

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU

FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



**THESE de
Doctorat
en Sciences Biologiques
Option : Écologie et Environnement
Présentée par**

Mme HEDJAM Hakima épouse CHIOUKH

**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).**

Soutenue publiquement le 19/01/2019

Devant le jury composé de :

Nom et prénom	Grade	Lieu d'exercice	Qualité
Mlle HANNACHI Lynda	M.C.A	U.M.M.T.O	Présidente
Mr DERRIDJ Arezki	Professeur	U.M.M.T.O	Directeur de thèse
Mr SCHIRONE Bartolomeo	Professeur	U. Tuscia, Italie	Co-directeur de thèse
Mme BENOUFELLA- KITOUS Karima	M.C.A	U.M.M.T.O	Examinatrice
Mme GACEB-TERRAK Rabia	Professeur	U.S.T.H.B	Examinatrice
Mr BEKDOUCHE Farid	M.C.A	U. Bejaia	Examineur

À mon Mari Oubelkacem

À ma fille Nouara-Maria

À mes Chers Parents

À mes beaux Parents

À mes frères et sœurs

Et à mes beaux frères et belles sœurs

Remerciements

Au terme de cette étude, je tiens à remercier très profondément, monsieur DERRIDJ Arezki, professeur à la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, d'avoir proposé ce sujet original pour l'Algérie et dirigé ce travail avec abnégation et pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser cette thèse. Je n'oublierais jamais ses nombreuses qualités humaines.

Je remercie le Professeur SCHIRONE Bartolomeo du département DAFNI, Université de Tuscia, Italie, d'avoir accepté de codiriger cette thèse et de m'avoir accueillie dans son laboratoire.

Je tiens à remercier profondément Mlle HANNACHI Lynda, Maître de conférences A. à la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour l'honneur qu'elle m'a fait d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse.

Ma reconnaissance et mes remerciements s'adressent aussi à Mme BENOUFELLA-KITOUS Karima, Maître de conférences A. à la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, d'avoir accepté de juger ce travail ainsi que pour tous ses conseils, encouragements et son aide précieuse.

Je tiens aussi à remercier très profondément Mme GACEB-TERRAK Rabia, Professeur à l'Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumedién, Bab-Ezzeouar, Alger, pour son aide, morale et matérielle, durant mes années d'études à l'U.S.T.H.B jusqu'à ce jour et d'avoir accepté de faire partie du jury de cette thèse.

Je tiens à remercier vivement Mr BEKDOUCHE Farid, Maître de conférences A. à l'Université de Bejaia, d'avoir accepté de participer au jury de cette thèse.

Je tiens également à remercier très chaleureusement, Mlle KROUCHI Fazia, Maître de Conférence A. à la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour son aide, le suivi et l'importance quelle a accordé à ce travail de son début jusqu'à sa fin.

Un grand merci pour Monsieur AGRED responsable du laboratoire « hospimed », pour son soutien financier, matériel et moral et d'avoir eu confiance en moi. Sans lui un grand chapitre de ce travail n'aurait pas été fait. Merci infiniment.

Je tiens également à remercier, l'ensemble du personnel du Parc National du Djurdjura pour leur aide, notamment le directeur Mr MERIBAI Youcef, le chef de secteur de Tikjda Mr Haddado, le chef de secteur de Tala-Rana, Mr Hammou et tous les autres agents forestiers qui ont contribué dans la partie terrain de ce travail.

Je remercie très particulièrement le Professeur Bussotti du « Dipartimento di Biologia Vegetale, Laboratorio di Botanica Forestale e Ambientale, Firenze, Italy » (Laboratoire de Botanique Forestière et Environnement, département de Biologie Végétale, Université de Florence, Italie), de m'avoir aidé à réaliser la partie microscopie confocale dans son laboratoire.

Mes remerciements les plus chaleureux s'adressent à tout le personnel du « Department of Agriculture, Forests, Nature & Energy (DAFNE), Università degli Studi della Tuscia (Viterbo, Italy) », spécialement : Federico VESSELA, Avra SCHIRONE, Marco SCEMONI, Raffaella, Giulia, Manuella, Tatiana, Jigio.

Mes remerciements les plus chaleureux s'adressent également aux Professeurs B. PAPARATTI, S. SPERANZA et M. CONTARINI, du « Department of Agriculture and Forestry Sciences (DAFNE), Tuscia University, Via S. Camillo de Lellis snc, 01100, Viterbo (Italy) », pour l'intérêt qu'ils ont accordé à mon travail. Le résultat de notre collaboration a été concrétisé par l'article.

Mes remerciements les plus chaleureux s'adressent également à :

Mr BOUAHMED Abdelkader, enseignant à la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour l'aide qu'il m'a apporté.

Mme SMAIL SADOUNE Nouria, professeur à la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour l'aide qu'elle m'a apporté et les conseils qu'elle m'a prodigué,

Monsieur BENSIDHOUM Messoud, enseignant à la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour son aide,

Monsieur et Madame MATENA, enseignants à la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour leur aide,

A vous Mme MANSOUR BENAMAR Malika, vous m'avez donné le savoir d'une enseignante, l'expérience d'une collègue, la confiance d'une amie, la chaleur d'une sœur et l'affection d'une maman. Merci infiniment Tata Malika. Que dieu vous protège ! « Amine ! ».

A Mme Avra SCHIRONE, pour son aide pour faire le résumé en langue Italienne.

A HAFFAD Sabrina, MACHTOUB Samia et CHETIH Saliha, pour leur aide pour faire le résumé en langue Arabe.

A ma belle sœur CHIOUKH-LAANANI Souad, pour son aide pour faire le résumé en langue Tamazight.

A mes parents qui m'ont toujours soutenue et aimée ; c'est grâce à vous que je suis arrivée jusque là, soyez fiers de vous ! Trouvez ici l'expression de ma profonde affection, Dieu vous bénisse et vous garde ! « Amine » !

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à mon mari Oubelkacem qui ma soutenu et accompagné sur le terrain et dans toutes mes démarches pour la réalisation de cette thèse.

A mes beaux- parents qui m'ont toujours aidé et soutenu, qu'ils trouvent ici l'expression de mon profond respect, que Dieu les bénisse et les garde ! « Amine » !.

A mon beau frère Mabrok et sa femme Katia et mon étudiante NACER BEY Yasmina pour leur aide.

Et à toute personne qui m'a aidé pour la réalisation de cette thèse. Un grand merci à tous

Abréviations

AE : aiguille abîmée à son extrémité

AM : aiguille à moitié ou totalement décolorée (aiguille morte)

AMC : aiguilles marrons d'un côté

C.R : canaux résinifères

COV : composés organiques volatiles

DBJ : décolorations sous forme de bandes jaunes

DBM : décolorations sous forme de bandes rouges-marrons

DBT : décolorations sous forme de bandes transparentes

DC : décolorations jaunâtres

DM : décolorations sous forme de marbrures chlorotiques

DPIM : décolorations sous forme de points d'impacts marrons

Ep : assise épidermique

Exp : exposition

F.L.L : faisceaux libéro-ligneux

G : Gaine protectrice

G.I.E.F.S : Groupe International d'Études des Forêts Sud-européennes

HAUT : hauteur

HPAE : Hiver, Printemps, Automne, Été

Ind : individu

Max : maxima

min : minima

N : Nord

O₃ : Ozone

PND : Parc National du Djurdjura

P.C : parenchyme chlorophyllien = Mésophylle

ppb : partie par biliaire

S : Sud

St : stomates

Tc : Tikjda centre

Tg : Tigounatine

Tr : Tala-Rana

Ver: verticille

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des stations d'études.....	5
Figure 2 : Géologie et lithologie de la région d'études selon Flandrin (1952)	7
Figure 3 : Températures minimales et maximales et moyennes mensuelles des températures (période : 1996 à 2016) : a : Tigounatine et Tikjda centre ; b : Tala-Rana.	8
Figure 4 : Courbe d'accroissement de la pluie selon Seltzer (1946).....	9
Figure 5 : Pluviométrie moyenne mensuelle des stations d'études pendant la période 1996 à 2016. a : Tigounatine et Tikjda Centre ; b : Tala-Rana.....	10
Figure 6 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gausson des stations d'études pendant la période 1996 à 2016. a : Tigounatine et Tikjda Centre ; b : Tala-Rana.....	12
Figure 7 : Situation des stations d'études dans le climagramme d'Emberger.....	14
Figure 8 : Le pin noir du Djurdjura. A : Tronc, B : Écorce, C : Couronne conique du jeune individu, D et E : Couronne sous forme de parapluie d'un individu adulte (Derridj, Malte 2011), F : Aiguilles, Chatons et Cône du pin noir du Djurdjura	18
Figure 9 : Coupes anatomiques des aiguilles de Pin noir du Djurdjura	20
Figure 10 : Cycle de reproduction chez le pin noir du Djurdjura	22
Figure 11 : Aire de répartition schématique du pin noir (<i>Pinus nigra</i> Arnold) et ses différentes sous-espèces en région méditerranéenne	23
Figure 12 : Les stations d'études. A : Tigounatine ; B : Tikjda centre; C : Tala-Rana.....	30
Figure 13 : Un rameau du pin noir portant des aiguilles d'âges différents	35.
Figure 14 : Diagramme d'évaluation du degré de décoloration des aiguilles ou des feuilles	37
Figure 15 : Capteur passif d'ozone (Passive ozone sampler).....	39
Figure 16 : <i>Protolachnus tuberculostemmata</i>	41
Figure 17 : Vue générale de l'état sanitaire des aiguilles de pin noir (<i>Pinus nigra</i> ssp <i>mauretanica</i>) du Parc National du Djurdjura.....	44
Figure 18 : Décoloration sous forme de marbrures en fonction de l'âge des aiguilles.....	46
Figure 18 (suite) : Décoloration sous forme de marbrures en fonction de l'âge des aiguilles.....	47
Figure 19 : Aiguilles avec des marbrures le long des deux faces, ventrale (A), dorsale (B)...	48
Figure 20 : Décoloration sous forme de marbrures chlorotiques (DM) sur les aiguilles du pin noir en fonction de l'âge des aiguilles (a, b, c), de la hauteur des individus (d, e, f), du type d'individu (a, b, e, f) et des individus (g) à la station de Tigounatine.....	49

Figure 21 : Décoloration sous forme de marbrures chlorotiques (DM) sur les aiguilles de pin noir en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (c) à la station de Tikjda centre	51
Figure 22 : Décoloration sous forme de marbrures chlorotiques (DM) sur les aiguilles de pin noir en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (c) à la station de Tala-Rana.....	52
Figure 23 : Face dorsale d'une aiguille décolorée d'un côté ; A : Côté décoloré ; B : Côté naturellement coloré.....	52
Figure 24 : Décoloration des aiguilles de pin noir sur un côté (AMC) en fonction de l'âge des aiguilles (a, b, c), de la hauteur des individus (d, e, f), du type d'individu (a, b, e, f) et des individus (g) à la station de Tigounatine	54
Figure 25 : Décoloration des aiguilles de pin noir sur un côté (AMC) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (c) à la station de Tikjda centre	55
Figure 26 : Décoloration des aiguilles de pin noir sur un côté (AMC) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (c) à la station de Tala-Rana	56
Figure 27 : Cochenille sur la face ventrale (A) de l'aiguille et son effet de décoloration sur la face dorsale (B).....	56
Figure 28 : Décoloration des aiguilles du pin noir due aux cochenilles (DC) en fonction de l'âge des aiguilles (a, b, c), de la hauteur des individus (d, e, f), du type d'individu (a, b, e, f) et des individus (g) à la station de Tigounatine	58
Figure 29 : Décoloration des aiguilles de pin noir due aux cochenilles (DC) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et d'individu (c) à la station de Tikjda centre	59
Figure 30 : Décoloration des aiguilles de pin noir due aux cochenilles (DC) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (c) à la station de Tala-Rana	60
Figure 31 : Décoloration sous forme de points d'impacts marrons (DPIM).....	61
Figure 32 : Décoloration sous forme de points d'impacts marrons (DPIM) en fonction de l'âge des aiguilles (a, b, c), de la hauteur des individus (d, e, f), du type d'individu (a, b, e, f) et des individus (g) à la station de Tigounatine	62
Figure 33 : Décoloration sous forme de points d'impacts marrons (DPIM) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et d'individu (c) à la station de Tikjda centre	64
Figure 34 : Décoloration sous forme de points d'impacts marron (DPIM) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et d'individu (c) à la station de Tala-Rana.....	65
Figure 35 : Aiguilles abîmées à leurs extrémités.	66
Figure 36 : Aiguilles abîmées à leurs extrémités (AE) en fonction de l'âge des aiguilles (a, b, c), de la hauteur des individus (d, e, f), du type d'individu (a, b, e, f) et des individus (g) à la station de Tigounatine	67

Figure 37 : Aiguilles abîmées à leurs extrémités (AE) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et d'individu (c) à la station de Tikjda centre.....	69
Figure 38 : Aiguilles abîmées à leurs extrémités (AE) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et d'individu (c) à la station de Tala-Rana.....	70
Figure 39 : Décoloration de la moitié (A) ou de la totalité (B) d'une des deux aiguilles de certains fascicules de pin noir.....	70
Figure 40 : Décoloration entière ou partielle des aiguilles (AM) en fonction de l'âge des aiguilles (a, b, c), de la hauteur des individus (d, e, f), du type d'individu (a, b, e, f) et des individus (g) à la station de Tigounatine	72
Figure 41 : Décoloration entière ou partielle des aiguilles (AM) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (c) à la station de Tikjda centre.....	73
Figure 42 : Décoloration entière ou partielle des aiguilles (AM) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (c) à la station de Tala-Rana	74
Figure 43 : Décoloration des aiguilles de pin noir sous forme d'une bande circulaire, A : jaune ; B : virage du jaune au rouge-marron ; C : rouge-marron avec des bordures jaunes....	75
Figure 44 : décoloration sous forme de bandes jaunes (DBJ) en fonction de l'âge des aiguilles (a, b, c), de la hauteur des individus (d, e, f), du type d'individu (a, b, e, f) et des individus (g) à la station de Tigounatine	76
Figure 45 : Décoloration sous forme de bandes jaunes (DBJ) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (c) et des individus (g) à la station de Tikjda centre	78
Figure 46 : Décoloration sous forme de bandes jaunes (DBJ) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (c) et des individus (g) à la station de Tala-Rana	79
Figure 47 : Décoloration sous forme de bandes rouge-marron (DBM) en fonction de l'âge des aiguilles (a, b, c), de la hauteur des individus (d, e, f), du type d'individu (a, b, e, f) et des individus (g) à de la station de Tigounatine	80
Figure 48 : Décoloration sous forme de bandes rouges-marrons (DBM) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et de l'individu (c) à la station de Tikjda centre	82
Figure 49 : Décoloration sous forme de bandes rouges-marrons (DBM) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (c) à la station de Tala-Rana	82
Figure 50 : Décolorations sur les aiguilles de pin noir sous forme de taches circulaires transparentes, observées sur la face dorsale (A) et sur la face ventrale (B).....	83
Figure 51 : Décoloration sous forme de bandes transparentes (DBT) en fonction de l'âge des aiguilles (a, b, c), de la hauteur des individus (d, e, f), du type d'individu (a, b, e, f) et des individus (g) à la station de Tigounatine	84
Figure 52 : Décoloration sous forme de bandes transparentes (DBT) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et d'individu (d) à la station de Tikjda centre	86
Figure 53 : Décoloration sous forme de bandes transparentes (DBT) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (d) à la station de Tala-Rana	86

Figure 54 : Décoloration sous forme d’anneaux noirs.....	87
Figure 55 : la rouille, une déchirure qui touche presque toute la surface de l’aiguille	88
Figure 56 : Pourcentage d’apparition des symptômes de décoloration sur les aiguilles de pin noir	89
Figure 57 : Pourcentage d’apparition des symptômes de décoloration sur les aiguilles de pin noir des semis et adultes de la station de Tigounatine	90
Figure 58 : Analyse en Composantes Principales des variables	92
Figure 59 : Le dendrogramme	92
Figure 60 : Représentation sur le plan factoriel F1xF2 du dendrogramme	92
Figure 61 : Coupe anatomique d’une aiguille asymptomatique de Pin noir sans coloration (G.x100).....	94
Figure 62 : Coupe microscopique sans coloration d’une aiguille symptomatique observée au microscope optique.....	94
Figure 63 : Coupe microscopique avec coloration à la vanilline d’une aiguille symptomatique observée au microscope optique.....	94
Figure 64 : Observation des coupes des aiguilles de pin noir présentant une décoloration sous forme de marbrures au microscope confocal.....	95
Figure 65 : variations temporelles des teneurs en ozone dans les trois stations d’études, Tigounatine, Tikjda centre et Tala Rana durant les 6 mois d’analyse.....	96
Figure 66 : Variations spatiales (Moyenne ± Ecart-type) des teneurs en O ₃ (ug/m ³) dans les trois stations Tigounatine, Tikjda centre et Tala-Rana durant les 6 mois d’analyse.....	97
Figure 67 : <i>Eulachnus tuberculostemmatum</i> (Theobald, 1915), identifié sur les aiguilles du <i>Pinus nigra</i> subsp. <i>mauretanica</i> dans le Parc National du Djurdjura.....	101
Figure 68 : Évolution du symptôme « bandes jaunes » en « bandes rouges-marrons » sur les aiguilles de <i>Pinus nigra</i> Arnold <i>mauretanica</i> dans le Parc National du Djurdjura	110
Figure 69 : Évolution du symptôme « bandes jaunes » en « bandes rouges-marrons » sur les aiguilles de <i>Pinus radiata</i> au Chili (Barnes et al., 2004)	110
Figure 70 : stades d’évolutions possibles d’une attaque de champignon « <i>Dothistroma septosporum</i> » sur les aiguilles de pin noir du Djurdjura	127

Liste des tableaux

Tableau I : Localisation et caractéristiques principales des stations d'études	6
Tableau II : Températures et précipitations moyennes des stations d'études (1996-2016) ...	12
Tableau III : Le quotient pluviothermique d'Emberger	13
Tableau IV : Nombre d'aiguilles analysées au niveau de chaque station en fonction de certains paramètres.....	33
Tableau IV (suite) : Nombre d'aiguilles analysées au niveau de chaque station en fonction de certains paramètres.....	34
Tableau V : Matrice des corrélations des symptômes	91
Tableau VI : Les teneurs en ozone dans les trois stations d'études, Tigounatine, Tikjda centre et Tala-Rana au Parc National du Djurdjura durant les 6 mois d'analyses	97
Tableau VII : Comparaison des résultats concernant l'ozone.....	116

Table des matières

Abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction 1

Chapitre I : Présentation de la région d'études et du modèle biologique

1. Présentation de la région d'études.....	5
1.1. Situation géographique.....	5
1.2. Géologie.....	6
1.3. Pédologie.....	7
1.4. Climat.....	8
1.4.1. Températures.....	8
1.4.2. Précipitations.....	9
1.4.3. Précipitations saisonnières	10
1.5. Autres facteurs climatiques.....	11
1.5.1. Neige	11
1.5.2. Vent	11
1.6. Synthèse climatique	11
1.6.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gaussen.....	11
1.6.2. Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger	12
1.7. Flore	14
2. Présentation du modèle biologique.....	16
2.1. Systématique du pin noir	16
2.2. Caractères morphologiques et anatomiques du pin noir.....	17
2.2.1. Caractères morphologiques.....	17
2.2.2. Caractères anatomiques.....	20
2.3. Phénologie du Pin noir.....	21
2.4. Aire naturelle du pin noir.....	22
2.5. Le pin noir hors de son aire naturelle.....	24
2.6. Écologie du pin noir.....	25
2.6.1. Répartition en altitude	25

