre IV : Résultats et discussion

I. Les étapes de traitement des images sphériques –panoramiques :

1. Les métadonnées :

Ce sont des informations propres à chaque image hémisphérique. Par exemple : la photo N°1 prise dans la pinède noire de Tigounatine, Tikjda, PN Djurdjura

```

Rows: 1
Columns: 61
$ SourceFile <chr> "E:/dell mon micro/collegues/hamadach/pan...
$ ExifToolVersion <dbl> 12.22
$ FileName <chr> "1.jpg"
$ Directory <chr> "E:/dell mon micro/collegues/khe-adjja/pan...
$ FileSize <int> 2637658
$ FileModifyDate <chr> "2024:05:11 08:42:59+01:00"
$ FileAccessDate <chr> "2024:05:11 08:55:03+01:00"
$ FileInodeChangeDate <chr> "2024:05:11 08:53:39+01:00"
$ FilePermissions <int> 100644
$ FileType <chr> "JPEG"
$ FileTypeExtension <chr> ".jpg"
$ MIMEType <chr> "image/jpeg"
$ ExifByteOrder <chr> "MM"
$ Model <chr> "SM-J610F"
$ Make <chr> "samsung"
$ DateTimeOriginal <chr> "2024:05:08 11:59:24"
$ CreateDate <chr> "2024:05:08 11:59:24"
$ LightSource <int> 0
$ Orientation <int> 0
$ ModifyDate <chr> "2024:05:08 11:59:24"
$ XMPToolkit <chr> "Adobe XMP Core 5.1.0-jc003"
$ ProjectionType <chr> "equirectangular"
$ UsePanoramaViewer <lg1> TRUE
$ FullPanoWidthPixels <int> 3584
$ FullPanoHeightPixels <int> 1792
$ CroppedAreaImageWidthPixels <int> 3584
$ CroppedAreaImageHeightPixels <int> 1792
$ CroppedAreaTopPixels <int> 0
$ CroppedAreaLeftPixels <int> 0
$ JFIFVersion <chr> "1 1"
$ ResolutionUnit <int> 0

```

Figure 21 : Représente les métadonnées d'une image hémisphérique.

a. Indice de LAI :

On appelle "indice foliaire " associé au volume V (en anglais Lai ou leaf. Area index) la surface de l'ensemble des feuilles contenues dans V rapportée à la surface projetée, verticalement de V sur le sol, ce dernier étant lui-même assimilé à un plan horizontal. Cet indice est directement associé aux capacités d'échange entre les végétaux et l'atmosphère, il représente une donnée capitale pour caractériser certains processus tels que la photosynthèse, la respiration, l'interception des précipitations, etc. Il est l'une des entrées principales de la plupart des modèles de traitement du fonctionnement des écosystèmes. Son estimation a donné lieu au développement de nombreuses méthodes d'évaluation classées dans les catégories directes, indirect ou semi indirect selon l'approche privilégiée par l'opérateur (BREDA et al, 2002). On a deux indices de Lai : L réelle et L effectif. Les deux ont été calculé par la formule suivante (CHIANUCCI, 2022) :

$$LAI = 2 \sum_{i=1}^n - \ln P(\theta_i) \cos \theta_i \sin \theta_i d\theta_i$$

- $P(\theta_i)$: La fraction d'espace.
- $\cos \theta_i$: La longueur du trajet optique.
- $\sin \theta_i$ et $d\theta_i$: Le vecteur de pondération.

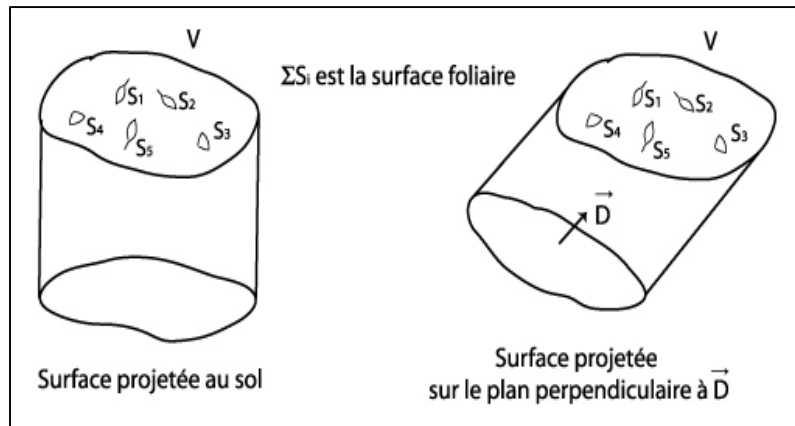


Figure 22 : Principes graphiques de la définition de l'indice foliaire (BREDA et al, 2002).

b. Indice d'agglutination(Ω) :