2.6.2. Exigences climatiques	25
2.6.3. Substrat.....	25
2.6.4. Groupements végétaux du pin noir	26
2.7. Facteurs biotiques et abiotiques influençant la santé du pin noir.....	27
2.7.1. Régénération	27
2.7.2. Pâturage	27
2.7.3. Tourisme	27
2.7.4. Pollution	28
2.7.5. Insectes et champignons	28
2.7.6. Incendies.....	29
Chapitre II : Matériels et méthodes.....	30
1. Présentation des stations d'études.....	30
2. Matériels.....	30
3. Méthodes.....	31
3.1. Caractérisation des décolorations des aiguilles chez le pin noir.....	31
3.1.1. Préparation des échantillons	31
3.1.2. Caractérisation anatomique	38
3.1.2.1. Stéréo microscope	38
3.1.2.2. Microscope optique	38
3.1.2.3. Microscope à fluorescence.....	38
3.2. Recherche des causes de décolorations des aiguilles du pin noir	39
3.2.1. Causes abiotiques possibles : l'ozone (O ₃).....	39
3.2.2. Causes biotiques possibles : les insectes.....	40
3.3. Traitement statistique	41
3.3.1. Paramètres descriptifs.....	41
3.3.2. Analyse en composantes principales (ACP).....	41
Chapitre III : Résultats et discussion.....	43
1. Résultats.....	43
1.1. Caractérisation des décolorations des aiguilles chez le pin noir.....	43
1.1.1. Caractérisation morphologique	43
1.1.1.1. Symptôme 1 : Décoloration sous forme de marbrures chlorotiques.....	45
1.1.1.1.1. Décoloration selon l'âge des aiguilles.....	45
1.1.1.1.2. Décoloration des faces dorsale et ventrale des aiguilles.....	48

1.1.1.1.3. Symptôme 2 : Aiguilles marrons d'un côté	52
1.1.1.2. Symptôme 3 : Décolorations jaunâtres	56
1.1.1.3. Symptôme 4 : Décoloration sous forme de points d'impacts marrons	61
1.1.1.4. Symptôme 5: Aiguilles abîmées à leurs extrémités.....	66
1.1.1.5. Symptôme 6 : Décoloration entière ou partielle des aiguilles	70
1.1.1.6. Symptôme 7 et 8 : Décolorations sous forme de bandes circulaires jaunes et rouges-marrons	75
1.1.1.7. Symptôme 9 : décoloration sous forme de bandes transparentes.....	83
1.1.1.8. Divers symptômes peu fréquents.....	87
1.1.1.9. Synthèse des résultats liés à la caractérisation morphologique des symptômes observés sur les aiguilles de pin noir du Parc National du Djurdjura.....	88
1.1.1.10. Étude des corrélations entre les différents symptômes par analyse en composantes principales (ACP).....	90
1.1.2. Caractérisation anatomique.....	93
1.1.2.1. Microscope photonique.....	93
1.1.2.2. Microscope à fluorescence.....	95
1.2. Causes abiotiques et biotiques des décolorations des aiguilles de pin noir	96
1.2.1. Cause abiotique possible : La pollution à l'ozone.....	96
1.2.2. Causes biotiques possibles : Les Aphides	98
1.2.2.1. Systématique d' <i>Eulachnus tuberculostemmatum</i>	98
1.2.2.2. Description d' <i>Eulachnus tuberculostemmatum</i> (Theobald, 1915)	98
2. Discussion.....	102
2.1. Caractérisation des décolorations des aiguilles chez le pin noir.....	102
2.1.1. Caractérisation morphologique.....	102
2.1.1.1. Symptôme 1 : Décoloration sous forme de marbrures chlorotiques.....	102
2.1.1.2. Symptôme 2 : Décoloration des aiguilles sur un côté.....	105
2.1.1.3. Symptôme 3 : Décolorations jaunâtres.....	106
2.1.1.4. Symptômes 4 et 5 : décolorations sous forme de points d'impacts marrons et aiguilles abîmées à leurs extrémités.....	108
2.1.1.5. Symptômes 6 à 9.....	108
2.1.1.6. Symptômes peu fréquents.....	113
2.1.1. Étude anatomique.....	114

2.2. Causes abiotiques et biotiques des décolorations des aiguilles de pin noir	115
2.2.1. Causes abiotiques possibles : La pollution à l’ozone.....	115
2.2.1.1. Sources de l’ozone.....	118
2.2.1.1.1. Sources artificielles de l’ozone	118
2.2.1.1.2. Sources naturelles de l’ozone.....	120
2.2.1.2. Sources anthropiques possibles de l’ozone dans le Parc National du Djurdjura.....	121
2.2.2. Causes biotiques possibles : Les Aphides	122
2.3. Étude des corrélations entre les différents symptômes par analyse en composantes principales (ACP).....	126
Conclusion	130
Références bibliographiques.....	133
Annexes	



Introduction

Introduction

Les forêts ont de nombreuses fonctions importantes pour l'activité économique, la conservation de la nature, la protection de l'environnement et les puits de carbone. Les forêts et les terres boisées de la région méditerranéenne couvrent environ 9 % de la superficie de la région et constituent un patrimoine naturel mondial unique en termes de diversité biologique (FAO, 2013).

La santé de ces forêts est un souci à l'échelle mondiale ; en effet des symptômes de décoloration d'aiguilles de conifères et de feuilles de feuillus ont été observés. Des études sur ces symptômes ont été lancées. Parmi elles, nous pouvons citer les travaux de Miller et Evans (1974), Soda et al.(2000), Dalstein et al. (2001, 2002, 2004, 2005a, 2005b, 2008), Vollenweider et Günthardt-Goerg (2005), Ulrich et al., (2006), Günthardt-Goerg et al., (2006), Sicard et al., (2010), Vollenweider et al., (2013) et Sicard et al., (2016).

La décoloration peut être d'origine abiotique ou biotique. Pour les origines abiotiques, nous pouvons citer la pollution par l'ozone (O₃) qui est très étudiée en Europe avec par exemple, les travaux de Dalstein et al. (2001, 2002, 2004, 2005a, 2005b, 2008) et de Ulrich et al., (2006) qui font partie du Groupe International d'Études des Forêts Sud-européennes (GIEFS), groupe qui étudie les effets de l'ozone en forêt méditerranéenne.

A partir de 2001, GIEFS et l'Office National des Forêts (ONF) se sont associés pour répertorier les symptômes d'ozone sur 36 des 102 placettes forestières du réseau RENECOFOR (Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers). La collaboration entre GIEFS et ONF a permis, dans le cadre des règlements européens n°3528/86 et 2152/2003 (Forest Focus) de tester et d'approfondir les méthodes proposées par le PIC « Forêt » (Convention de Genève sur la pollution transfrontière à longue distance) sur une sélection de sites du réseau RENECOFOR.

L'étude a été faite sur plusieurs espèces de feuillus et de conifères tels que : les hêtres, le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), le sapin blanc (*Abies alba*), le douglas (*Pseudotsuga menziesii*) l'épicéa commun (*Picea abies*) le pin maritime (*Pinus pinaster*), le pin laricio de Corse (*Pinus nigra laricio corsicana*) et le pin d'Alep (*Pinus halepensis*).

Il existe d'autres origines abiotiques telles que la sécheresse, le gel et une insuffisance minérale (Lee, 1968) ainsi que la pollution par les métaux lourds dans les sols et les feuilles

(Vollenweider et *al.*, 2011), les dépôts acides (Neiryneck et *al.*, 2002)) et les incendies (Santolamazza-Carbone et *al.*, 2011).

Pour les origines biotiques, il y a les attaques d'insectes (Stolte, 1996 ; Vollenweider et Günthardt-Goerg, 2005), de champignons (Eldridge et *al.*, 1980 ; Brown et *al.*, 2003 ; Barnes et *al.*, 2004 ; Bednářová et *al.*, 2006 ; Mullett, 2014 ; Koukol et *al.*, 2015) et de bactéries (Günthardt-Goerg et Vollenweider, 2007).

Sicard et *al.* (2016), rapportent qu'en Europe, la défoliation et la décoloration de la couronne sont une réponse à différents facteurs biotiques et abiotiques, notamment les conditions climatiques, les parasites, les caractéristiques du site et les dépôts de polluants atmosphériques. Ils sont donc des paramètres aspécifiques, tandis que les lésions visibles de l'ozone foliaire sont spécifiques à l'O₃. En Europe, la surveillance des forêts s'est concentrée sur la défoliation et la décoloration de la couronne en tant qu'indicateurs de la santé et de la vitalité des forêts, tandis que les dommages foliaires visibles sont généralement les premiers marqueurs des niveaux phytotoxiques d'O₃. Les blessures ou les taches visibles peuvent être diagnostiquées par l'examen des feuilles ou des aiguilles et sont utiles pour la biosurveillance de la pollution à l'ozone.

En Europe, O₃ induisant des marbrures chlorotiques, des taches vert clair, des pointillés et une nécrose foliaire, ont été signalés pour les arbres forestiers et confirmés par analyse microscopique (Dalstein et Vas, 2005a).

La survenue de ces décolorations dépend de divers paramètres et interactions. Les espèces végétales doivent être (i) génétiquement prédisposées à l'O₃, (ii) dans des conditions environnementales optimales pour l'absorption d'O₃ (température, humidité, rayonnement solaire, teneur en eau du sol) et (iii) exposés aux niveaux ambiants d'O₃ qui dépassent le seuil requis pour l'occurrence de la décoloration. Les réponses à l'O₃ varient selon l'espèce, le génotype, la phénologie des plantes, l'âge de la feuille et la position dans la canopée et la disponibilité des nutriments.

Selon Scicard et *al.* (2010), un des problèmes majeurs de la société actuelle est d'appréhender les effets de la pollution sur l'environnement naturel et ses conséquences sur la sauvegarde, à plus ou moins long terme, du patrimoine végétal dans son ensemble. L'ozone figure parmi les polluants gazeux les plus impliqués dans les dégâts forestiers, même dans des zones de haute protection naturelle telles que les Parcs nationaux.

D'après la littérature citée déjà, les espèces les plus touchées par cette décoloration sont les conifères et parmi les plus atteints des conifères, il y'a le Pin d'Alep et le Pin noir. Ce dernier occupe une aire très vaste dans le bassin méditerranéen (Delevoy, 1949). Il constitue une des essences majeures des forêts méditerranéennes (Quezel et Medail, 2003).

En Afrique du nord, *Pinus nigra* Arnold ssp. *mauretanica* Maire et Peyer, ne se trouve que dans quelques stations du Rif occidental au Maroc et quelques centaines de pieds existent mélangés au cèdre dans le Djurdjura, en Algérie.

En Algérie, après des sorties de prospection sur le terrain, nous avons découvert que cette sous espèce (*Pinus nigra* Arnold ssp *mauretanica* Maire et Peyer) endémique Algéromarocaine est présente dans les trois stations Tigounatine, Tikjda centre et Tala-Rana du Parc National du Djurdjura, est, elle aussi menacée par ce problème de décoloration qui apparait sur ses aiguilles.


Cette sous espèce a fait l'objet de certains travaux, les premiers sont ceux de ferret (1946) et de Delevoy (1949) qui ont fait une comparaison en se basant sur les caractéristiques des aiguilles. D'autres travaux ont été réalisés, comme ceux de Chalabi (1980) sur son écologie, de Boutamine (1987) sur la structure et la dynamique du peuplement, de Asmani (1988) et de Adjaoud et Aidrous (1992) sur sa bio-systématique, de Asmani (1993) sur sa phénologie et de Adjaoud (2005) sur sa variabilité morphologique et physiologique des graines (germination).

Concernant l'aspect sanitaire des aiguilles du Pin noir du Parc National du Djurdjura, le seul travail mené à ce jour est l'étude que nous avons réalisé en 2010 et intitulée « 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)».

Dans le but de continuer cette recherche, nous avons réalisé cette thèse de doctorat dans laquelle nous avons essayé de caractériser la décoloration des aiguilles et chercher à comprendre la survenue et la progression de cet aspect pathologique responsable de la sénescence des aiguilles dans le Parc National du Djurdjura (Algérie). Ainsi, nous avons adopté un plan formé de trois chapitres:

- Chapitre I : présentation de la région d'étude et du modèle biologique, le pin noir ;

- Chapitre II : matériels et méthodes d'étude utilisés;
- Chapitre III : Résultats et discussions. Dans ce chapitre nous avons:
 - Caractérisé les différents types de décolorations ou « symptômes »,
 - Étudié l'évolution de ces symptômes selon l'âge des aiguilles, l'individu, l'exposition Nord/Sud des arbres et selon la hauteur de l'arbre par rapport au sol,
 - Observé l'effet de cette décoloration sur l'anatomie des aiguilles,
 - Décrit une des causes abiotique de cette décoloration qui est la pollution par l'ozone puis dosé l'ozone durant une période de 6 mois,
 - Décrit une des causes biotiques de cette décoloration à savoir les insectes, prenant l'exemple des pucerons (Aphides) et des cochenilles.



Présentation de la région d'études et du modèle biologique

1. Présentation de la région d'études

1.1. Situation géographique

L'étude a été réalisée dans trois stations de pin noir situées sur le versant sud du massif montagneux du Djurdjura : Tigounatine, Tikjda centre et Tala-Rana. Sur le plan administratif, elles font partie de la wilaya de Bouira (Fig. 1).

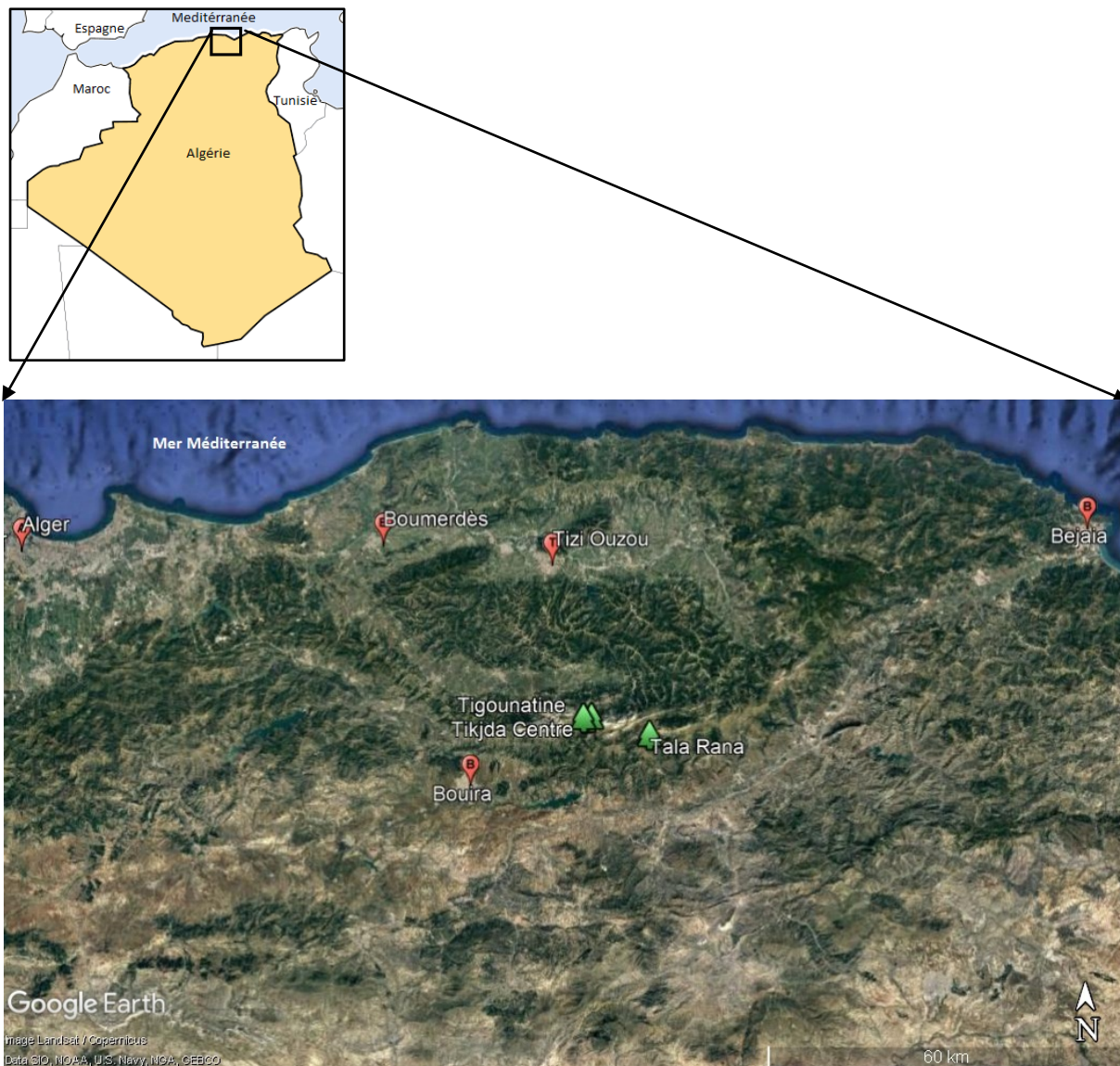


Figure 1 : Localisation des stations d'études

Tigounatine et Tikjda centre correspondent à l'aire naturelle actuelle du pin noir tandis que Tala-Rana représente une plantation.

Tikjda centre et Tigounatine appartiennent au secteur de Tikjda et correspondent respectivement aux expositions sud et nord-ouest d'un même massif et sont proches entre elles (1.5 kms). Tala-Rana appartient au secteur forestier de même nom et se trouve au sud-est des deux premières stations à 10 kms à vol d'oiseau.

Tikjda centre et Tigounatine sont localisées à des altitudes plus élevées que Tala-Rana (Tab. I). À Tigounatine, le pin noir est représenté par environ 445 pieds entre adultes et semis. À Tikjda centre, le nombre de sujets est de 10 arbres. Au sein de la plantation de Tala-Rana, selon les Services Forestiers de la wilaya de Bouira, il reste environ 30 arbres sur 70 en raison des incendies répétés.

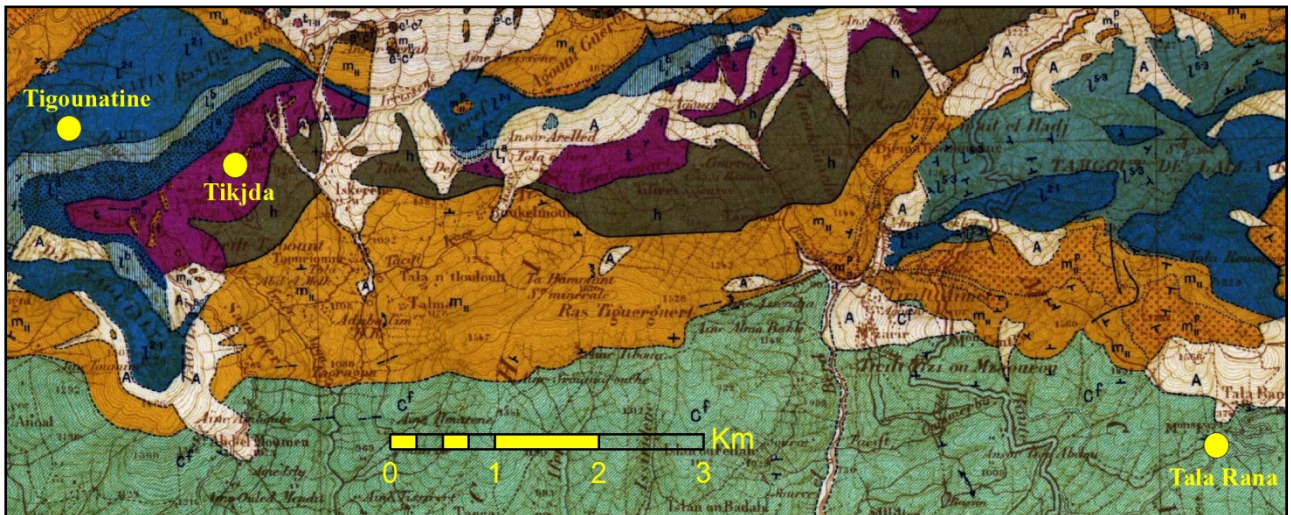
Tableau I : Localisation et caractéristiques principales des stations d'études

Stations	Latitude	longitude	Altitude (m)	Exposition	Peuplement	Nombre total de sujets/station
Tigounatine	36° 27' N	4° 06' E	1450 - 1610	Nord-Ouest	Naturel	445
Tikjda centre	36° 26' N	4° 07' E	1450 - 1550	Sud	Naturel	10
Tala-Rana	36° 25' N	4° 13' E	1280	Sud	Artificiel	30

1.2. Géologie

Le massif du Djurdjura est constitué de terrains sédimentaires fortement plissés et fracturés. Une partie des terrains s'est formée dans le courant de l'ère primaire, mais la plupart appartient aux ères secondaire et tertiaire (Flandrin, 1947 *in* Krouchi, 2010). L'axe de la chaîne du Djurdjura est formé par des calcaires liasiques durs et compacts, en bancs fortement redressés. L'assise inférieure est dolomitique. À la partie supérieure, au contraire, les calcaires deviennent marneux puis, remplacés par les marnes (Lapie, 1909).

Selon Flandrin (1952), le substrat géologique est dominé par des calcaires dolomitiques à Tigounatine, des grès rouges à Tikjda centre et par des schistes et quartzites à Tala-Rana (Fig. 2).



- Flysch crétacé de la bordure sud du Djurdjura, schistes et quartzites, avec bancs de microbrèches et decalcaires.
- Trias, grès rouge, calcaires dolomitiques, calcaires vermicules, calcaires jaunâtres fossilifères.
- Lias inférieur, calcaires massifs, parfois dolomitisés.

Figure 2 : Géologie et lithologie de la région d'étude selon Flandrin (1952) modifié par Bouahmed (2016).

1.3. Pédologie

Selon Benmouffok (1994), les sols développés dans le site de Tigounatine sont peu évolués et appartiennent à la classe des sols calcimagnésiques. Ce sont des rendzines autochtones riches en éléments grossiers. La texture est limono-sableuse à sablo-limoneuse. Les profils sont de type A/C, humifères sur toute l'épaisseur du profil. Les teneurs en matières organiques sont élevées. Ceci peut s'expliquer par la nature de la roche mère, génératrice de calcaire actif qui immobilise les composés organiques, et par la nature de la litière.

Les prélèvements du sol, que nous avons réalisés dans la réserve intégrale de Tigounatine en 2009 (Hedjam 2010) à l'aide d'une tarière pédologique, aux pieds de quelques arbres, en prélevant jusqu'à une profondeur de 10 cm (selon la disponibilité du sol sous chaque arbre), indiquent un sol à texture limoneuse-Fine, à pH neutre de 7,31, un rapport C/N de 19,57 (< 20 indique une activité biologique intense selon krouchi 2010), un taux de matière organique important de 12,91 %, un taux de carbone de 6,45 %, une capacité d'échange cationique de 26,65 % et enfin un taux de calcaire de 43,25 %, ce qui signifie que près de 50 % de la fraction du sol est constituée de calcaire.

1.4. Climat

En raison du manque de données climatiques lié à l'absence de stations météorologiques au Parc National du Djurdjura, nous avons utilisé la méthode d'extrapolation proposée par Seltzer (1946) à partir des données climatiques de la ville de Bouira, située à une altitude de 555 m pour la période 1996-2016, soit une période de 21 ans.

1.4.1. Températures

A l'aide de nos résultats et après extrapolation, selon la méthode de Seltzer (1946), les valeurs des températures mensuelles enregistrées au niveau des stations d'études pendant les 21 ans (1996 à 2016) sont représentées dans la figure 3 et l'annexe 1. Le mois le plus froid à Tigounatine et Tikjda centre est Février avec une température moyenne minimale de $-0,7^{\circ}\text{C}$. Le mois de Juillet a été le mois le plus chaud avec une température moyenne maximale de $30,0^{\circ}\text{C}$. Pour Tala-Rana, le mois le plus froid est Février avec une température moyenne minimale de $0,2^{\circ}\text{C}$ et le mois le plus chaud est Juillet avec une température moyenne maximale de $31,6^{\circ}\text{C}$.

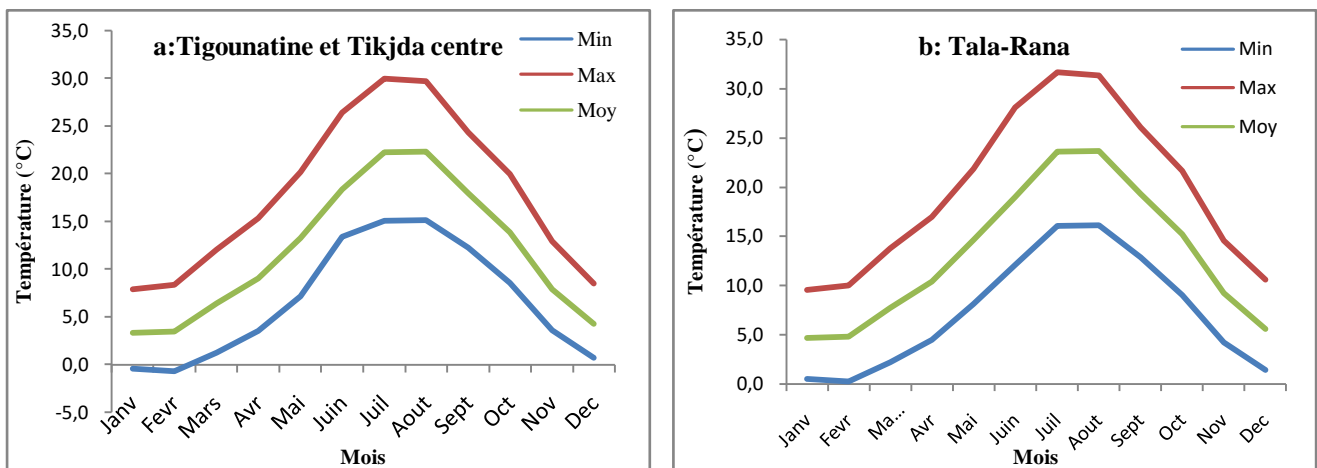


Figure 3: Températures minimales et maximales et moyennes mensuelles des températures (période : 1996 à 2016) : **a** : Tigounatine et Tikjda centre ; **b** : Tala-Rana.

1.4.2. Précipitations

Afin d'estimer les précipitations que peut recevoir la région du Djurdjura, les données de la station de Bouira enregistrées pour la période située entre 1996-2016 sont rectifiées en utilisant la méthode de Seltzer (1946), qui met en évidence une relation entre la pluviosité (P) et l'altitude (h), à l'aide des courbes d'accroissement de la pluie (Fig. 4), avec la formule : $N_i = A \times B / X$

N_i : Valeur à ajouter pour chaque mois.

A : accroissement de la pluie obtenue par la projection graphique.

B : Valeur des précipitations mensuelles.

X : Total des précipitations de l'année ou de la période.

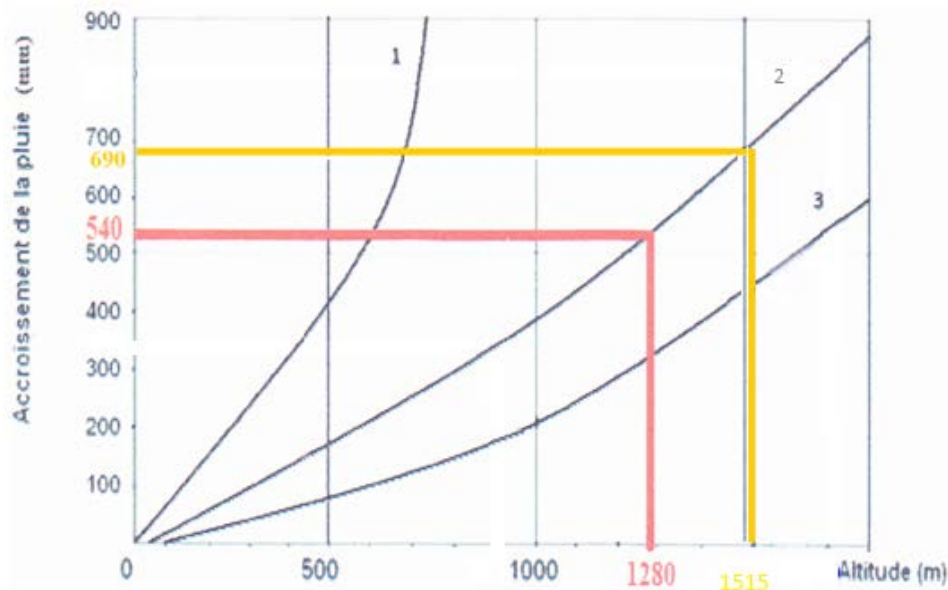


Figure 4: Courbe d'accroissement de la pluie selon Seltzer (1946).

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

Les données pluviométriques des stations d'études après extrapolation sont présentées dans la figure 5 et l'annexe 2.

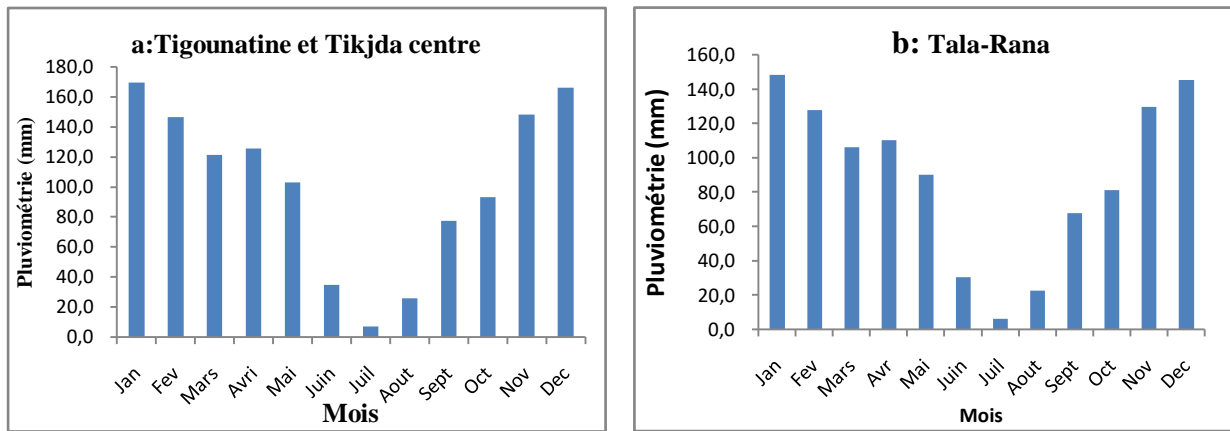


Figure 5 : Pluviométrie moyenne mensuelle des stations d'études pendant la période 1996 à 2016. **a** : Tigounatine et Tikjda Centre ; **b** : Tala-Rana.

Des résultats obtenus, nous constatons que 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 Aout (Fig. 5a).

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 Aout (Fig. 5b).

Derridj (1990), en se basant sur la même méthode d'extrapolation, avait estimé la tranche de pluie annuelle à 1126 à 1420 mm/an dans le Djurdjura méridional.

1.4.3. Précipitations saisonnières

Le régime saisonnier des trois stations Tigounatine, Tikjda centre et Tala-Rana, situées dans le Parc National de Djurdjura est de type HPAE selon nos calculs à partir des données de la station de Bouira, où l'hiver présente une concentration des pluies et l'été est la saison la plus sèche.

Le même constat a été fait dans la région d'étude par Derridj (1990), Krouchi (2010) et Meddour (2010).

1.5. Autres facteurs climatiques

1.5.1. Neige

La neige est souvent présente dans le Djurdjura. Seltzer (1946) rapporte une moyenne d'enneigement de 28 jours par an à seulement 1 100 m d'altitude. Quézel (1957 *in* Benmouffok, 1994) avait noté une épaisseur de 2 à 4 m au versant nord. Benmouffok (1994) avait signalé 15 à 20 jours de neige par an, avec une épaisseur de 0,3 à 2 m dans les sites élevés. Selon Abdesselam (1995 *in* Krouchi, 2010) 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 durant quatre mois.

1.5.2. Vents

D'une manière générale, deux vents dominants caractérisent le versant Sud du Djurdjura, d'orientation Ouest et Sud-Ouest. Le premier souffle en automne et en hiver, il est porteur d'humidité et de neige. Le second, appelé communément Sirocco, souffle dès la fin du printemps et durant l'été accentuant ainsi le dessèchement du sol et l'évapotranspiration des végétaux (Benmouffok, 1994).

1.6. Synthèse climatique

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gaussen ainsi que le quotient pluviothermique d'Emberger sont les approches les plus utilisées couramment pour l'établissement d'une synthèse climatique afin de caractériser le climat d'une région donnée.

1.6.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gaussen

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gaussen est une méthode graphique très répandue pour déterminer les périodes sèche et pluvieuse de l'année. Sur ce diagramme, les températures moyennes mensuelles (T en °C) et les précipitations (P en mm) sont portées en ordonnées (avec $P = 2T$) et les mois en abscisses.

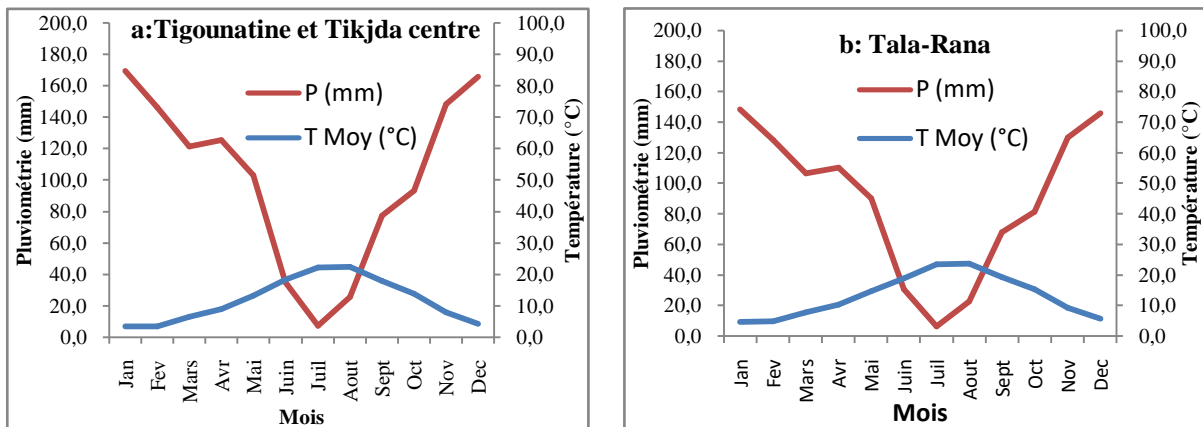
La surface du polygone (Fig. 6), issu du croisement des deux courbes (précipitations et températures) représente l'intensité et la durée de la saison sèche. Cette période correspond aux mois secs où la courbe des précipitations est située en dessous de celle des températures.

Les moyennes des températures et précipitations mensuelles de la station d'études pour la période allant de 1996 à 2016 sont illustrées dans le tableau II.

Tableau II : Températures et précipitations moyennes des stations d'études (1996-2016)

Stations		Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Tigounatine et Tikjda centre	T Moy (°C)	3,4	3,5	6,4	9,1	13,3	18,4	22,2	22,3	18,0	13,9	7,9	4,3
	P (mm)	169,3	146,2	121,2	125,5	103,0	34,8	7,3	25,8	77,4	93,1	148,1	165,9
Tala-Rana	T Moy (°C)	4,7	4,8	7,7	10,4	14,6	19,0	23,5	23,6	19,3	15,2	9,2	5,6
	P (mm)	148,3	128,0	106,5	110,4	90,1	30,4	6,4	22,7	67,8	81,5	129,9	145,6

D'après le diagramme ombrothermique des stations d'étude (Fig. 6), la période sèche est d'environ 03 mois, pour les trois stations Tigounatine, Tikjda centre et Tala-Rana, 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. Benmouffouk en 1994 a obtenu les mêmes résultats dans la partie sud du Djurdjura.



: Période sèche

Figure 6 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gausson des stations d'études pendant la période 1996 à 2016. **a** : Tigounatine et Tikjda Centre ; **b** : Tala-Rana.

1.6.2. Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger

Le quotient pluviothermique (**Q2**) d'Emberger est classiquement utilisé pour le classement d'une région dans un étage bioclimatique. Il permet la mise en évidence du taux de sécheresse d'une station. Plus le quotient est réduit plus le climat est sec. Les paramètres pris en considération pour le calcul de cet indice sont :

- la moyenne annuelle des précipitations (P en mm) ;
- la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (M en °K) ;
- la moyenne des températures minimales du mois le plus froid (m en °K) ;

Le quotient **Q2** s'écrit comme suit : $Q2 = 1000 * P / ((M+m) / 2) * (M-m)$

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

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

Selon les données climatiques présentées dans le tableau III pour la période 1996 – 2016, le quotient pluviothermique calculé (**Q3**) est égal à **136,1** pour Tigounatine et Tikjda centre et à **116,7** pour Tala-Rana.

Tableau III : Le quotient pluviothermique d'Emberger

station	altitude (m)	P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q3
Tigounatine et Tikjda Centre	1515	1217,7	30,0	-0,7	136,1
Tala-Rana	1280	1067,5	31,6	0,2	116,7

D'après les résultats des quotients pluviothermiques et après projection sur le climagramme d'Emberger (Fig. 7), les stations Tigounatine et Tikjda centre sont situées dans l'étage bioclimatique humide à variante froide et Tala-Rana dans l'étage bioclimatique humide à variante fraîche. Ceci a été déjà constaté par Benmouffok en 1994 alors que Derridj en 1990, Messaoudène et *al.* en 2004 et Meddour en 2010 avaient observé que le bioclimat est perhumide à hiver frais dans la zone de Tikjda.

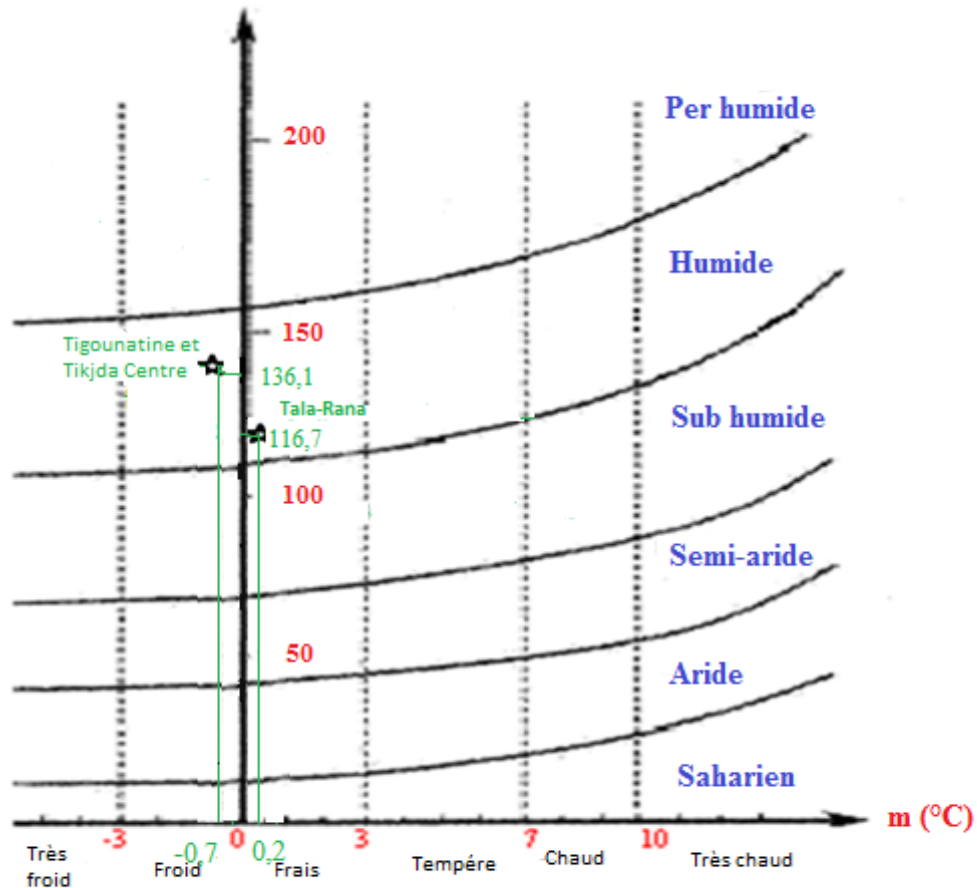


Figure 7 : Situation des stations d'étude dans le climagramme d'Emberger.