Des estimations de l'indice d'agglutination (Ω) sont nécessaires pour améliorer l'estimation indirecte de l'indice de surface foliaire (L) à partir d'instruments basés sur le champ optique tels que la photographie numérique hémisphérique (DHP) une méthode largement utilisée permet d'estimer Ω à partir de la photographie hémisphérique en utilisant une simple formule de moyenne de fraction d'écart (LX). On a deux indices d'agglutination LXG1 et LXG2 ont été calculés par la formule suivante (CHIANUCCI, 2022) :

$$\Omega_{LXG} = \frac{\int_0^{\frac{\pi}{2}} -\ln(\sum_{i=1}^n w_i P_{i\downarrow}(\theta)) \cos \theta \sin \theta d\theta}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} -\ln(\sum_{i=1}^n w_i P_{i\uparrow}(\theta)) \cos \theta \sin \theta d\theta}$$

- W_i : Le poids normalisé appliqué à de moins en moins $P_{i\downarrow}$ et de plus en plus $P_{i\uparrow}$.
- $P_{i\downarrow}$ et $P_{i\uparrow}$: Fraction d'écart ordonnée.
- $\cos \theta$: La longueur du trajet optique.
- $\sin \theta$ et $d\theta$: Le vecteur de pondération qui est normalisé pour que sa somme soit égale à 1

c. DIFN :

Également appelée ouverture de couvert forestier, est calculée comme la fraction d'espace moyenne pondérée pour la surface de l'anneau.

$$DIFN = \sum_{i=1}^n (A_i * \cos(\theta_i)) / (L * \cos(\theta_m))$$

- A_i : l'angle foliaire de la i-ème feuille.
- θ_i : l'angle d'inclinaison de la i-ème feuille.
- L : la surface foliaire totale de la canopée.

- Θ_m : l'angle d'inclinaison moyen des feuilles de la canopée.

d. MTA.ell :

L'angle d'inclinaison moyen, permet de quantifier l'angle d'inclinaison moyen des feuilles au sien d'une canopée végétale.

$$\text{MTA.ell} = \sum_{i=1}^n (A_i * \cos(\Theta_i)) / L$$

- A_i : l'angle foliaire de la i-ème feuille.
- Θ_i : l'angle d'inclinaison de la i-ème feuille.
- L : la surface foliaire totale de la canopée.

II. Conversion en image hemispherique :

1. Redimensionnement de l'image et projection sur les coordonnées polaires :

- `Importe_fisheye` : importe un canal d'image (ou un canal de mélange) et applique un masque circulaire.
- `Binarise_fisheye` : seuillage de canal d'image sélectionné et retour d'une image binaire, cette opération consiste à saturer les pixels claire (seuillage haut) sombre (seuillage bas) d'une image tout en laissant les autres inchangé.
- `Gapfrac_fisheye` : calcule la fraction d'écart pour des bins de zénith et d'azimuth définis.
- `Canopy_fisheye` : déduit les attributs de la canopée à partir de la distribution angulaire de la fraction d'espace (CHIANOUCI, 2022).

2. Création du masque noir et la photo hémisphérique :

- Importe un canal d'image et appliquer un masque circulaire.
- Appliquer une méthode pour classer les pixels de l'image à canal unique en canopée et en ciel.
- Diviser l'hémisphère en un certain nombre d'anneaux concentrique (anneaux zénithaux) et de secteurs radiaux (segments azimuthaux) pour récupérer la distribution angulaire de la fraction d'espace.
- Appliquer des formules théoriques reliant la fraction d'espace aux attributs de la canopée (CHIANOUCI, 2022).

III. Les photos hémisphériques avec le masque noir :



Figure 23 : Photo (1) avec masque noir

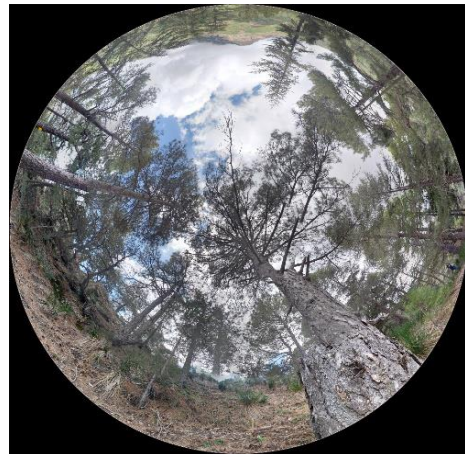


Figure 24 : Photo (2) avec masque noir



Figure 25 : Photo (3) avec masque noir



Figure 26 : Photo (4) avec masque noir

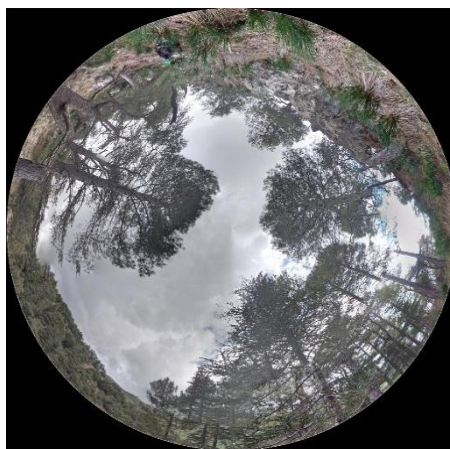


Figure 27 : Photo (5) avec masque noir(originelle)