1.7. Flore

Selon Tafer et Zergane (1994), le pin noir de Tikjda ne forme pas de groupement végétal qui lui est propre mais fait plutôt partie du cortège floristique du cèdre qui forme à Tikjda l'association « *Senecio perralderiani - Cedretum atlanticae* » comprenant trois sous-associations qui s'individualisent du point de vue dynamique ou selon l'orientation. Le pin noir de Taouilet fait partie de la cédraie mésophile forestière (*Senecio-Cedretum* sous-association à *Potentilla micrantha*) ; celui de Tigounatine nord-ouest de la cédraie mésophile préforestière (*Senecio-Cedretum* sous-association à *Juniperus hemisphaerica*), et celui de Tikjda-centre, situé sur le revers sud de Tigounatine, fait partie de la cédraie thermophile à chêne vert (*Senecio-Cedretum* sous-association à *Satureja vulgaris*).

Dans la station ou plutôt la réserve de pin noir de Tigounatine le couvert arborescent est constitué de 3 espèces majeures qui sont *Cedrus atlantica*, *Quercus rotundifolia* et *Pinus nigra ssp mauretana* auxquels s'ajoutent *Juniperus oxycedrus* à l'état arbustif, *Juniperus communis ssp. hemisphaerica* sous forme de tapis, et d'autres ligneux comme *Amelanchier ovalis*, *Cotoneaster racemiflora*, *Rosa sicula*. Dans les microstations ombragées on retrouve quelques ligneux comme *Lonicera kabylica* et *Daphne laureola* accompagnés d'espèces herbacées comme *Viola munbyana*, *Potentilla micrantha*, *Senecio perralderianus* et *Ruscus aculeatus*, *Phlomis bovei*. Dans les microstations dégagées on retrouve *Erinacea anthyllis*, *Ampelodesma mauritanica*, et par endroits *Artemisia absinthium*, *Eryngium tricuspidatum*, etc.

Dans la station de Tikjda-centre, orientée au sud, les arbres dominants sont le cèdre et le chêne vert auxquels se mélangent quelques pieds de pin noir. On y retrouve aussi *Juniperus oxycedrus* à l'état arbustif, d'autres ligneux comme *Daphne gnidium*, *Calycotome spinosa*, *Genista tricuspidata* ainsi que des herbacées comme *Satureja vulgaris* dominant, *Pulicaria odora*, *Cyclamen africanum*, *Galium rotundifolium*, *Geranium purpureum*, *Balansaea glaberrima*, *Phlomis bovei* et *Asphodelus microcarpus*.

Dans la station de Taouielt, au cèdre dominant s'ajoutent des pieds de pin noir, des érables (*Acer obtusatum*, et *A. monspessulanum*), le grand houx (*Ilex aquifolium*), le merisier (*Prunus avium*), l'Alisier torminal (*Sorbus torminalis*) et l'if (*Taxus baccata*).

2. Présentation du modèle biologique

2.1. Systématique du pin noir

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

Classification du pin noir selon Gaussen et *al.* (1982) :

- Règne des Plantes ;
- Embranchement des Spermaphytes ;
- Sous Embranchement des Gymnospermes ;
- Classe des Vectrices ;
- Ordre des Coniférales ;
- Famille des Pinaceae ;
- Genre : *Pinus* ;
- Espèce : *Pinus nigra* ;
- Sous espèce: *Pinus nigra* subsp *mauretanica*.

Classification de pin noir selon Cronquist (1988):

- Règne : Plantae;
- Sous-règne : Viridaplantae;
- Division : Pinophyta ;
- Classe : Pinopsida ;
- Ordre : Pinales ;
- Famille : Pinacées ;
- Genre : *Pinus* ;
- Espèce : *nigra* .

La sous espèce *mauretanica* fait partie des six sous-espèces principales qui sont la subsp. *salzmanii* (Dunal), la subsp. *laricio* (Poire), la subsp. *nigra* (inclus *P. austriaca* Hoes et *P. nigricans* Host), la subsp. *dalmatica* (vis) et la subsp. *pallasiana* (Lamb).

2.2. Caractères morphologiques et anatomiques du pin noir

2.2.1. Caractères morphologiques

Le genre *Pinus* a des caractères morphologiques mal définis en raison de la variabilité de ses espèces. Si les types extrêmes se distinguent assez bien, il est entre eux des intermédiaires nombreux formant une série qu'il est difficile de scinder. Il est même possible que ces caractères puissent se modifier dans les cultures (Delevoy, 1949). Les arbres des différentes sous-espèces du Pin noir ont en commun les caractères suivants :

- le pin noir (*Pinus nigra* Arnold) peut atteindre jusqu'à 30, voire 40 ou 50 m de hauteur. Son tronc est généralement droit, recouvert d'une écorce gris clair à gris-brun foncé (Isajev et al., 2003). Écailleuse dès la jeunesse, cette dernière se crevasse, puis, se divise en plaques sur les sujets plus âgés (Seigue, 1985). Elle est profondément sillonnée longitudinalement sur les vieux arbres (Isajev et al., 2003). Pour le pin noir du Djurdjura, la hauteur varie entre 20 et 30 m et peut atteindre 45 m pour un tronc de 1,8 m de diamètre (Asmani, 1993). L'écorce est sombre, en plaques grisâtres et épaisses (Chalabi, 1980) (Fig. 8A ; Fig. 8B ; Fig. 8D et Fig. 8E).

- la couronne est largement conique sur les jeunes arbres, en forme de parapluie sur les arbres plus âgés, en particulier sur les sols rocailloux peu profonds. Toutes les extrémités des branches sont légèrement ascendantes sur les jeunes arbres, alors que sur les vieux arbres, seules les branches de la partie supérieure de la couronne ont des extrémités retroussées (Isajev et al., 2003) (Fig. 8C ; Fig.8D et Fig. 8E).

- les pseudophylles, appelées couramment aiguilles, sont groupées par deux. Leur longueur varie de 8 à 18 cm (Seigue, 1985), et ont 1 à 2 mm de diamètre (Isajev et al., 2003). L'épaisseur des aiguilles est de 1,5 à 2 mm (Delevoy, 1949). Elles sont droites ou courbées, finement dentelées (Seigue, 1985).

Dans le cas du pin noir du Djurdjura, les aiguilles (Fig. 8E) sont d'une longueur de 9,35 à 12,22 cm et de 1 à 1,5 mm de largeur de couleur vert clair, souples piquantes, droites ou un peu courbées (Adjaoud et Aidrous, 1992).

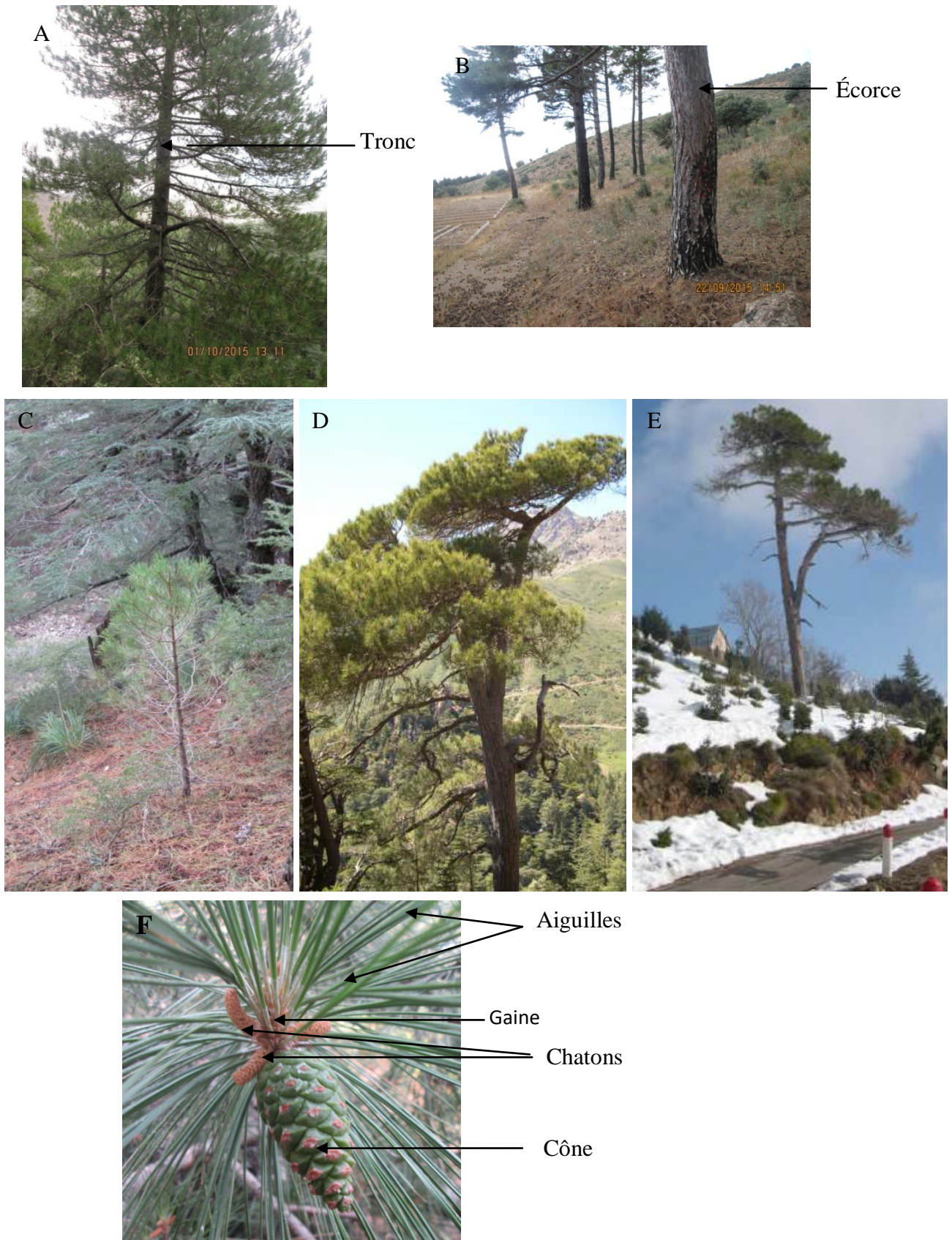


Figure 8 : Le pin noir du Djurdjura. A : Tronc, B : Écorce, C : Couronne conique du jeune individu, D et E : Couronne sous forme de parapluie d'un individu adulte (Derridj, Malte 2011), F : Aiguilles, Chatons et Cône du pin noir du Djurdjura (Hedjam, 2019).

- les bourgeons sont pointus, formés d'écaillés plus au moins appliquées ; ils sont un peu résineux (Seigue, 1985).

- Le nombre de canaux résinifères augmente en général avec l'âge des aiguilles et celui des arbres, des pousses latérales aux pousses terminales, du sommet à la base des aiguilles, des rameaux fertiles aux rameaux stériles et avec l'insolation des pousses. On trouve chez les divers *P. nigra* 2 à 14 canaux. Ces canaux sont distribués dans le parenchymes et sont rarement sous-épidermiques (Delevoy, 1949).

Dans le cas du pin noir du Djurdjura nous avons 9-14 canaux résinifères (Adjaoud et Aidrous, 1992).

- Les gaines de la base des feuilles sont persistantes, de 10 à 12 mm de long (Isajev et *al.*, 2003) (Fig. 8F).

- Les fleurs femelles sont groupées en un petit cône dressé à l'extrémité d'un rameau et porté par un court pédoncule (Isajev et *al.*, 2003). Il semble que les dimensions varient avec l'année et avec la station (Delevoy, 1949). A maturité, le cône est assez petit (5 à 8 cm de long). Il est formé d'écaillés d'un brun clair luisant (Seigue, 1985). Les cônes sont sessiles et disposés horizontalement. Ils mesurent 4-8 cm de long et 2-4 cm de large. Ils sont de couleur jaune-brun ou jaune clair et sont brillants. Ils mûrissent de septembre à octobre au cours de la deuxième année après pollinisation, et s'ouvrent la troisième année. Les cônes contiennent 30 à 40 graines, dont la moitié environ sont viables. Les graines sont grises, ayant 5 à 7 mm de long et portant une aile de 19 à 26 mm de long (Isajev et *al.*, 2003).

Pour le pin noir du Djurdjura, les cônes présentent une forme ovoïde (Fig. 8F), ils sont presque deux fois plus longs que larges, 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 fleurs mâles ou chatons sont de petits cônes agglomérés en épis denses (Fig. 8F). Chacun comporte un axe simple autour duquel sont disposées suivant une spirale très serrée de nombreuses feuilles sporangifères (étamines). Ces dernières portent à maturité deux sacs polliniques allongés qui, à maturité, s'ouvrent par une assise mécanique et laissant échapper les microspores ou grains de pollen que le vent entraîne (Guignard, 1983).

2.2.2. Caractères anatomiques

La coupe transversale des aiguilles du pin noir (Fig. 9) se compose de plusieurs tissus.

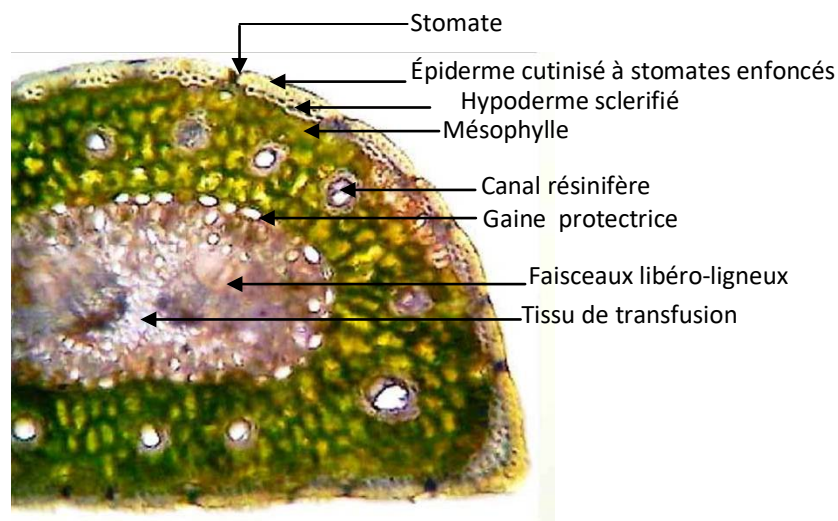


Figure 9 : Coupe anatomique d'une aiguille de Pin noir du Djurdjura (Hedjam, 2010)

- L'épiderme qui peut être relativement épais (au moins 3/100 mm d'épaisseur) est disposé en arc entre les stomates et est formé des cellules généralement rectangulaires, rarement carrées ou arrondies ou mince (moins de 3/100 mm d'épaisseur) non arqué entre les stomates, formé de cellules généralement carrées ou arrondies et très mince (moins de 2/100 mm d'épaisseur) à cellules peu épaissies.

- L'hypoderme ou tissu sous-épidermique. nous pouvons distinguer 1 à 5, généralement 2 à 4 rangées de cellules épaissies à très épaissies et 1 à 2 rangées de cellules épaissies à très peu épaissies, s'étendant en bande assez continue, à peine interrompu au niveau des stomates.

- Les stomates peuvent être
 - Petits et peu déprimés ;
 - Moyens et peu déprimés ;
 - Gros et déprimés.

- Les canaux résinifères : Ces canaux sont distribués dans le parenchyme et sont rarement sous-épidermiques. Comme nous l'avons déjà dit, il y a chez les divers *P. nigra* 2 à 14 canaux.

- Les éléments de soutien du cylindre central : A proximité des faisceaux libero-ligneux, nous remarquons des cellules à parois plus ou moins épaissies qu'elles soient considérées comme fibres ou comme collenchyme. On peut distinguer deux cas possibles:

- Les fibres, peu épaissies, sont soit absentes ou rares ou alors dispersées dans le parenchyme au dessus des faisceaux cribrovasculaires.
- Soit sont à peu près plus constantes et disposées soit en une file simple au-dessus des faisceaux cribrovasculaires, et généralement épaissies et pas de fibres sous les faisceaux ou en une file généralement doublée disposées au-dessus des faisceaux, très épaissies, avec absence de fibres sous les faisceaux, ou encore en une file simple, plus au moins continue au-dessus des faisceaux, souvent accompagnée de fibres dispersées sous les faisceaux, à parois épaissies (Delevoy, 1949).

2.3. Phénologie du Pin noir

Le pin noir est un conifère monoïque dont le pollen et les graines sont dispersés par le vent. Il fleurit chaque année mais la production de graines n'est abondante que tous les 2 à 4 ans. Les arbres atteignent leur maturité sexuelle vers 15-20 ans dans leur habitat naturel. Les fleurs apparaissent en Mai. Les inflorescences femelles sont rougeâtres alors que les chatons mâles sont jaunes. La fécondation se produit environ 13 mois après la pollinisation (Isajev et *al.*, 2003).

Le cycle phénologique du pin noir du Djurdjura s'étale sur environ deux années et un mois. Il commence par une reprise de l'activité végétative vers le mois de février, suivi de la maturité des chatons mâles et la libération du pollen vers le mois de Juin. Après pollinisation anémophile, les bractées des inflorescences femelles se referment et rentrent dans une période de lignification, aboutissant à l'automne à un cônelet de couleur brunâtre. Ce dernier entre en dormance jusqu'à la mi-mars. La deuxième année, il y a reprise de croissance du cônelet, qui prend au printemps une couleur verdâtre jusqu'à atteindre sa taille définitive. A la fin de l'été, le cône se lignifie. Vers la fin Février et début Mars (selon les années) il y a déhiscence du cône et libération des graines qui sont dispersées par le vent (anémochorie) (Fig. 10).

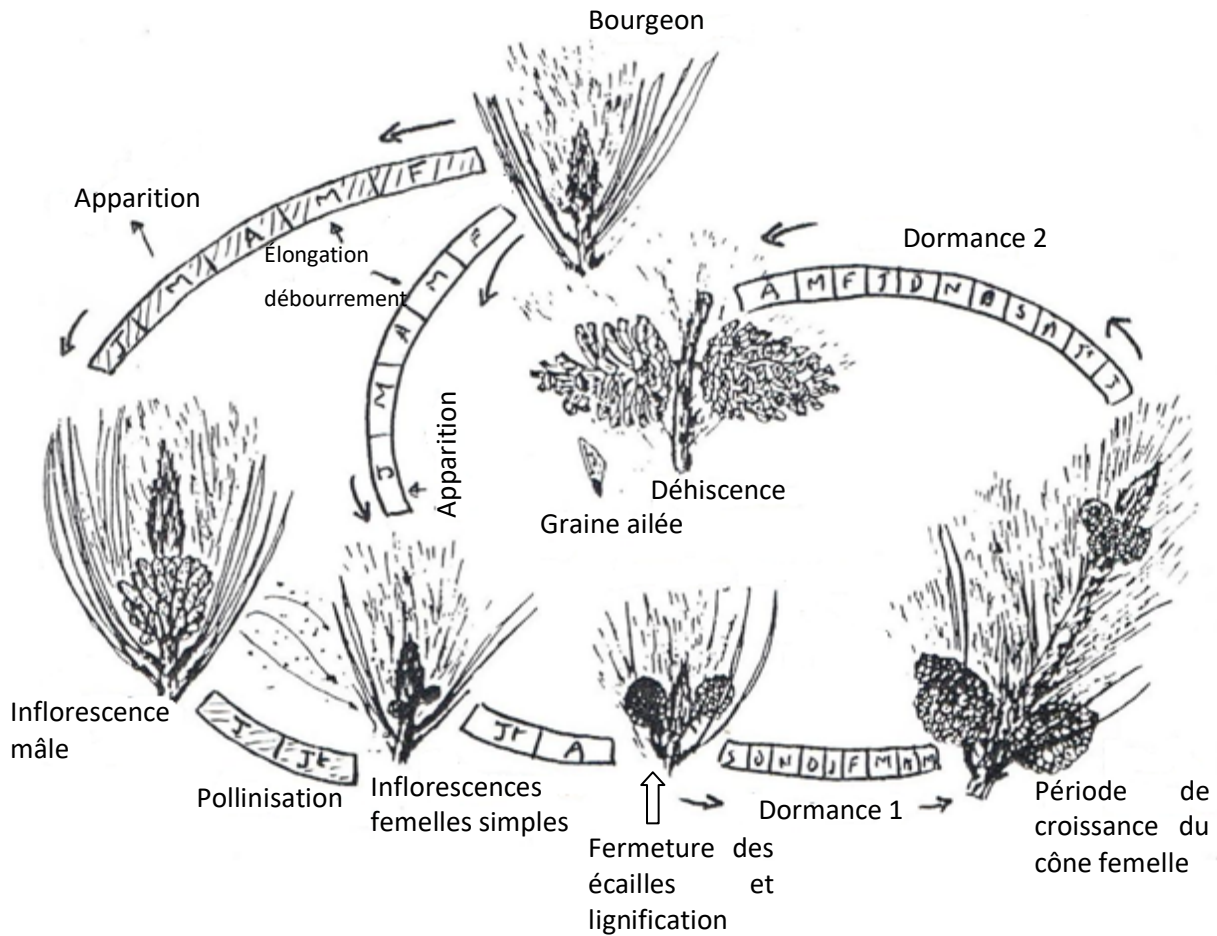


Figure 10 : Cycle de reproduction chez le pin noir du Djurdjura (Asmani, 1993 modifié par Hedjam, 2019)

2.4. Aire naturelle du pin noir

Sous le vocable *P. nigra* Arn, sont réunis divers pins, dont l'ensemble occupe une aire très vaste dans le bassin méditerranéen (Delevoy, 1949). Il constitue une des essences majeures des forêts méditerranéennes où il occupe environ 3 500 000 ha. Les peuplements sont d'une étendue très variable, de quelques ha (Algérie) à plusieurs milliers (Espagne) (Quezel et Medail, 2003).

Le pin noir est présent dans 13 pays répartis dans 3 continents (Europe, Asie, Afrique) (Quezel et Medail, 2003). S'étend des Pyrénées à l'ouest, jusqu'en Crimée et en Asie Mineure à l'est, de l'Autriche au nord jusqu'en Algérie et au Maroc au sud (Delevoy, 1949) (Fig. 11).

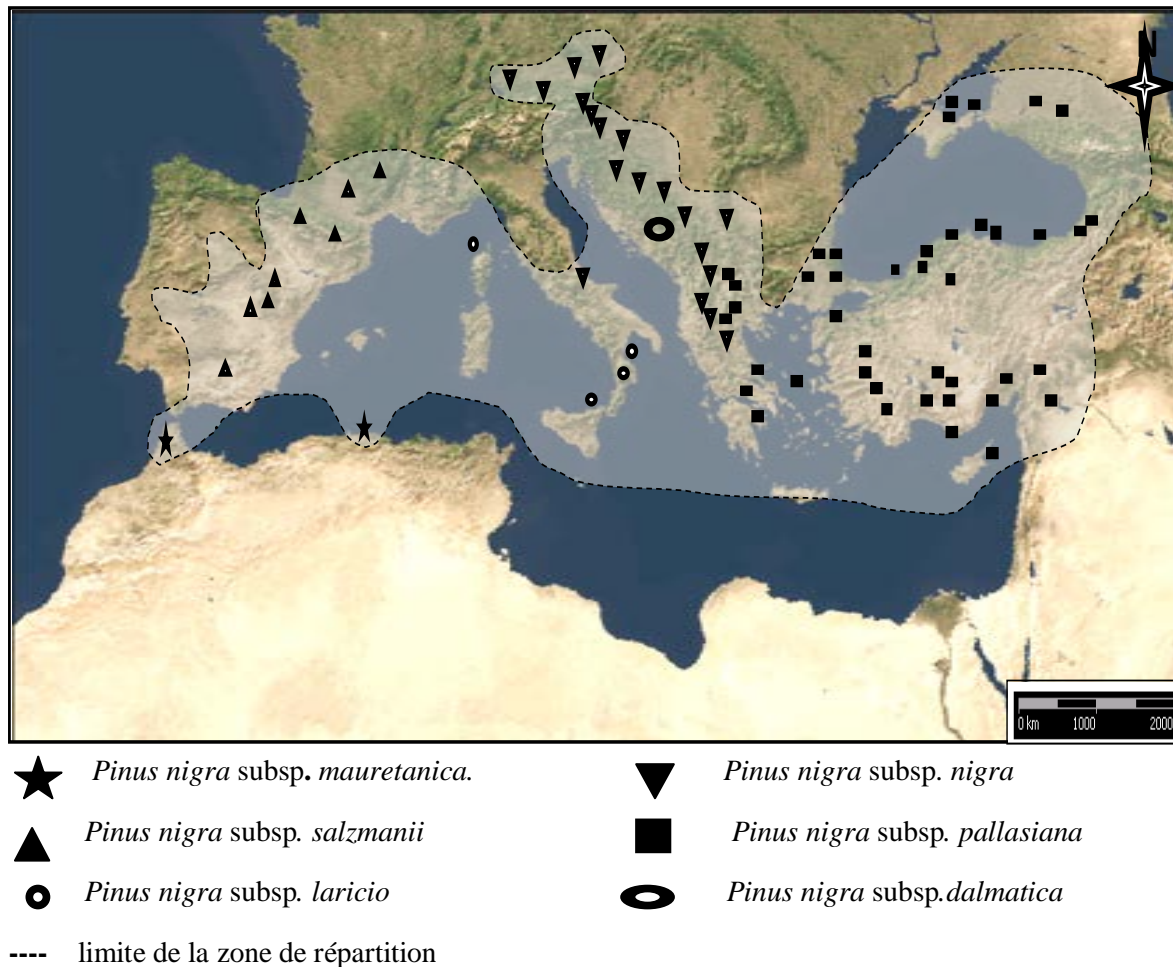


Figure 11 : Aire de répartition schématique du pin noir (*Pinus nigra* Arnold) et ses différentes sous-espèces en région méditerranéenne (Quezel et Medail, 2003 modifiée par Hedjam, 2019)

D'après Quezel (1980), la répartition biogéographique selon les sous espèces est comme suit :

-La ssp. *mauretunica* ne se rencontre que dans quelques localités du Rif au Maroc, et moins d'une centaine d'individus au Djurdjura, et selon Asmani (1993) le nombre d'individus est proche de 500 arbres.

- *Pinus nigra salzmannii* (Dunal) couvre de vastes zones en Espagne (plus de 350 000 ha). Il est aussi présent dans quelques populations isolées dans les Pyrénées et les Cévennes en France. Il est parfois appelé pin des Pyrénées.

- *Pinus nigra laricio* (Poiret) se trouve en Corse (pin laricio de Corse) sur plus de 22 000 ha, en Calabre (où il est également reconnu sous le nom de *P.nigra calabrica*, le pin laricio de Calabre) et en Sicile.

- *Pinus nigra nigra* (le pin noir d'Autriche) est présent depuis les Apennins en Italie jusqu'au Nord de la Grèce à travers les Alpes Juliennes et les montagnes des Balkans, couvrant plus de 800 000 ha.

- *Pinus nigra dalmatica* (Vis.), le pin dalmate, se trouve sur quelques îles au large des côtes de Croatie et sur le versant sud des Alpes Dinariques.

- *Pinus nigra pallasiana* (Lamb.) couvre de vastes zones, principalement en Grèce et en Turquie (2,5 millions d'hectares, soit 8 % de la superficie forestière turque) et, vers l'Ouest, probablement jusqu'à la Bulgarie. Il est également présent à Chypre et en Crimée. Il est parfois appelé pin de Crimée.

2.5. Le pin noir hors de son aire naturelle

Les qualités rustique, économique et esthétique du Pin noir ont fait de cet arbre une espèce de prédilection pour les reboiseurs, notamment en Europe (Adjaoud, 2005). En effet, dans le cours du développement de la Sylviculture artificielle, *P. nigra* s'est révélé depuis le début du XIX^e siècle comme l'une des principales essences de reboisement en Europe. Ce Pin est largement utilisé dans tous les pays de l'Europe moyenne et méridionale pour des reboisements de production et de protection. En ce qui concerne la France, il a constitué le matériel de reboisement le plus important pour la reforestation, souvent dans des conditions difficiles, dans les Alpes méridionales, les plateaux et les coteaux de l'Est, la bordure calcaire du Sud du massif central. Une utilisation analogue est faite en Italie, en Autriche, en Yougoslavie, en Bulgarie, en Hongrie et en Grèce.

En fait, c'est l'utilisation intensive du Pin noir en reboisement, au fur et à mesure qu'augmentait l'expérience pratique acquise, qui a attiré l'attention sur les différences, du point de vue sylvicole, entre les sous-espèces et variétés géographiques pourtant très proches du point de vue botanique systématique (Debazac, 1971).

En Algérie, Muller (1986 in Asmani, 1993), rapporte que des reboisements de pin noir ont été réalisés depuis le début des années trente dans différentes stations : Tala-Rana, Meurdja, Chréa et Tala-Guillef.

2.6. Écologie du pin noir

2.6.1. Répartition en altitude

Le pin noir se situe à des altitudes comprises entre 0 (îles Dalmates) et 2000 mètres (en Corse et en Espagne par exemple), mais préfère les zones montagneuses (Gerber, 1989).

En Algérie, le pin noir se trouve uniquement au Djurdjura entre 1400 et 1650 m.

2.6.2. Exigences climatiques

La plasticité de l'ensemble des populations de *P. nigra* vis-à-vis des conditions climatiques est très grande. Elle lui permet de pousser en mélange avec les conifères de l'Europe moyenne et septentrionale (Debazac, 1971). Selon Quezel (1980), 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 .

Selon Benmouffok (1994), dans le massif de Djurdjura la moyenne annuelle des températures avoisine les 15°C . Les minimums étant relevé en Décembre-Janvier (0° - 5°). Les maximums étant observé en Juillet-Août (21° - 24°). Pour les précipitations, le massif du Djurdjura reçoit 800 à 1500 mm de pluie. La totalité du volume étant reçu entre Décembre et Avril.

Le Pin noir caractérise préférentiellement l'étage montagnard méditerranéen (Quezel et Medail, 2003).

2.6.3. Substrat

Pour Quezel (1976), le Pin noir au sens large n'est pas très exigeant du point de vue édaphique. Il se régénère facilement sur sol peu évolué. Le substrat ne semble pas jouer un rôle à priori déterminant, puisqu'en fonction des localisations, le Pin noir est présent sur calcaire et dolomies (le plus souvent), sur roches éruptives (Corse et Taurus, Chypre) ou sur flyshs (Grèce méridionale) (Quezel et Medail, 2003).

Selon Debazac (1971), l'élément dominant pour la répartition du Pin noir est l'importance des formations triasiques avec deux faciès principaux, l'un calcaire et l'autre dolomitique. C'est le calcaire dolomitique qui constitue les falaises impressionnantes telles que celles du versant Sud du Schneeberg (Vogés) ou de Hohe Wand (Autriche), stations typiques du Pin noir. Le faciès dolomitique se rencontre aussi en bordure même de la plaine, sur les premières pentes.

La distribution de la grande majorité des stations primaires de *P. nigra* est en relation étroite avec les substrats magnésiens, soit dolomies ou calcaires dolomitiques, soit roches de la série ophiolitique (serpentes et gabros). De ce point de vue, les observations d'Adamovic (1905) in Debazac (1971) sur les Pinares des Balkans peuvent être étendues à l'ensemble de l'aire de *P. nigra* dans le Sud-Est de l'Europe. Cette liaison avec un caractère chimique du substrat peut s'expliquer par une aptitude particulière de l'espèce à subsister sur des terrains magnésiens, alors que la plupart des espèces végétales s'accommodent mal de telles conditions de nutrition. Cette aptitude expliquerait le caractère relique de beaucoup de stations primaires de *P. nigra* sur substrats magnésiens, là où l'espèce a pu résister à la compétition des autres espèces forestières, soit les feuillus des biotopes subméditerranéens, soit les feuillus et les conifères des biotopes montagnards humides, soit même des espèces des biotopes méditerranéens à feuilles persistantes. Cette situation est plus particulièrement évidente dans la partie septentrionale de l'aire, en Autriche, dans le Frioul, les Karawanken, les Alpes juliennes, dans le Banat ou en Serbie orientale. De ce point de vue, le comportement de *P. nigra* mérite d'être rapproché de celui d'autres espèces végétales telles *Erica carnea* (la Bruyère carnée), *Daphne blagayana*, ou même *Buxus sempervirens* (Buis commun) (Debazac, 1971).

Selon Chalabi (1980), le Pin noir du Djurdjura se rencontre sur rendezine dolomitique, très organique peu profonde comme à la station de Tigounatine.

2.6.4. Groupements végétaux du pin noir

Concernant la végétation, le Pin noir constitue, autour de la méditerranée, des structures de végétation généralement bien caractérisées et diversifiées du point de vue floristique. Dans l'Algérie, comme au Maroc, 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).

Le Pin noir peut s'associer à de nombreuses essences, mais le plus souvent avec d'autres conifères montagnards notamment le cèdre et le sapin, le genévrier en Afrique du Nord, voire d'autres espèces de pins : *Pinus sylvestris* en Méditerranée occidentale et en Anatolie septentrionale, *Pinus hedreichii* en Italie méridionale et dans les Balkans.

Il s'intègre plus rarement dans des formations à feuillus, notamment en Corse et en Italie méridionale (Quezel et Medail, 2003).

Globalement la richesse floristique des groupements qu'il individualise est beaucoup moins marquée en Méditerranée occidentale où peu d'espèces lui sont inféodées. Ce n'est pas le cas en méditerranée orientale où au moins certains de ces peuplements montrent une remarquable diversité et de nombreuses espèces endémiques ; les pinèdes sur roches vertes sont, de ce point de vue, les plus spectaculaires. Suivant les sous-espèces, la situation est finalement fort variable (Quezel et Medail, 2003).

2.7. Facteurs biotiques et abiotiques influençant la santé du pin noir

2.7.1. Régénération

Le problème majeur de la régénération est l'éclatement tardif des cônes (mars-avril) et à cette époque la sécheresse s'installe et le sol devient sec. Les plantes meurent par dessiccation suite à un manque d'eau durant la saison estivale. Aussi le semis de cèdre, qui concurrence les semis du Pin noir, est un facteur limitant les chances d'une régénération naturelle (Muller, 1986 in Adjaoud, 2005).

2.7.2. Pâturage

Le cheptel en divagation est l'un des problèmes les plus complexes qui se pose avec acuité au PND, où il affecte sérieusement tout le territoire de l'aire protégée. Il constitue aujourd'hui un problème non négligeable du fait de sa pratique en semi-liberté, voire en errance libre (notamment pour le cheptel bovin).

Ce sont surtout l'ovin et le caprin, qui, de par la surface réduite de leurs sabots, engendrent une pression sur le sol et produisent des compactages répétés et des tassements du sol, ce qui accentue l'érosion hydrique du sol.

Ainsi, le pacage par les troupeaux (ovin, caprin et bovin) bloque le processus de régénération naturelle et de remontée biologique, notamment ceux qui concernent les espèces rares et/ou endémiques (P.N.D, 2013).

2.7.3. Tourisme

Le tourisme de masse a le plus souvent des répercussions désastreuses directes et indirectes sur l'environnement et sur la biodiversité dans le monde et en particulier dans le bassin méditerranéen (Abdelaziz, 2012).

D'après les données d'un rapport d'Eurostat, l'Office européen des statistiques, sur la biodiversité en Méditerranée, l'impact énorme du tourisme sur les écosystèmes serait l'une des causes les plus importantes de la dégradation de la biodiversité dans les pays méditerranéens. Les perturbations de l'homme sont à l'origine d'une détérioration des divers écosystèmes et exercent une pression insoutenable sur la biodiversité en Méditerranée. Dans leur rapport, «La région méditerranéenne : un haut lieu de biodiversité», ils affirment, que le tourisme, en particulier, est en train de provoquer «des impacts énormes, directs et indirects, sur les écosystèmes» et que de ce fait le fonctionnement d'un système naturel, «jadis intact, se trouve bouleversé, réduisant par exemple la qualité de l'eau et de l'air et provoquant fréquemment des feux de forêt (Abdelaziz, 2012).

Selon Eurostat, la région méditerranéenne possède des zones biogéographiques parmi les plus rares au monde ainsi qu'une biodiversité de première importance. Et sur les 25 000 espèces connues de plantes méditerranéennes, 25% sont endémiques et ne se trouvent nulle part ailleurs dans le monde (Abdelaziz, 2012) dont fait partie le *Pinus nigra ssp mauretanica* qui est endémique au Parc National du Djurdjura. Ce dernier est une station touristique constituant un lieu d'attraction et de détente pour la population. L'existence d'infrastructures comme le télé ski, le télésiège et la route à grande circulation, attirent un nombre important de visiteurs. Ces derniers écrasent les plantes et laissent derrière eux des déchets, cela a un impact sur la régénération des espèces naturelles protégées menacées d'extinction comme le pin noir et le cèdre de l'atlas.

2.7.4. Pollution

Le Parc National du Djurdjura, où se situent les trois stations d'études, Tigounatine, Tikjda centre et Tala-Rana, est à forte vocation écologique et touristique, qui présentent des conséquences sur l'environnement et les paysages et qui a engendré des rejets incontrôlés de déchets solides et d'autres impacts, comme par exemple la pollution supposée due à l'ozone, mise en évidence au niveau des aiguilles du pin noir de Djurdjura (Hedjam, 2010).

2.7.5. Insectes et champignons

Parmi les organismes dévastateurs pour le pin noir, il y a la tordeuse du pin (*Rhyacionia buoliana*), la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*), surtout en climats chauds et secs et le champignon *Sphaeropsis sapinea* qui provoque une brûlure des pousses. Ce dernier a été particulièrement actif en France et en Turquie dans les années 1990. D'autres

parasites et maladies tels que *Acantholyda hieroglyphica*, *Diprion pini*, *Pissodes validirostis* et *Monophlebus hellenicus* ont aussi été actifs en Turquie. Plus récemment, une augmentation de l'impact d'une maladie connue comme la «maladie des bandes rouges» dû à *Dothistroma septospora* a été signalée (Isajev et al., 2003).

D'autres insectes peuvent s'installer sur le pin comme par exemple les pucerons (Aphides) sur les aiguilles, les cochenilles et les insectes xylophages, etc., dont certains décomposeurs finissent le travail de la chaîne trophique.

2.7.6. Incendies

La survenue d'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).

Dans les régions où le pin noir est très répandu, les feux de forêt et les coupes illégales causent des dommages très sérieux à la production forestière et surtout à la conservation de la biodiversité. Dans les zones où il n'est présent qu'à l'état de petites populations isolées, les principales menaces proviennent de tous types de facteurs pouvant provoquer l'extinction locale, que ce soit les coupes illégales ou les feux (Isajev et al., 2003).

Au Djurdjura, les feux de forêt représentent le facteur de dégradation le plus ravageur de la végétation (P.N.D, 2013). C'est un facteur déséquilibrant le peuplement du pin noir. Les feux de forêts sont multipliés suite aux développements des cultures, surpâturage et de la densité des populations.

L'incendie de l'été 2000, dans le Djurdjura, a détruit 04 sujets, qui auraient pu être des semenciers en raison de leur vigueur, ce qui représente une perte considérable (Adjaoud, 2005). L'incendie de juin 2012 a détruit tous les sujets de la station de Taouilte.