IV. Les étapes de traitement des images hémisphériques :

1. Niveau de gris avec la fonction ‘import_fisheye’ :

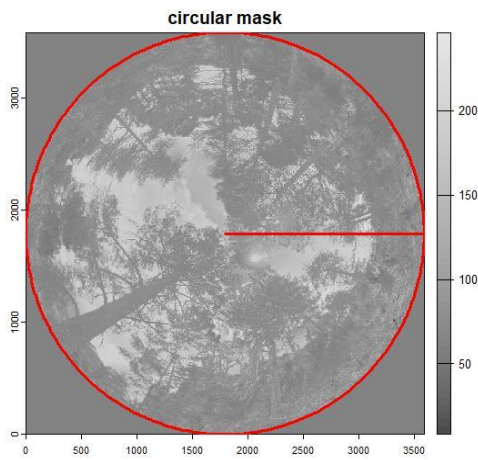


Figure28 : Niveau de gris de la Photo (01)

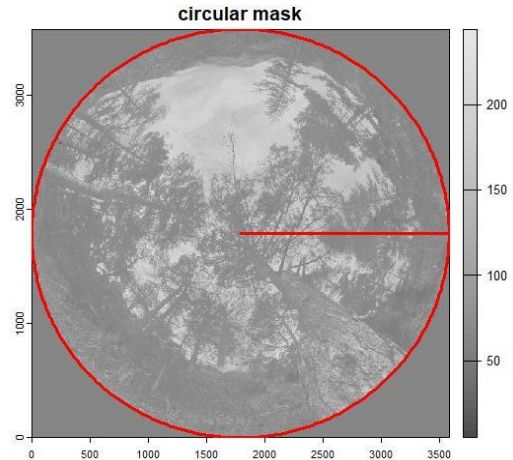


Figure 29 : Niveau de gris de la Photo (02)

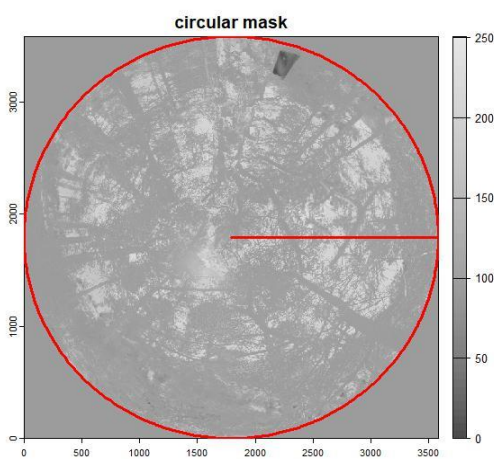


Figure 30 : Niveau de gris de la Photo 03.

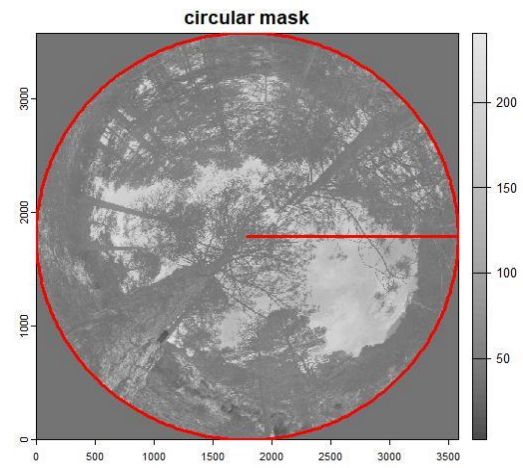


Figure 31 : Niveau de gris de la Photo 04.

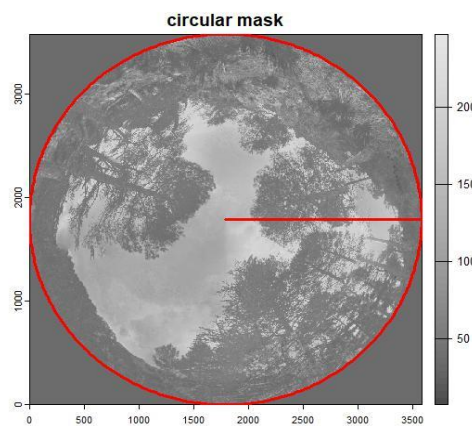


Figure 32 : Niveau de gris de la Photo 05.