Matériels et méthodes

1. Présentation des stations d'études

Notre étude a été menée dans trois stations de pin noir dans le Parc National du Djurdjura à savoir :

- La station de Tigounatine (Fig. 12A)
- La station de Tikjda centre (Fig. 12B)
- Et la station de Tala-Rana (Fig. 12C)



Figure 12 : Les stations d'études. A : Tigounatine ; B : Tikjda centre; C : Tala-Rana (Hedjam, 2019).

2. Matériels

Le matériel végétal que nous avons utilisé est constitué d'aiguilles de Pin noir (*Pinus nigra* Arnold ssp. *mauretanica* Maire et Peyer) du Parc National de Djurdjura. Les aiguilles peuvent être atteintes ou saines, de différents âges (année en cours, deuxième année, troisième année, quatrième année, cinquième année et sixième année). Elles sont utilisées fraîches. Une fois récoltées elles sont placées dans des sachets en plastiques puis transportées au laboratoire et conservées au réfrigérateur, à 4 °C.

3. Méthodes

3.1. Caractérisation des décolorations des aiguilles chez le pin noir

3.1. 1. Préparation des échantillons

La récolte d'aiguilles a été faite de Septembre à Décembre 2015 à l'aide d'un échenilloir. Le nombre de sujets échantillonnés par station est de 18 à Tigounatine dont 08 semis et 10 adultes ; 06 adultes à Tikjda centre et 04 adultes à Tala-Rana. Dans ces deux dernières stations, il y a absence de semis à cause d'une absence de régénération.

A Tigounatine, chez les semis, nous avons prélevé les aiguilles, d'âges différents, sur des rameaux situés à 00cm (au ras du sol), à 25 cm, à 50 cm et à 100 cm, voire à 200 cm du sol. Chez les sujets adultes nous avons prélevé les aiguilles, d'âges différents, sur des rameaux situés à 00 cm (au ras du sol), à 20 cm, à 50 cm, à 100 cm, à 200 cm et à 400 cm, voire à 10 m du sol. Ces différents niveaux sont finalement rassemblés dans des intervalles pour avoir 4 classes : de 0 à 1m ; de 1 à 2m ; de 2 à 4 m et de 4 à 10 m. Chez les semis nous ne retrouvons que les trois premières classes.

A Tikjda centre et Tala-Rana, la récolte a été faite sur deux expositions (Nord et Sud) mais sur un seul niveau (à 4 m du sol) en raison du manque de régénération.

A l'échelle d'un niveau d'insertion donné, nous avons prélevé un rameau d'une longueur variable de façon à contenir un maximum de verticilles d'aiguilles. En raison des différences d'effectifs et de la structure (jeunes semis présents uniquement à Tigounatine), seuls une catégorie de sujets (les adultes) et un niveau d'insertion des rameaux (à 4 m du sol) sont communs aux 03 stations.

A Tigounatine, quelques niveaux d'insertion des rameaux sont communs aux sujets jeunes et adultes, par exemple 2 m du sol.

Donc les variables étudiés sont :

- l'âge des aiguilles pour toutes les stations,
- l'exposition nord ou sud pour Tikjda centre et Tala-Rana,
- le type d'individus (semis ou adultes),
- l'altitude uniquement pour Tigounatine et
- l'individu pour toutes les stations.

Le matériel végétal récolté est composé d'un total :

- de 60 rameaux comprenant 252 verticilles et 6644 aiguilles à Tigounatine ;
- de 11 rameaux comprenant 54 verticilles et 1934 aiguilles à Tikjda-centre et
- de 8 rameaux comprenant 30 verticilles et 1471 aiguilles à Tala-Rana.

Au total 10049 aiguilles ont été analysées à l'échelle des trois stations réunies (Tab. IV).

Tableau IV : Nombre d'aiguilles analysées au niveau de chaque station en fonction de certains paramètres

Stations	Peuplement	Arbres	Altitude (m)	Exposition	Âge						Total	Total aiguilles/ station
					V1	V2	V3	V4	V5	V6		
Tg	Naturel	1	0,35	-	28	30	28	28	22	-	136	-
			1,00	-	24	32	40	32	-	-	128	-
			1,20	-	36	58	60	66	36	-	256	-
		2	0,20	-	36	32	38	18	28	-	152	-
			0,80	-	42	48	26	6	-	-	122	-
			1,40	-	70	70	36	-	-	-	176	-
		3	0,50	-	22	20	18	-	-	-	60	-
			1,00	-	32	32	16	-	-	-	80	-
			2,00	-	36	30	16	16	6	-	104	-
		4	0,36	-	22	12	14	4	8	-	60	-
			1,00	-	58	32	38	36	16	-	180	-
			1,70	-	48	38	-	-	-	-	86	-
		5	0,35	-	18	22	10	22	18	6	96	-
			1,00	-	24	30	28	14	-	-	96	-
			2,00	-	30	42	50	38	12	-	172	-
			4,00	-	52	40	44	-	-	-	136	-
		6	0,28	-	38	38	36	18	6	-	136	-
			1,10	-	52	40	24	28	-	-	144	-
		7	0,00	-	32	36	22	24	2	-	116	-
			0,40	-	26	26	26	10	-	-	88	-
			1,00	-	34	36	28	-	-	-	98	-
		8	1,00	-	32	18	16	16	14	-	96	-
			2,00	-	38	54	46	44	-	-	182	-
		9	0,20	-	20	16	22	2	-	-	60	-
			0,50	-	24	26	18	8	2	-	78	-
			1,00	-	34	38	24	-	-	-	96	-
		10	0,36	-	50	22	26	8	8	-	114	-
			1,00	-	64	44	26	14	12	-	160	-
			2,00	-	46	26	26	-	-	-	98	-
			4,20	-	74	44	-	-	-	-	118	-
		11	4,00	-	38	54	44	36	4	-	176	-
		12	1,80	-	6	32	10	14	2	-	64	-
			4,00	-	16	24	22	30	10	-	102	-
			10,00	-	14	18	26	10	8	-	76	-
		13	1,00	-	26	22	8	-	-	-	56	-
			2,00	-	26	14	12	34	12	-	98	-
			4,10	-	22	22	16	6	14	2	82	-
		14	0,00	-	18	16	32	8	-	-	74	-

Tg : Tigounatine ; V : âge des aiguilles ; V1 : année en cours ; V2 : 2 an, V3 : 3 ans ; V4 : 4 ans ; V5 : 5 ans ; V6 : 6 ans

Tableau IV (suite) : Nombre d'aiguilles analysées au niveau de chaque station en fonction de certains paramètres

Stations	Peuplement	Arbres	Altitude (m)	Exposition	Âge						Total	Total aiguilles/ station
					V1	V2	V3	V4	V5	V6		
			0,50	-	10	12	18	4	4	-	48	-
			1,00	-	14	24	32	12	-	-	82	-
			2,00	-	22	30	44	16	-	-	112	-
			4,00	-	18	24	44	-	-	-	86	-
		15	0,00	-	16	18	18	20	22	4	98	-
			0,20	-	36	26	24	20	10	-	116	-
			0,50	-	34	40	30	2	2	-	108	-
			1,00	-	34	30	26	2	-	-	92	-
			2,00	-	16	18	12	20	-	-	66	-
			3,00	-	70	58	46	-	-	-	174	-
		16	0,00	-	36	44	30	10	-	-	120	-
			0,20	-	22	28	32	14	-	-	96	-
			1,00	-	26	34	34	12	-	-	106	-
			2,00	-	42	42	36	-	-	-	120	-
			3,00	-	32	40	64	18	14	-	168	-
		17	0,00	-	20	26	24	20	10	2	102	-
			0,30	-	22	42	30	38	-	-	132	-
			1,30	-	18	8	26	-	-	-	52	-
			2,50	-	62	32	36	44	-	-	174	-
			4,00	-	18	16	24	6	-	-	64	-
		18	4,00	-	14	50	12	6	-	-	82	-
			8,00	-	40	36	18	-	-	-	94	6644
Tc	Naturel	1	-	N	22	24	16	10	8	-	80	-
			-	S	30	26	34	16	4	-	110	-
		2	-	N	42	28	50	24	14	-	158	-
			-	S	22	38	32	34	12	-	138	-
		3	-	S	46	50	56	6	-	-	158	-
		4	-	N	36	32	34	-	-	-	102	-
			-	S	28	32	24	24	28	-	136	-
		5	-	N	56	52	62	44	62	-	276	-
			-	S	56	64	108	156	24	-	408	-
		6	-	N	32	26	32	40	46	28	204	-
			-	S	22	28	28	26	30	30	164	1934
Tr	Artificiel	1	-	N	52	44	13	-	-	-	109	-
			-	S	50	48	46	-	-	-	144	-
		2	-	N	78	68	30	-	-	-	176	-
			-	S	136	108	-	-	-	-	244	-
		3	-	N	38	40	72	10	2	-	162	-
			-	S	62	44	76	28	30	2	242	-
		4	-	N	86	42	34	14	-	-	176	-
			-	S	100	76	18	24	-	-	218	1471
		Total	-	-	2924	2782	2397	1310	562	74	10049	10049

Tc : Tikjda centre ; Tr Tala-Rana ; V : âge des aiguilles ; V1 : année en cours ; V2 : 2 an, V3 : 3 ans ; V4 : 4 ans ; V5 : 5 ans ; V6 :6 ans

Au sein d'un rameau, les aiguilles ont été considérées selon leur niveau d'insertion ou verticille (V1 à V6) qui indique leur âge (Fig. 13). Dans l'ensemble, nous avons pu récolter des aiguilles âgées de quelques mois (V1 : qualifiées dans le texte d'aiguilles de l'année en cours) à 06 ans (V6).

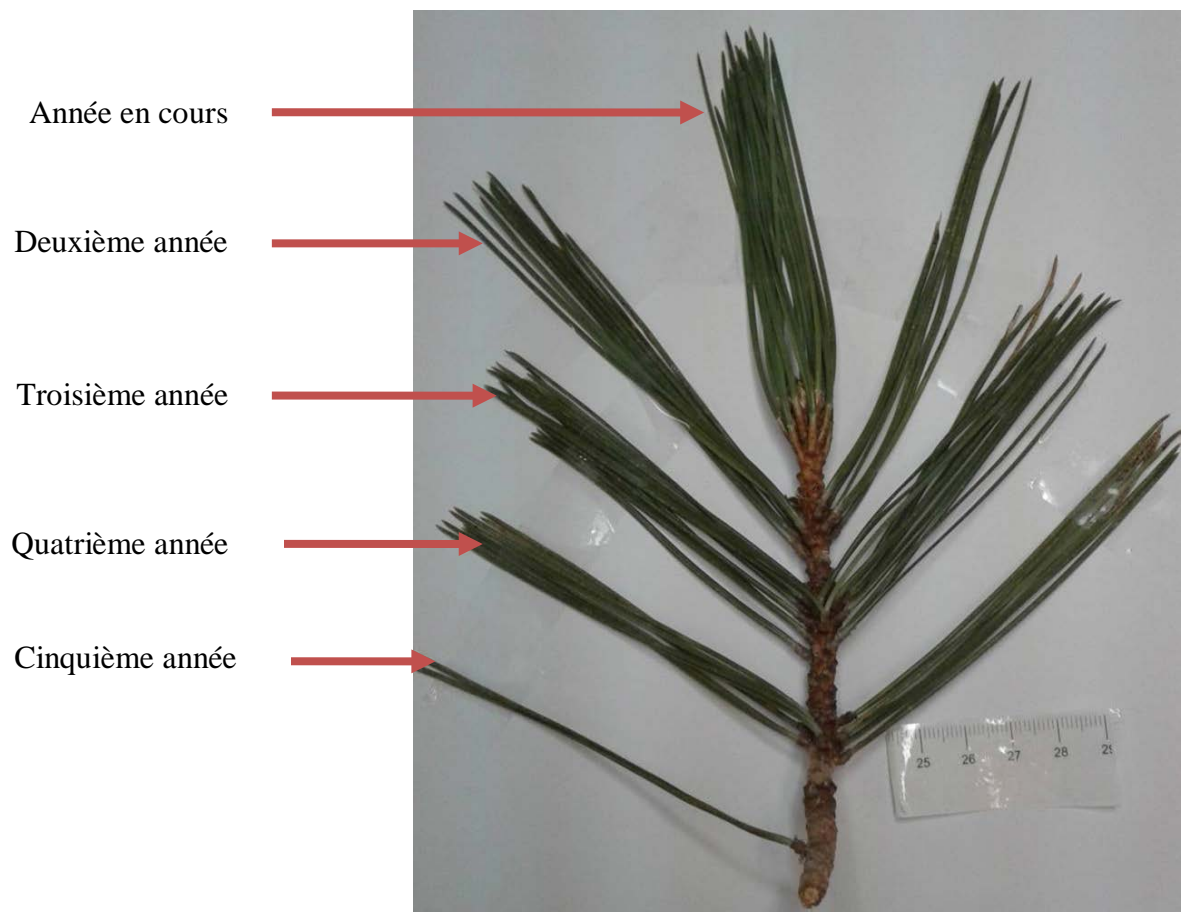


Figure 13 : Un rameau du pin noir portant des aiguilles d'âges différents (Hedjam, 2019).

A l'échelle d'un verticille, nous avons noté le maximum de symptômes numérotés de 1 à 9.

Chaque symptôme est évalué sur l'ensemble des aiguilles d'un verticille et correspond au pourcentage d'aiguilles atteintes comme le montre la formule suivante :

$$\% \text{ d'un symptôme} = \frac{\text{Nombre d'aiguilles présentant un symptôme sur un verticille}}{\text{Nombre total d'aiguilles du même verticille}} \times 100$$

Pour la décoloration sous forme de marbrures, nous avons utilisé le diagramme proposé par Calatayud (2000 *in* Submanuel-ICP) et représenté dans la figure 14. Ce diagramme évalue le degré de décoloration des aiguilles ou des feuilles :

- ❖ 0 = 0 % de décoloration des aiguilles ou des feuilles ;
- ❖ 1 = 1-5 % décoloration des aiguilles ou des feuilles ;
- ❖ 2 = 6-50 % décoloration des aiguilles ou des feuilles ;
- ❖ 3 = 51-100 % décoloration des aiguilles ou des feuilles.

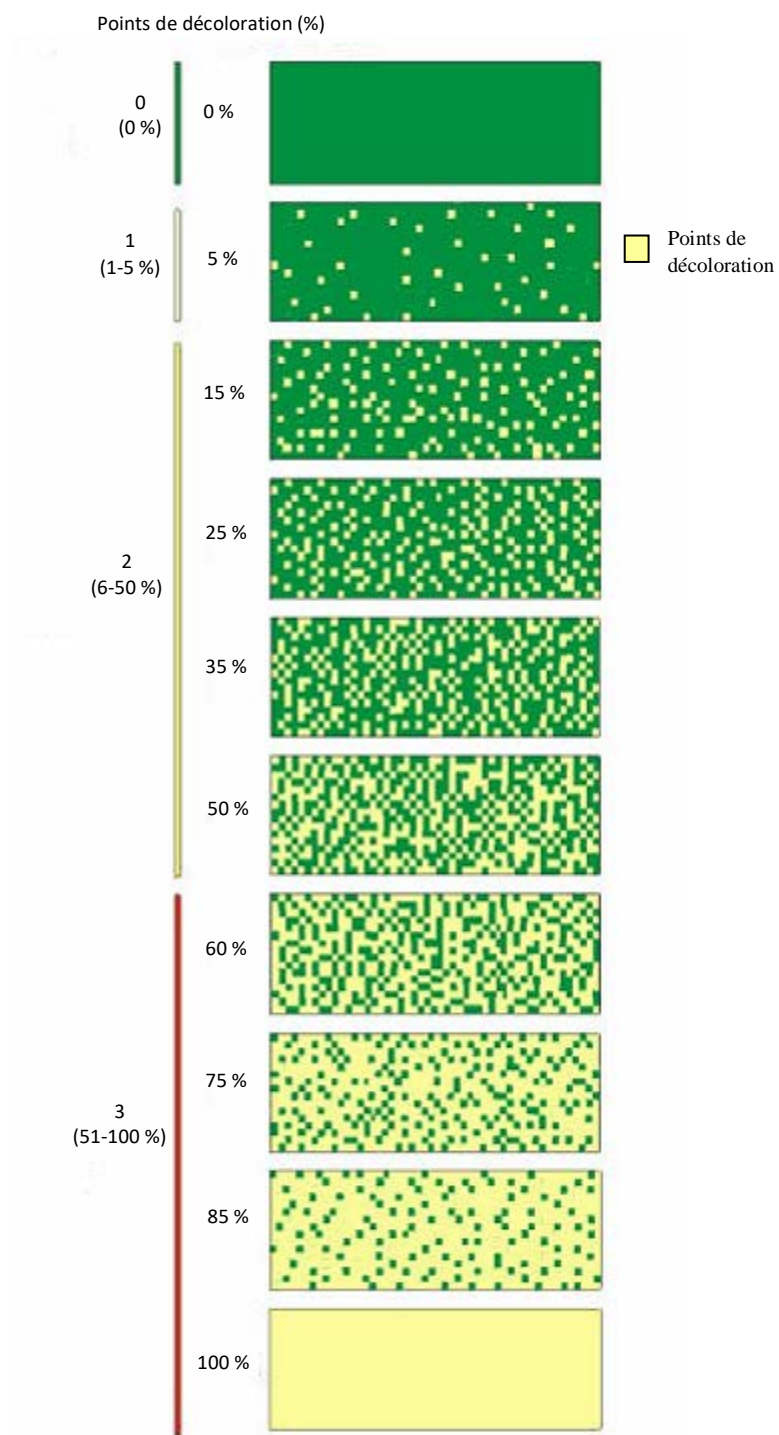


Figure 14 : Diagramme d'évaluation du degré de décoloration des aiguilles ou des feuilles (Calatayud, 2000 *in* Submanuel-ICP).

3.1.2. Caractérisation anatomique

Nous avons utilisé trois types de microscopes.

3.1.2.1. Stéréo microscope

Nous avons utilisé le stéréo microscope (Wild Makroskop M 420 x1,20) pour la prise de vue des différents symptômes rencontrés chez les aiguilles du pin noir.

3.1.2.2. Microscope photonique

Les coupes transversales sont effectuées à main levée, sur des aiguilles fraîches, présentant des symptômes ou non (témoin). Ces coupes sont observées au microscope photonique sans coloration puis avec coloration à la vanilline chlorhydrique.

- **Coupes sans coloration** : Les coupes sont placées entre lame et lamelle dans une goutte d'eau distillée et observées directement au microscope, sans coloration.

- **Coloration à la vanilline chlorhydrique** : La vanilline est un composé phénolique ayant pour formule $C_8H_8O_3$. Elle met en évidence les produits phénoliques formés chez une plante en état de stress en les colorants en jaune-orange (en rouge quand les coupes sont épaisses). Les coupes fraîches sont placées entre lame et lamelle en présence de la solution de vanilline dans du HCl.

- **Examen des coupes et prise de photos** : Les coupes ont été observées à l'aide d'un microscope photonique, et les photos ont été prises à l'aide d'une caméra type Motic Images Plus 2.0 ML, intégrée au microscope.

3.1.2.3. Microscope à fluorescence

L'analyse que nous avons faite concerne la première epi-fluorescence de la chlorophylle totale. Des observations ont été effectuées sur des coupes effectuées sur dix aiguilles : des segments d'environ 2 cm de longueur ont été retirés de la partie centrale de chaque aiguille. Ces segments ont été fixés dans une solution de formol à 4%, puis conservés dans une solution de saccharose à 1% pendant 24 h. A l'aide d'un microtome à congélation Reichert Jung, des coupes transversales d'une épaisseur de 30 mm ont été préparées à partir de chaque segment. Ces coupes ont été observées en fluorescence primaire à 450–490 nm afin de déterminer la réponse chlorophyllienne. La chlorophylle répond par une couleur rouge.