2. Binarisation en noir et blanc avec la fonction "binarize_fisheye". La méthode de seuillage est "Otsu" :

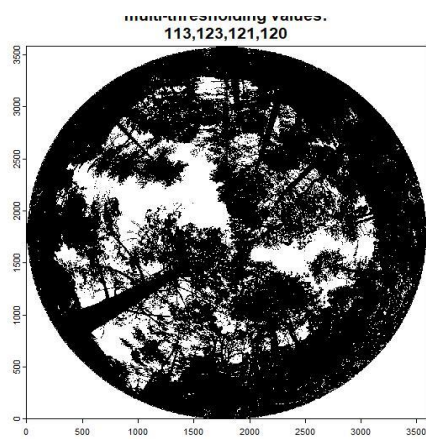


Figure 33 : Binarisation en noir et blanc De la Photo 01

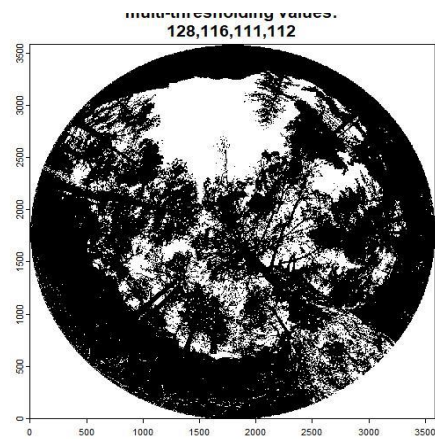


Figure 34 : Binarisation en noir et de la Photo 02

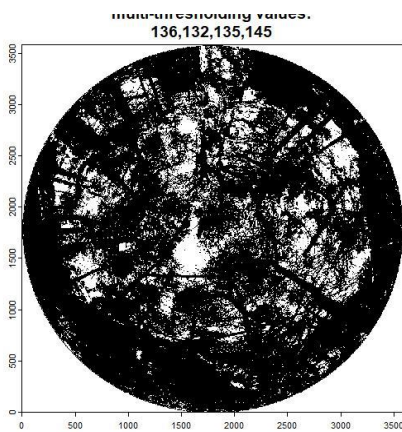


Figure 35 : Binarisation en noir et blanc De la Photo 03.

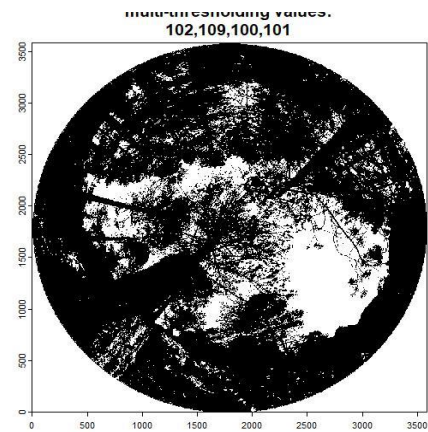


Figure 36 : Binarisation en noir et blanc De la Photo (4)

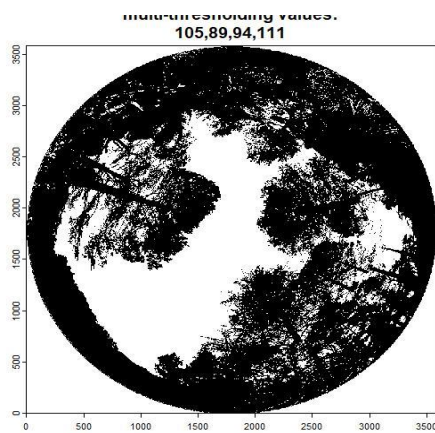


Figure 37 : Binarisation en noir et blanc de la photo 05.

3. Binarization circulaire hémisphérique plot avec azimuth rings et segments avec la fonction “gapfrac_fisheye” :

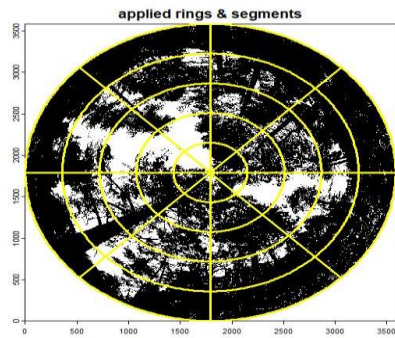


Figure 38 : Binarisation circulaire Hémisphérique plot avec azimuth Rings et segments de la photo 01

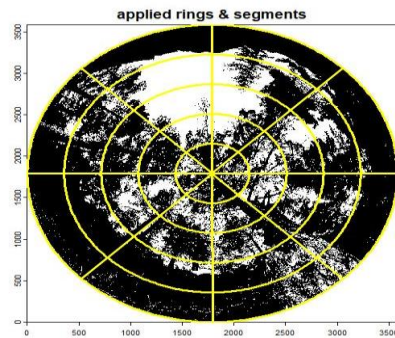


Figure 39 : Binarisation circulaire hémisphérique plot avec azimuth rings et segments de la photo 02.

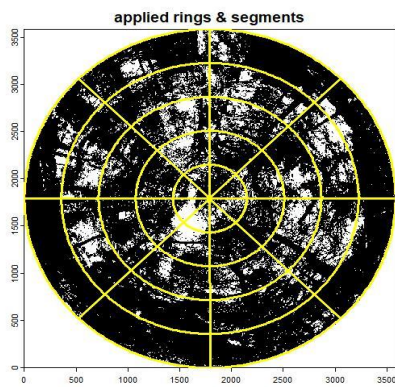


Figure40 : Binarisation circulaire hemisphérique plot avec azimuth rings et segments de la Photo 03.

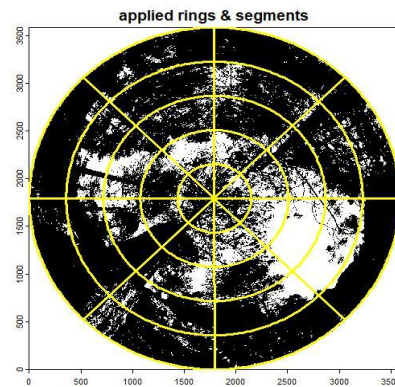


Figure 41 : Binarisation circulaire hemisphérique plot avec azimuth rings Segments de la photo04.

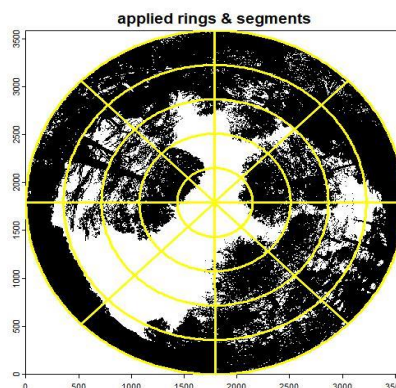


Figure42 : Binarisation circulaire hémisphérique plot avec azimuth rings et segments de la photo 05.

Les images ont été analysées en définissant le masque circulaire, et en divisant l’hémisphère en 5 rings et 8 segments azimutaux.

Dans hemispheR, la méthode ‘Otsu’ a utilisée pour seuiller les images.

V. Calcul des attributs de la canopée avec la fonction ‘ canopy_fisheye’ :

Tableau12 : Résultats des calculs des attributs de la canopée.

	Placeaux	LE	L	LX	LXG1	LXG2	DIFN	MTA.ell
PHOTO1	15, 19, 14,18	1,28	1,47	0,87	0,68	0,56	30.84	32
PHOTO2	16,17	1,16	1,34	0,87	0,65	0,51	33.90	23
PHOTO3	10, 11, 12,13	1,6	1,72	0,93	0,77	0,67	21.70	20
PHOTO4	7, 8,9	1,31	1,52	0,86	0,66	0,53	30.85	33
PHOTO5	1, 2, 3, 4, 5,6	0,91	1,13	0,81	0,58	0,45	45.44	52

VI. Discussion :

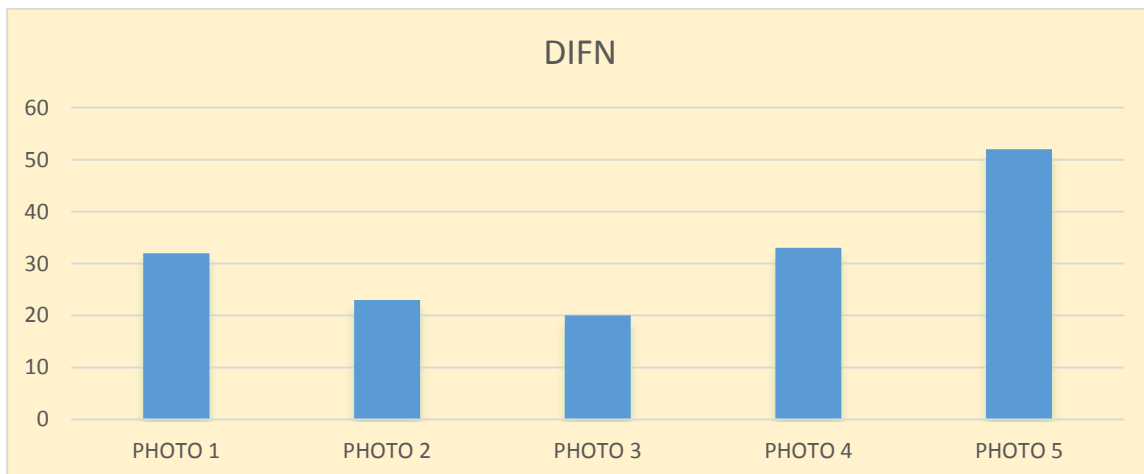


Figure 43 : le pourcentage de lumière arrivé au sol au niveau de chaque photo.

Les résultats obtenus indiquent que :

La photo 03 affiche l'ouverture de la canopée la plus importante, l'indice foliaire (Lai) est le plus élevé par rapport aux autres photos ($LE= 1,6$ et $L=1.72$), avec l'indice d'agglutination(Ω) le plus élevé aussi ($LXG1=0,77$, $LXG2=0.67$). Mais par contre elle a l'indice d'ouverture de couvert forestière DIFN le plus faible par rapport aux autres photos (la quantité de lumière qui arrive au sol, $DIFN =21.70\%$) avec l'angle d'inclinaison moyenne des feuilles le plus faible aussi ($MTA.ell= 20$).