3.2. Recherche de causes des décolorations des aiguilles du pin noir

3.2.1. Causes abiotiques possibles : l'ozone (O₃)

- Dosage de l'ozone atmosphérique

Des dosages de l'ozone atmosphérique ont été effectués pendant 6 mois, de la mi-Mai à la mi-October 2012, en utilisant des capteurs passifs (Fig. 15), importés du laboratoire IVL, Swedish Environmental Research Institute, en Suède. Cette technique est une méthode de mesure employée par les réseaux agréés pour la surveillance de la qualité de l'air et a été validée en 2000 (Dalstein et *al.*, 2001). Chaque capteur possède une capsule renfermant un filtre imprégné d'une solution spécifique absorbant l'ozone. Ce dernier migre à l'intérieur du tube, via l'extrémité ouverte, par diffusion moléculaire. Ces capteurs ont été protégés des intempéries par un plateau métallique, placé sur une planche (piquet) à environ 3 m au-dessus du sol. Le temps d'exposition de chaque capteur est d'un mois. Les capteurs sont récupérés et emballés dans des tubes hermétiques puis envoyés au laboratoire d'origine pour analyse. L'analyse de l'ozone a été faite par chromatographie ionique.

Nous avons utilisé un capteur par station et par mois installé à l'air libre hors couvert végétal. Ce qui fait un total de 18 capteurs utilisés.

Les résultats des concentrations d'ozone dans cette étude sont présentés en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et converties en ppb (1 $\mu\text{g O}_3/\text{m}^3$ est équivalent à 0,51 ppb O₃) à 20° C.

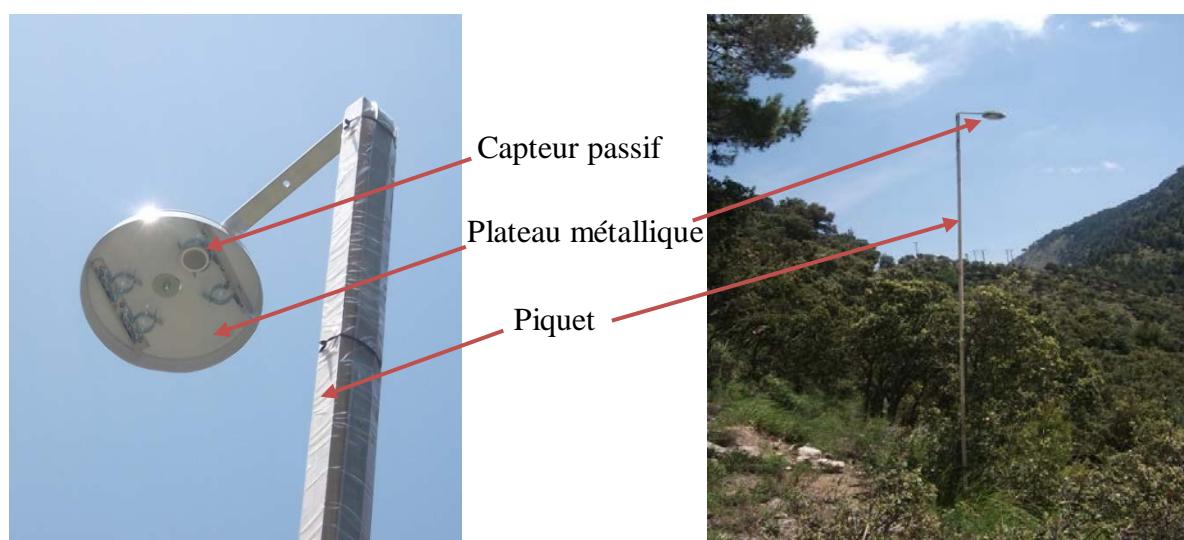


Figure 15 : Capteur passif d'ozone (Passive ozone sampler)
(Hedjam, 2019)

3.2.2. Causes biotiques possibles : les insectes

Pour récolter les insectes accrochés aux aiguilles et aux branches du pin noir, nous avons eu recours à la méthode du parapluie japonais utilisée par Pihan *et al.* en 1986, Khelil en 1995 et Benoufella-Kitous en 2005.

Cette méthode permet de capturer tous les insectes présents sur les aiguilles et les branches des arbres.

Il s'agit d'un carré de toile blanche, de 1 mètre de côté maintenu par un cadre en bois et placé sous le feuillage des branches, qui sont vigoureusement frappées à l'aide d'un bâton ou parfois secouées à la main.

Dix coups de bâton successifs sont donnés selon les quatre points cardinaux, soit environ 40 coups par arbre.

Afin d'éviter toute perte, les insectes tombés sur la toile sont rapidement ramassés. Les insectes récoltés sont alors placés dans des boîtes de Petri et rapportés au laboratoire où s'est effectué le tri.

Les prélèvements d'insectes ont été effectués dans les trois stations, Tigounatine, Tikjda centre et Tala-Rana dans le Parc National du Djurdjura, pendant la période allant de Mai à Octobre 2012 à raison d'une récolte par mois sur un maximum de 10 arbres.

Les critères d'identifications utilisés pour l'identification d'un des insectes récoltés sont ceux utilisés par Théobald en 1915 et qui sont repris dans la figure 16.

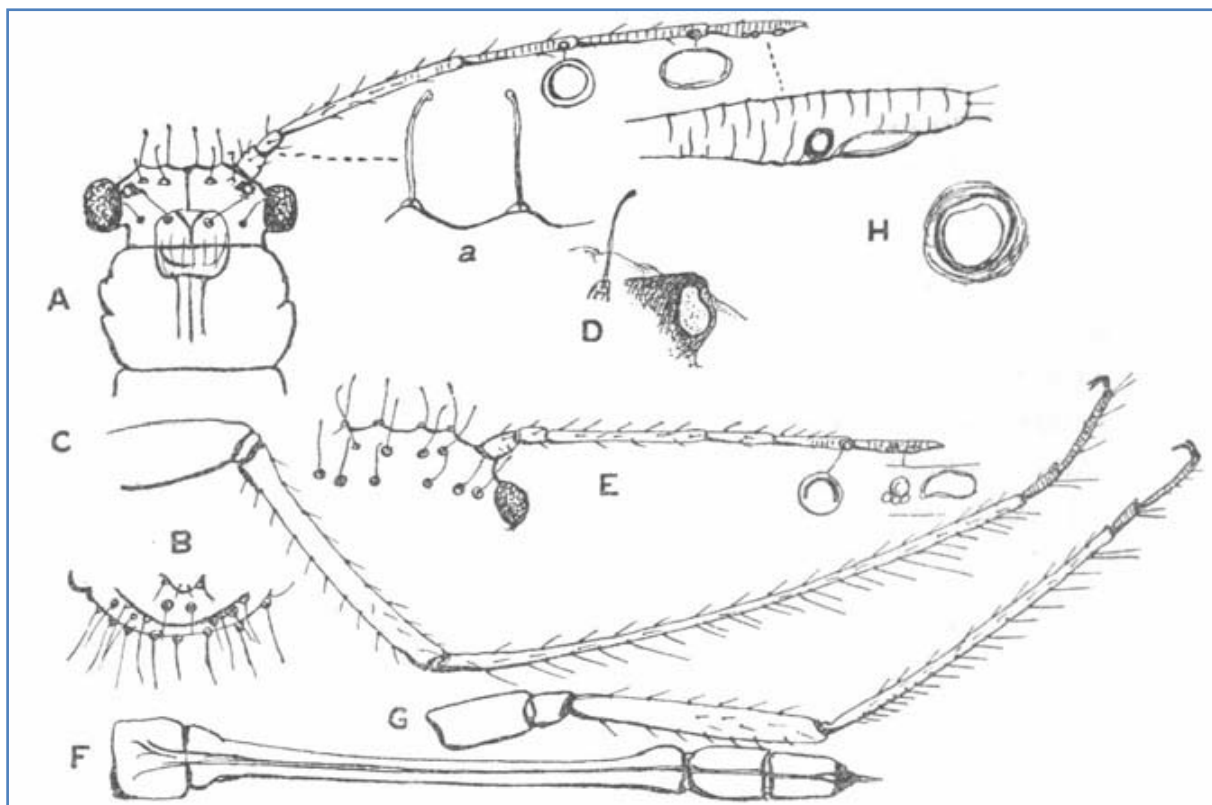


Figure 16 : *Protolachnus tuberculostemmata*; A : tête, pronotum et antenne de la femelle ailée; a : les poils frontaux; B : cauda et plaque anale; C : patte métathoracique; D : stemmata latéral ; E : tête et antenne de la femelle aptère; F : proboscis; G : patte mésothoracique ; H : cornicule (Theobald, 1915).

3.3. Traitement statistique

Les principaux résultats obtenus sont soumis à une analyse statistique. Ces analyses ont été réalisées à l'aide du Microsoft Office Excel 2007 pour la réalisation des histogrammes et du logiciel de statistique "R" version 3.0.0 pour l'Analyse en composantes principales (ACP).

3.3.1. Paramètres descriptifs

Les paramètres descriptifs utilisés afin d'analyser l'ensemble des données récoltées sur le terrain sont la moyenne et l'écart-type. Ce dernier est représenté dans les graphiques par une barre.

3.3.2. Analyse en composantes principales (ACP)

L'ACP est l'une des méthodes d'analyses multivariées. Elle permet une représentation géométrique des variables et des observations. Elle consiste également à réduire l'information

en un nombre de composantes plus limité que le nombre initial de variables. L'ensemble de données est regroupé dans un système constitué d'axes factoriels. Il s'agit de savoir, d'une part, si l'on peut distinguer des groupes dans l'ensemble des individus en regardant ceux qui se ressemblent ou ceux qui se distinguent des autres et d'autre part, voir parmi les variables celles qui sont corrélées entre elles et celles qui ne le sont pas (Dagnelie, 1975).



Résultats et discussions

1. Résultats

1.1. Caractérisation des décolorations des aiguilles chez le pin noir

1.1.1. Caractérisation morphologique

Les aiguilles de pin noir (*Pinus nigra* ssp *mauretanica*) prélevées dans les trois stations Tigounatine, Tikjda centre et Tala-Rana de Parc National du Djurdjura ont présenté 9 types de symptômes sous forme de décolorations et atteintes à savoir :

- symptôme 1 : décolorations sous forme de marbrures chlorotiques (*mottling*) (**DM**),
- symptôme 2 : aiguilles marrons d'un côté (**AMC**),
- symptôme 3 : décolorations jaunâtres (**DC**),
- symptôme 4 : décolorations sous forme de points d'impacts marrons (**DPIM**),
- symptôme 5 : aiguille abîmée à son extrémité (**AE**),
- symptôme 6 : décoloration entière ou partielle des aiguilles (aiguille morte) (**AM**),
- symptôme 7 : décolorations sous forme de bandes jaunes (**DBJ**),
- symptôme 8 : décolorations sous forme de bandes rouges-marrons (**DBM**),
- symptôme 9 : décolorations sous forme de bandes transparentes (**DBT**).

Les résultats relatifs à ces symptômes sont présentés sous forme de pourcentage regroupés dans des figures numérotées de 17 à 57.

La figure 17 correspond à une vue générale de l'état sanitaire des aiguilles du pin noir au sein du Parc National du Djurdjura. Elle illustre le jaunissement provoqué par les facteurs biotiques et/ou abiotiques.



Figure 17 : Vue générale de l'état sanitaire des aiguilles de pin noir (*Pinus nigra* ssp *mauretunica*) dans le Parc National du Djurdjura (Hedjam, 2019)

1.1.1.1. Symptôme 1 : Décoloration sous forme de marbrures chlorotiques (DM)

1.1.1.1.1. Décoloration selon l'âge des aiguilles

Dans la figure 13 (voir page 35), nous voyons la position des aiguilles, sous forme de verticilles, dans un rameau du pin noir. Chaque verticille correspond à un âge d'aiguilles.

La décoloration sous forme de marbrures ou taches chlorotiques (*mottling*) (Fig. 18) commence par des taches blanchâtres qui deviennent jaunâtres, augmentant de taille avec l'âge des aiguilles, pour former des plaques brunes.

La face ventrale, qui n'est pas exposée à l'atmosphère, n'est pas décolorée. La décoloration touche surtout la face dorsale qui est mieux exposée.

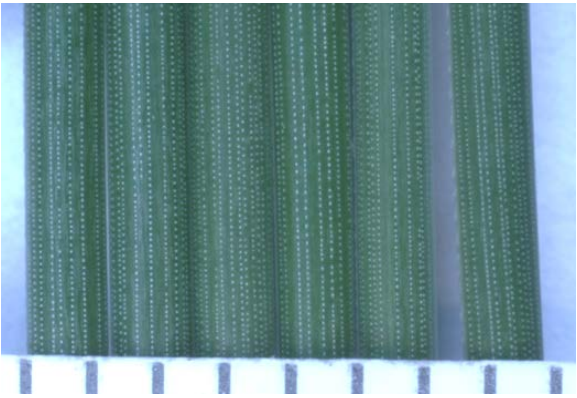
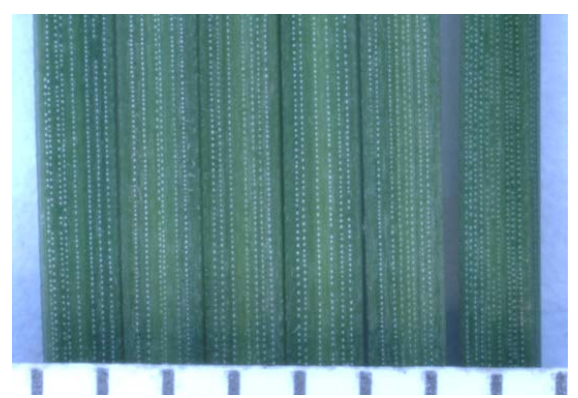

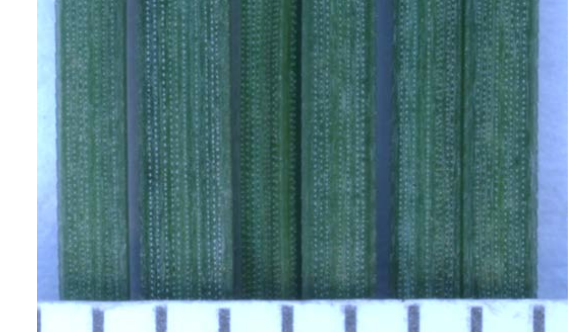
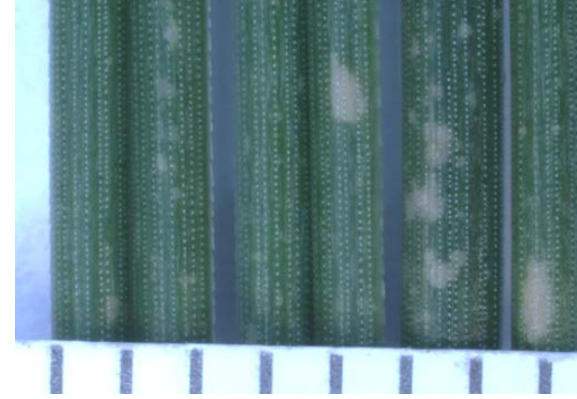
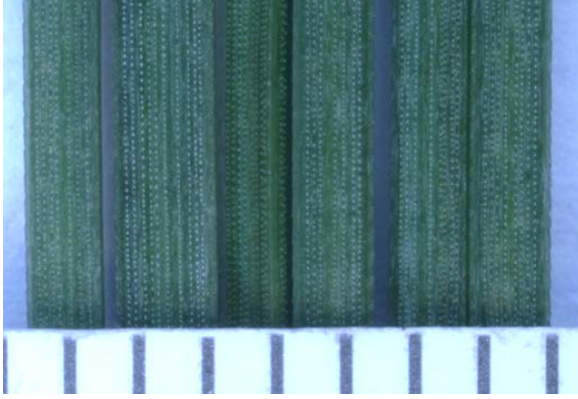
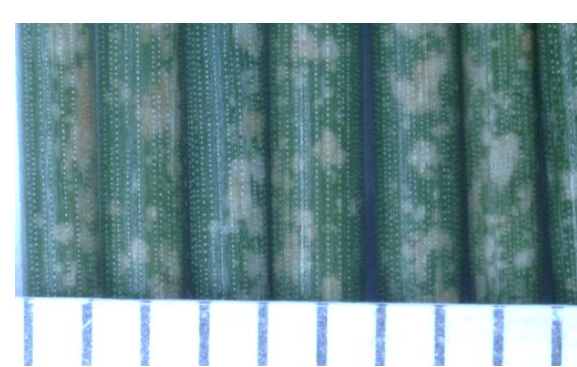
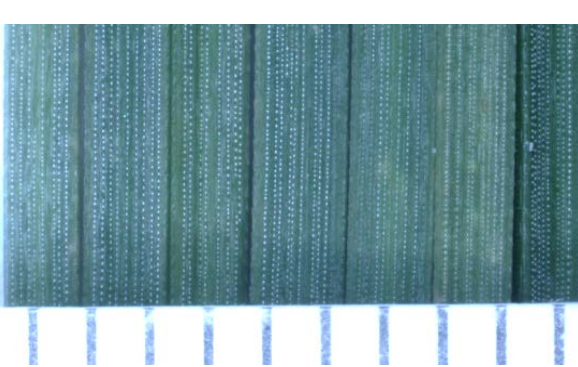
Âges des aiguilles	Face dorsale	Face ventrale
Année en cours sans taches		
Année en cours avec taches		
2 ans		
3 ans		

Figure 18 : Décoloration sous forme de marbrures en fonction de l'âge des aiguilles (Hedjam, 2019)

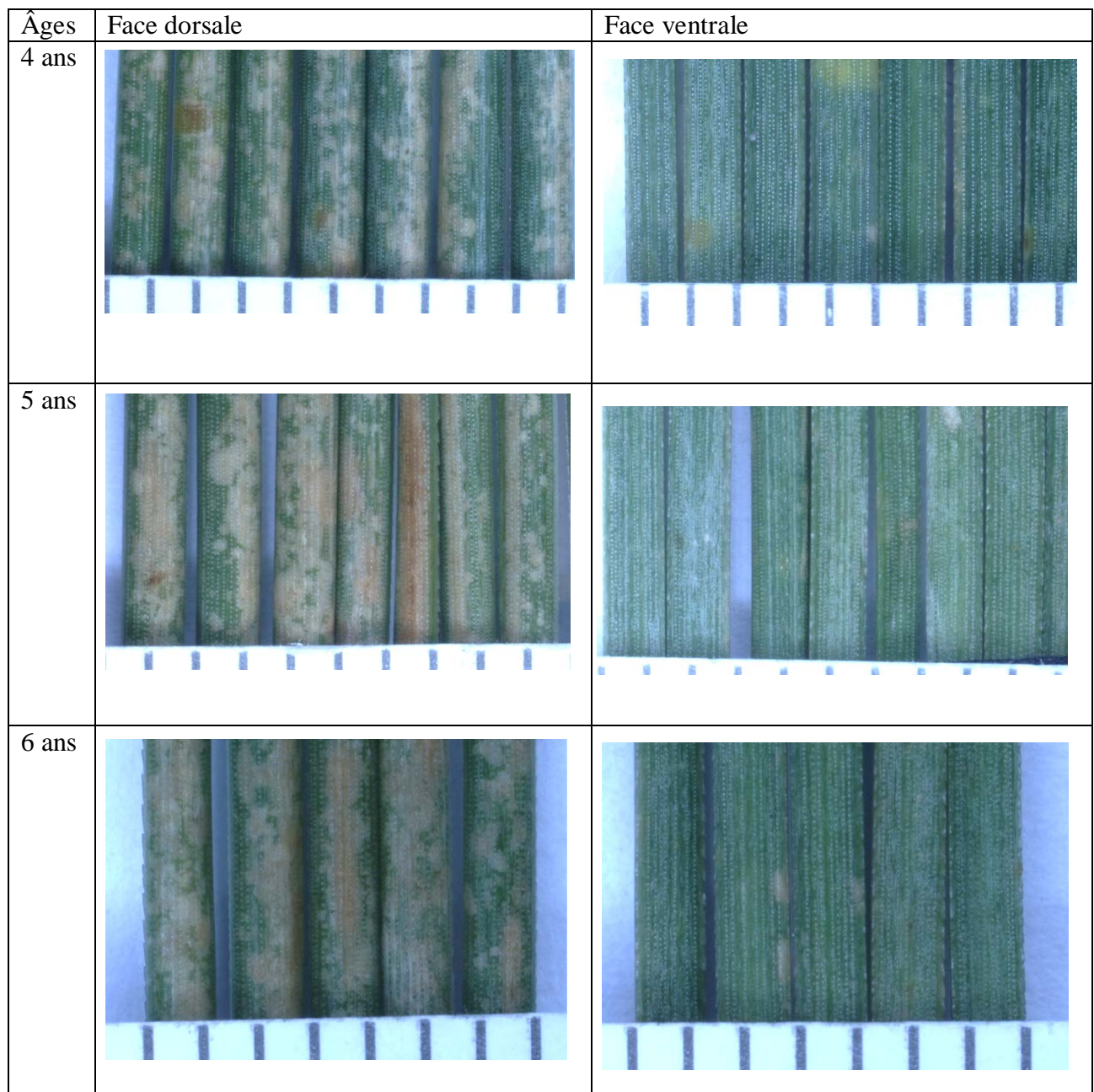


Figure 18 (suite) : Décoloration sous forme de marbrures en fonction de l'âge des aiguilles (Hedjam, 2019)

1.1.1.1.2. Décoloration des faces dorsale et ventrale des aiguilles

Les marbrures peuvent se présenter sur la face dorsale et ventrale, avec la même intensité, si les deux faces sont exposées en même temps à l'atmosphère (Fig. 19). Cette décoloration peut se situer le long des deux aiguilles d'un même fascicule.