La photo 05 dont l'ouverture de la canopée est faible l'indice foliaire (Lai) est le plus faible ($LE= 0.91$ et $L=1.13$), avec l'indice d'agglutination(Ω) plus faible aussi ($LXG1=0.81$ et $LXG2=0.53$). Mais par contre elle a l'indice d'ouverture de couvert forestière DIFN le plus élevée par rapport aux autres photos ((la quantité de lumière qui arrive au sol $DIFN =45,44\%$) avec l'angle d'inclinaison moyenne des feuilles le plus élevée aussi ($MTA.ell= 52$).

La quantité de lumière qui arrive au sol au niveau de la photo 01 et 04 et presque identique avec ($DIFN= 30,84\%$, et $DIFN=30,85\%$), Le DIFN de la photo 02 plus important avec un pourcentage = $33,90\%$.

Il est à noter que :

- Lorsque Lai et l'indice d'agglutination(Ω) sont élevés mais par contre MTA.ell et DIFN sont faibles, donc la quantité de lumière arrivé au sol est faible.
- Lorsque Lai et l'indice d'agglutination(Ω) sont faibles mais par contre MTA.ell et DIFN sont élevée, donc la quantité de lumière arrivé au sol est importante.

Ces résultats des différents attributs nous permettront d'évaluer avec précision la quantité de lumière qui atteint le sol au niveau du pin noir à Tigounatine pour, éventuellement, approfondir la relation entre la lumière et la régénération naturelle.

ADJAOUD (2005), a démontré que la lumière joue un rôle important sur les dimensions des aiguilles du Pin noir en passant du niveau bas (dimensions faibles) de l'arbre au niveau haut (dimensions important) ou bien de l'exposition sud à l'exposition nord à l'intérieur d'un même arbre.

Chianucci et martin, (2022) ont souligné que la package « hemispheR » offre un outil potentiellement pertinent pour faire de la photographie fisheye une source d'analyse de la canopée car c'est une méthode simple et accessible rendant le processus robuste et automatisé.

- La séquentialité des fonctions, ce qui rend le package simple à utiliser, tout en assurant la concision et la clarté du code.
- La possibilité de traiter des images fisheye circulaires et plein cadre, ce qui peut considérablement élargir le champ d'application de l'analyse d'image hémisphérique, type d'appareil photo et d'objectifs disponibles pour d'analyse d'images hémisphériques y compris les appareils photo et les objectifs des smartphones.

Conclusion

Au terme de ce travail, on peut dire que :

Le pin noir (*Pinus nigra subsp. Mauretanica*) est une espèce présente dans le versant sud du Djurdjura où il se distingue comme une espèce rare est menacée de disparition liée aux incendies fréquents qui ravagent les forêts du Djurdjura qui détruisent non seulement les arbres adultes mais aussi les jeunes plantes ce qui rend cette espèce souffrir d'une régénération naturelle faible .

Pour cela des études ont été réalisées pour conserver cette espèce notamment sur les causes de la régénération faible. Concernant l'importance de facteur lumière sur la vie des plantes, Notre contribution est essayée de la mesurer dans le peuplement de pin noir. Les résultats de ce travail permettent à l'avenir de les utiliser pour étudier la germination des graines et le maintien des plantules et voir l'influence de la lumière sur ces aspects.

La méthode de mesure d'Arietta représente un outil précieux pour les chercheurs et les gestionnaires forestiers qui cherchent à voir la relation entre la lumière et la dynamique des peuplements forestiers et la régénération de pin noir en particulier, grâce à son choix idéal pour une large gamme d'application, contribution à une meilleure compréhension des écosystèmes forestiers et à une gestion durable des forêts.

Il serait intéressant de poursuivre ce travail pour établir l'effet de la lumière sur la régénération de cette espèce (*pinus nigra ssp Mauretanica*).

Références bibliographiques :

1. 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.
2. ABDESSELAM M., 1995 : Structure et fonctionnement d'une carte de montagne sous climat méditerranéen exemple de Djurdjura occidental (grande Kabylie-Algérie). Thèse Doc. Univ. Fran Comte en Science de la terre.232p.
3. 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.
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. Arbez M. et Millier C., 1971. "Contribution à l'étude de la variabilité géographique de *Pinus nigra* Arn. : étude comparative de quelques caractères morphologiques des aiguilles au stade juvénile. Conséquences pour la systématique de l'espèce et les tests variétaux." Añnales des Sciences Forestières 28(1) : 23-49.
6. ASMANI. A., 1988 : Etude bio systématique du pin noir de Djurdjura (*Pinus nigra* Arnold subsp. *Clusiana* Clem.Var.*mauretunica* Maire & Peyer).thèse Ing .Agr. Inst. D'agronomie T.O. 105p.
7. 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.
8. Alexander.D-Y.,1979 : Utilisation de photographies hémisphérique pour l'étude de la pénétration de la lumière en forêt de Tai .
9. A.Z. Andis Arietta. ; 2020. Photographie hémisphérique sur smartphone
10. Bedran Lydia et Boussafeur Zahia .2023, contribution à l'étude de l'état sanitaire des cones et des graines du pin noir (*pinus nigra*) au niveau de parc national de Djurdjura, mémoire de master, univ, UMMTO,69P
11. Begriche Mohand et Ouyed Amrane,2020, Approche Qualitative Et Quantitative Des Projets Expérimentaux De Reboisement De Pin Noir Dans Le Parc National Du Djurdjura : Cas Du Reboisement De Tala-Rana Et De Tikjda, MEM, Master, UMMTO (Algérie) 54p

12. Bernard Roman Amat 1984., Contribution A L'exploration Et La Valorisation De La Variabilité Intra spécifique Et Individuelle Du Pin Laricio De Corse, Pinus Nigra Arn, Ssp Laricio Var Corsicana Loud.
13. BELLEFONTAINE R., 1979 : Plaidoyer pour le pin noir du Rif espèce en voie de disparition Arn. Rech. for. Maroc Stat. Rech. Rabat.T. 19-327-338 PP.
14. Blandier P, Dumas, Y,Marquier,A./Philippe,G./DaSilva,D./Gaudio,N/Ginisty,C./Sinoquet, H.-2015 ; Etude condition de régénération naturelle pin sylvestre forêt Mélangée chêne-pin l'orléanais.
15. Blandier Philippe, A, Marquier, Sandrine Perret, Catherine Collet et B.Courbaud.,2010 : Comment estimer la lumière dans le sous-bois forestière à partir des Caractéristique dendrométrique des peuplements, p52-p53.
16. Beker.M. ; 1971.Une technique nouvelle d'utilisation des photographies hémisphérique pour la mesure du climat lumineux en forêt.
17. CHAKER1 Amina, Riadh MOULAÏ, Ali TAHAR Diversité des lichens du Parc National de Djurdjura (Algérie) Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, Vol. : 90, articles, 2021, p. 189 – 212
18. Chambit Hazardja Amina ,2016 étude de l'évolution de Pinus nigra au niveau du parc national de Chréa, Mem Master, univ, Saad Dahleb Blida (Algérie). :24 P
19. Clara TALLIEU 2016 Variabilité et structuration génétique de la croissance radiale du pin noir (Pinus nigra Arnold) et de ses sous espèces : relations avec le climat. Mem Master, univ Aix Marseille ;43P
20. Debazac E.-F., 1971. Contribution à la connaissance de la répartition et de l'écologie de Pinus nigra Arn. Dans le Sud-Est de l'Europe. Annales des Sciences Forestières, EDP Sciences. 28 : 91-139.
21. Derridj.A1, D. Abdelli1, D. Adjaoud1, A. Asmani1, B. Fady2, H. Hedjam, N. Larbi-Aidrous1, O. Zannouché3 & F. Krouchi1A synthesis on several years study on Pinus nigra ssp mauretana in Algeria (1) : Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri (Tizi-Ouzou, Algérie), (2) : URFM, INRA Avignon (France), (3) : INRF de Bainem (Alger)2013.
22. . Dewey Dunnington et Phi Harvey, 2021 : EXIF Image Data in R.
23. Djemai Arezki,Guettas Ali,BUDEDJASA SALEM , Station INRF D'azazga .Algerie .2017 .<https://www.tela-botanica.org/2017/11/article8382/>.

24. Emberger L., 1952. Le quotient pluviothermique. Compt. Rend. Acad. Sci. Paris. 234, PP : 2508 – 2511.
25. Fichier écologique des essences pin noir d'Autriche,2017.
26. Francesco Chianocci et Maerin Macek, 2024 : Processing Hemispherical Canopy Image.
27. Francesco Chianocci et Martin Macek ,2022. HemspherR : an Rpackage for fisheye canopy image analysis
28. Frans Bongers., 1998 : Manipulation de la lumière dans la forêt tropicale
29. Jeroen Oms, Advanced Graphic and Image Processing in R.
30. Hedjam1 H., F. Marniche2, S.-E. Doumandji3, M. Contarini4, B. Papparatti4, S. Speranza4, F. Krouchi1 and A. Derridj1 First report of *Eulachnus tuberculostemmatum* (Theobald, 1915) on *Pinus nigra* subsp. *Mauretunica* stands in Algeria Bulletin OEPP/EPPO Bulletin (2017) 0 (0), 1–4
31. HEDJAM Hakima ,2019, Contribution à la caractérisation des décolorations des aiguilles du pin noir (*Pinus nigra* Arnold ssp. *Mauretunica* Maire et Peyer) dans le Parc National du Djurdjura (Algérie). Thèse. Doctorat. Université. Ummto.144P
32. GIOVANNELLI Guia, 2017.Histoire évolutive et diversité adaptatives du pin noir, *pinus nigra* arn, à l'échelle de son aire de répartition.Thèse doctorat.univ ,aix marseille. 318p
33. Louis Roussel. ; 1953. La lumière et la forêt,1953,4, pp.273-290.
34. Louis Roussel. ; 1962. Une technique nouvelle au service de la sylviculture. La revue La nature, N°3324, P145.
35. Messaoudene1Mahand Mahmoud Laribi2 Arezki Derridj Étude de la diversité floristique de la forêt de l'Akfadou (Algérie) Bois Et Forêts Des Tropiques, 2007, N° 291 (1)
36. MEDDOUR SAHAR O.et MEDDOUR R.,2016 : Analyse des stratégies de gestion des incendies de forêts en Algérie. Atelier sur les incendies de forêts et changement climatique 11 et 12 janvier 2016 a Hôtel « Casablanca » à Dar El Beida Alger
37. MERIBAI-BOUGHELIT Nadia 2023 Contribution à l'étude de l'entomofaune et relation Trophique de quelques vertébrés et endoparasites de la bécasse des bois *Scolopax rusticola*L., 1758(Aves,Scolopacidae) dans une aire protégée (Parc National de Djurdjura). THESE DOCTORAT, ummto94p
38. MULLER, 1986. Action, observation et suggestions a propos du Pin noir Algérien. Cellule INRF, Parc national du Djurdjura

39. Nathalie Bréda, Kamel Soudani ET Gean-Claude Bergozini., 2002 : Mesure de L'indice foliaire en forêt, 155P.
40. Noémie Gaudio, 2011. Interaction pour la lumière entre les arbres adultes, les jeunes Arbres et la végétation du sous-bois au sein d'un écosystème forestière application à la Régénération du pin sylvestre en peuplement mélange chêne sessile- pin Sylvestre, 194P
41. Quezel P. La région méditerranéenne française et ses essences forestières, signification écologique dans le contexte circum-méditerranéen. Forêt Méditerranéenne, 1979, I (1), pp.7-18. Hal-03553018f
42. QUEZEL P., 1980 : Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen Act d'écologie Forest-Edit-Pesson, Paris, 225p.
43. Simon Brathelme, David Tschumperle, Jan Wijffel, Haz Edine Assemblal, Shota Ochi, Aaron Robotham et Rodrigo Tobar.,2024 : Image Processing Library Based On 'CImg'.
44. Van Haverbeke., 1990. Pinus nigra Arnold European black pine. Silvics of North America. (1), 395-404 p

Résumé :

Ce mémoire porte sur l'utilisation de la méthode de photographie hémisphérique pour évaluer la lumière au sein du peuplement forestier de pin noir (*Pinus nigra subsp. Mauretanica*) situé au niveau du parc national du Djurdjura à Tikjda qui souffre d'une régénération naturelle faible. L'objectif principal de cette étude est de mesurer le taux de lumière et comprendre l'effet de la lumière sur la régénération naturelle de cette espèce rare et menacé, et pour cela on a pris 5 photos hémisphériques de la canopée prises au niveau des bouquets de pins noirs à Tigounatine, ce qui nous permettra de mesurer les attributs de la canopée forestier telle que le DIFN (Le pourcentage de lumière qui atteint le sol), Lai (indice foliaire) avec ses deux indices L réelle et L effectif, L'indice d'agglutination (LX , $LXG1$ et $LXG2$) et MTA.ell (l'angle d'inclinaison moyenne des feuilles), et pour le traitement de ces photos on utilise des outils de traitement d'image et de logiciel spécialisé R qui nous donne les résultats des attributs de la canopée.

Après le traitement des 5 photos, la photo 3 affiche l'ouverture de la canopée la plus importante, l'indice foliaire (Lai) est le plus élevé par rapport aux autres photos avec l'indice d'agglutination (Ω) le plus élevé aussi. Mais par contre elle a l'indice d'ouverture de couvert forestière DIFN le plus faible par rapport aux autres photos, avec l'angle d'inclinaison moyenne des feuilles le plus faible aussi, mais par contre la photo 05 dont l'ouverture de la canopée est faible l'indice foliaire (Lai) est le plus faible avec l'indice d'agglutination (Ω) plus faible aussi mais par contre elle a l'indice d'ouverture de couvert forestière DIFN le plus élevée par rapport aux autres photos.

L'importance de cette méthode dans le domaine forestier réside dans sa capacité à fournir des données précises et non invasives sur la distribution de la lumière dans les écosystèmes forestiers. Contrairement aux méthodes traditionnelles qui peuvent être coûteuses et chronophages, les photographies hémisphériques offrent une solution rapide, efficace et reproductible pour l'évaluation des conditions lumineuses dans différents types de peuplement forestier. De plus, cette méthode est particulièrement utile pour l'étude de l'impact de la lumière sur la croissance des jeunes plants et la régénération naturelle, permettant ainsi d'optimiser les pratiques de gestion forestière en fonction des besoins en lumière des différentes espèces. Elle permet de mieux comprendre les interactions entre la lumière et la végétation, offrant ainsi des nouvelles perspectives pour la gestion durable des forêts et la conservation de la biodiversité.