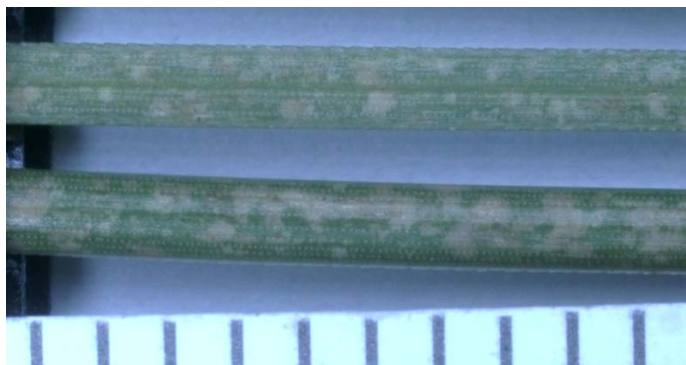


Figure 19 : Aiguilles avec des marbrures le long des deux faces, ventrale (A), dorsale (B) (Hedjam, 2019)

Dans la station de Tigounatine

Pour le facteur âge des aiguilles :

- Chez le semis (Fig. 20a), le taux de présence de la décoloration sous forme de marbrures chlorotiques (DM) est très faible sur les aiguilles de l'année (V1) ; il correspond à 2,5 %. Ce taux augmente entre V2 et V5 en passant de 25 à 83 %.
- Chez les adultes (Fig. 20b), le taux de présence de DM est très faible la première année (V1) avec 3 % d'apparition. Ce symptôme a augmenté entre V2 (34 %) et V4 (88 %). Le symptôme a diminué entre V5 (78 %) et V6 (75 %).

La tendance est similaire chez les semis et les adultes de la station de Tigounatine pour le facteur âge des aiguilles. L'ensemble des individus (semis et adultes) regroupé dans la figure 19c montre que le symptôme augmente avec l'âge des aiguilles.

Pour le facteur hauteur des individus :

- Chez les semis (Fig. 20e), le taux de présence de DM se situe entre 40 et 35 %, à la hauteur située entre 0 m et 2 m. Ce symptôme est passé à 62 % à la hauteur située entre 2 et 4 m.

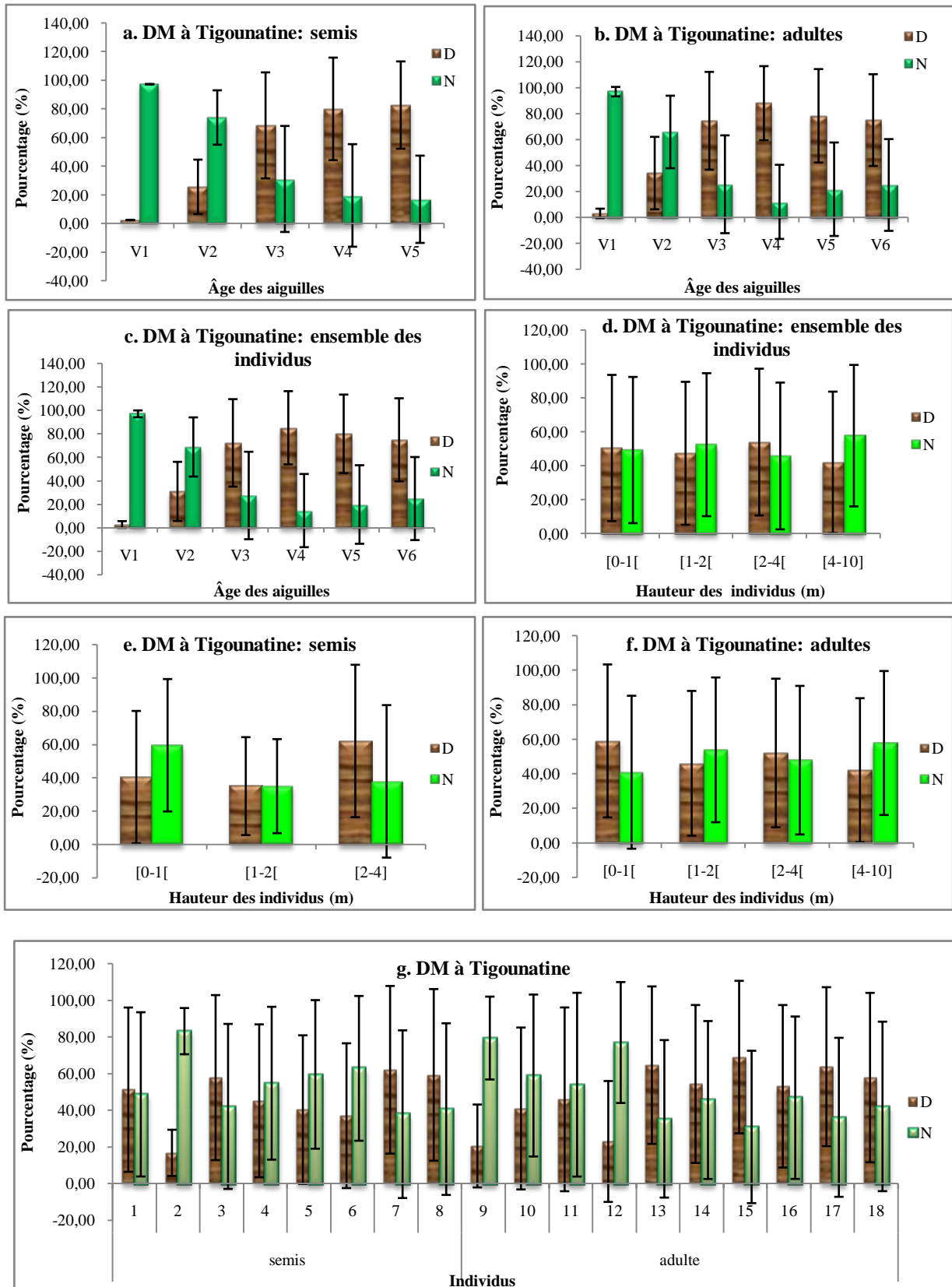


Figure 20 : Décoloration sous forme de marbrures chlorotiques (DM) sur les aiguilles de pin noir en fonction de l'âge des aiguilles (a, b, c), de la hauteur des individus (d, e, f), du type d'individu (a, b, e, f) et des individus (g) à la station de Tigounatine ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

- Chez les adultes (Fig. 20f), le taux de présence de DM est important à la base de l'arbre pour atteindre 59 % entre 0 et 1m. Il diminue pour atteindre 42% entre 4 et 10 m de hauteur.

La tendance est similaire chez les semis et adultes de la station de Tigounatine pour le facteur hauteur des individus. L'ensemble des individus (semis et adultes) regroupé dans la figure 20d montre que le symptôme varie de 40 à 60 % en fonction la hauteur des individus.

Pour le facteur individus :

Chez la majorité des individus, le taux de présence de DM est situé entre 40 et 60 % (Fig. 20g).

Dans la station de Tikjda centre

Pour le facteur âge des aiguilles :

Le taux de présence de DM (2,5 %) est très faible sur les aiguilles de l'année (V1). Ce taux a augmenté avec l'âge des aiguilles pour atteindre 100 % de présence à partir de la cinquième année (Fig.21a).

Pour le facteur exposition Nord / Sud :

Le taux de présence de DM selon l'exposition Nord et Sud est le même (50 %) (Fig. 21b).

Pour le facteur individus :

Le taux de présence de DM selon les individus oscille entre 38 et 60 % (Fig. 21c).

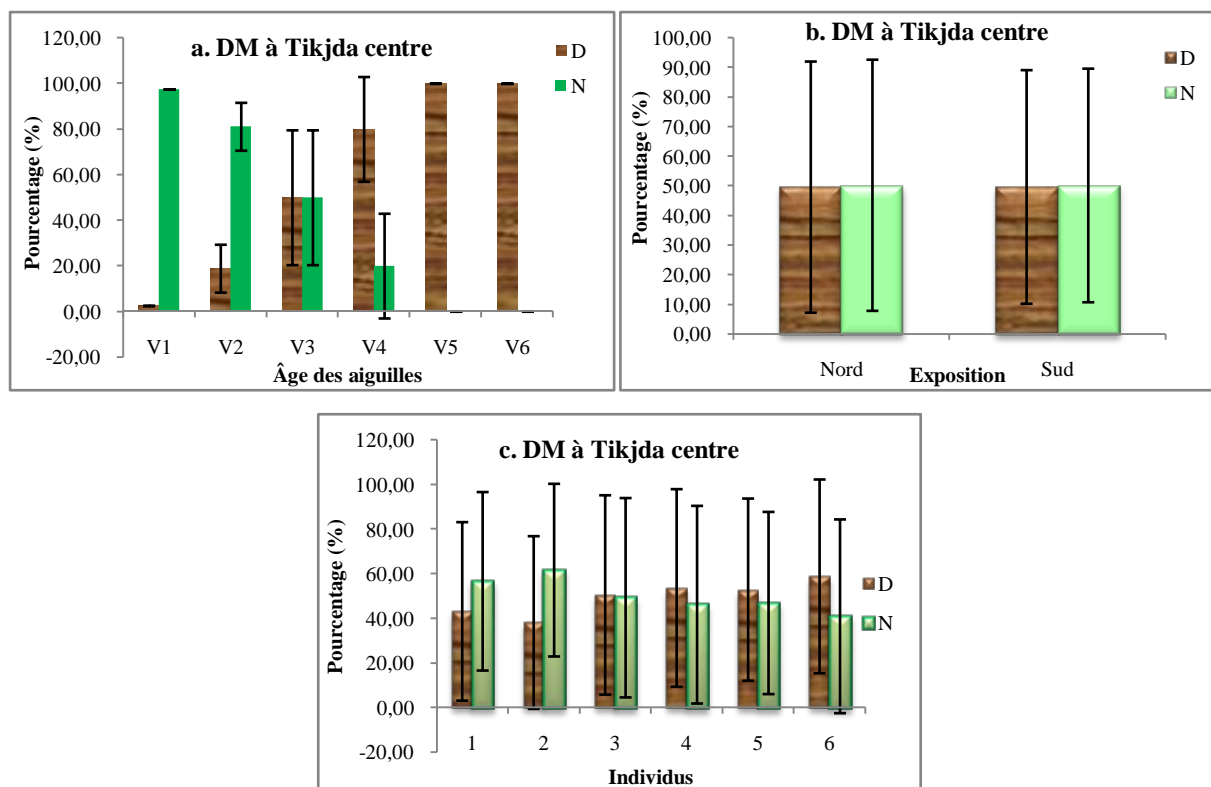


Figure 21 : Décoloration sous forme de marbrures chlorotiques (DM) sur les aiguilles de pin noir en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (c) à la station de Tikjda centre ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

Dans la station de Tala-Rana

Pour le facteur âge des aiguilles :

Le taux de présence de DM sur les aiguilles de l'année (Fig. 22a) est très faible, comme pour les deux stations précédentes. Ce taux augmente progressivement avec l'âge des aiguilles pour atteindre son maximum de 33 % à l'âge de 3 ans. Ce symptôme diminue pour atteindre un taux de 25 % entre la 4^{ème} année et la 6^{ème} année.

Pour le facteur exposition Nord / Sud :

Le taux de présence de DM sur les aiguilles du pin noir est presque le même et ne dépasse pas les 21 % (Fig. 22b) en fonction des deux expositions Nord et Sud.

Pour le facteur individus :

- Le taux de DM selon les individus est presque le même et ne dépasse pas les 30 % (Fig. 22c).

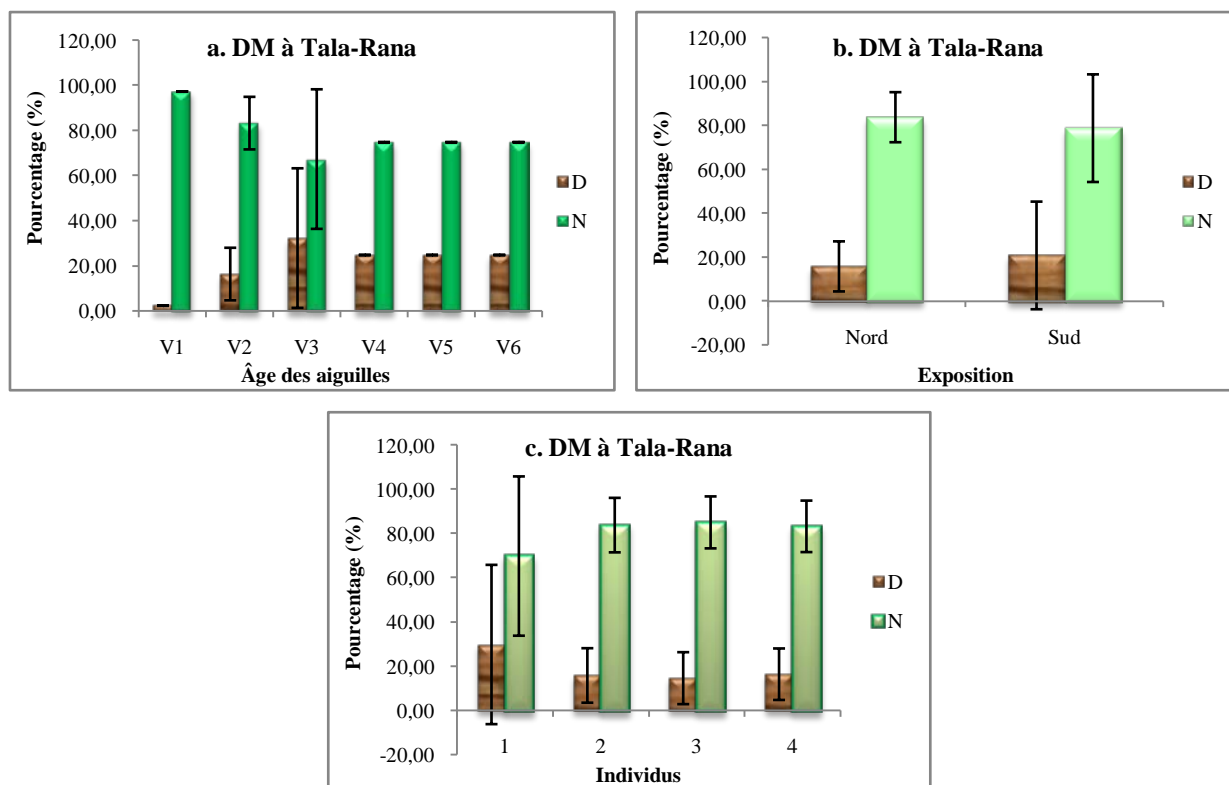


Figure 22 : Décoloration sous forme de marbrures chlorotiques (DM) sur les aiguilles de pin noir en fonction de l’âge des aiguilles (a), de l’exposition (b) et des individus (c) à la station de Tala-Rana ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

1.1.1.1.3. Symptôme2 : Aiguilles marrons d’un côté (AMC)

Nous avons observé que chez certaines aiguilles le côté de la face des aiguilles exposées à l’atmosphère présente une coloration marron intense (Fig. 23A) contrairement au côté opposé, non exposé (Fig. 23B) qui reste vert.

Le symptôme 2 ou AMC correspond en réalité à un stade avancé de décoloration sous forme de marbrures (symptôme 1).

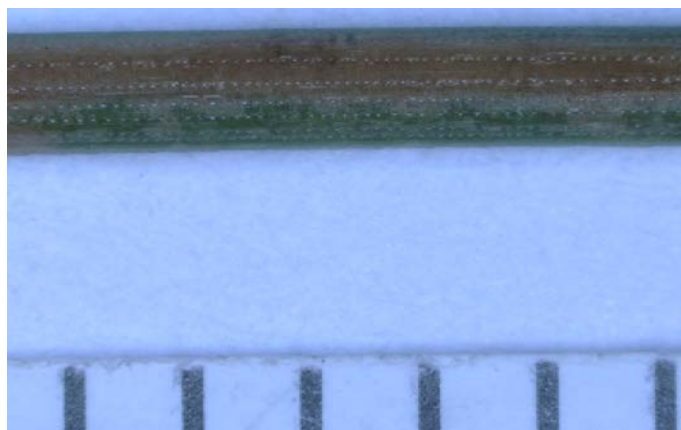


Figure 23: Face dorsale d’une aiguille décolorée d’un côté ; A : Côté décoloré ; B : Côté naturellement coloré (Hedjam, 2019)

Dans la station de Tigounatine

Pour le facteur âge des aiguilles :

- Chez les semis, le taux de présence est faible (Fig. 24a). Il commence par un taux nul (0 %) sur les aiguilles de l'année (V1) et augmente progressivement pour atteindre un maximum de 8% chez les aiguilles âgées de 3 ans (V3) à 5 ans (V5).
- Chez les adultes (Fig.24b), le taux de présence de l'AMC est nul (0 %) chez les aiguilles de l'année (V1) et augmente progressivement avec l'âge des aiguilles pour atteindre un maximum de 38 % à 6 ans (V6).

La même tendance est observée chez les semis et les adultes. L'ensemble des individus (semis et adultes) regroupé dans la figure 24c montre que le symptôme augmente avec l'âge des aiguilles.

Pour le facteur hauteur des individus :

- Chez les semis (Fig. 24e), c'est entre 0 à 1 m de hauteur des individus que le taux de présence de l'AMC est le plus élevé avec 6 % de présence. Ce taux diminue, ensuite, progressivement, avec la hauteur du semis pour atteindre son minimum de 1 % entre 2 et 4 m de hauteur.
- Il en est de même chez les adultes (Fig. 24f). Le taux de présence de l'AMC (12 %) est plus élevé en bas de l'arbre, entre 0 et 1m de hauteur. Ce taux diminue progressivement avec la hauteur de l'arbre pour atteindre un minimum de 6 % à la hauteur de 2 et 4 m. Ce taux a tendance à augmenter un peu au sommet de l'arbre entre 2 et 10 m, pour atteindre 9 %.

La figure 24d relative à l'ensemble des individus (semis et adultes), montre, en générale, que le symptôme est faible sur toute la hauteur des individus et ne dépasse pas 12 % de présence.

Pour le facteur individus :

Le taux de présence de l'AMC selon les individus, varie de 1 à 24 % pour l'ensemble des individus. Chez les semis, il varie de 1 à 21 % et chez les adultes de 2 à 24 % (Fig. 24g).

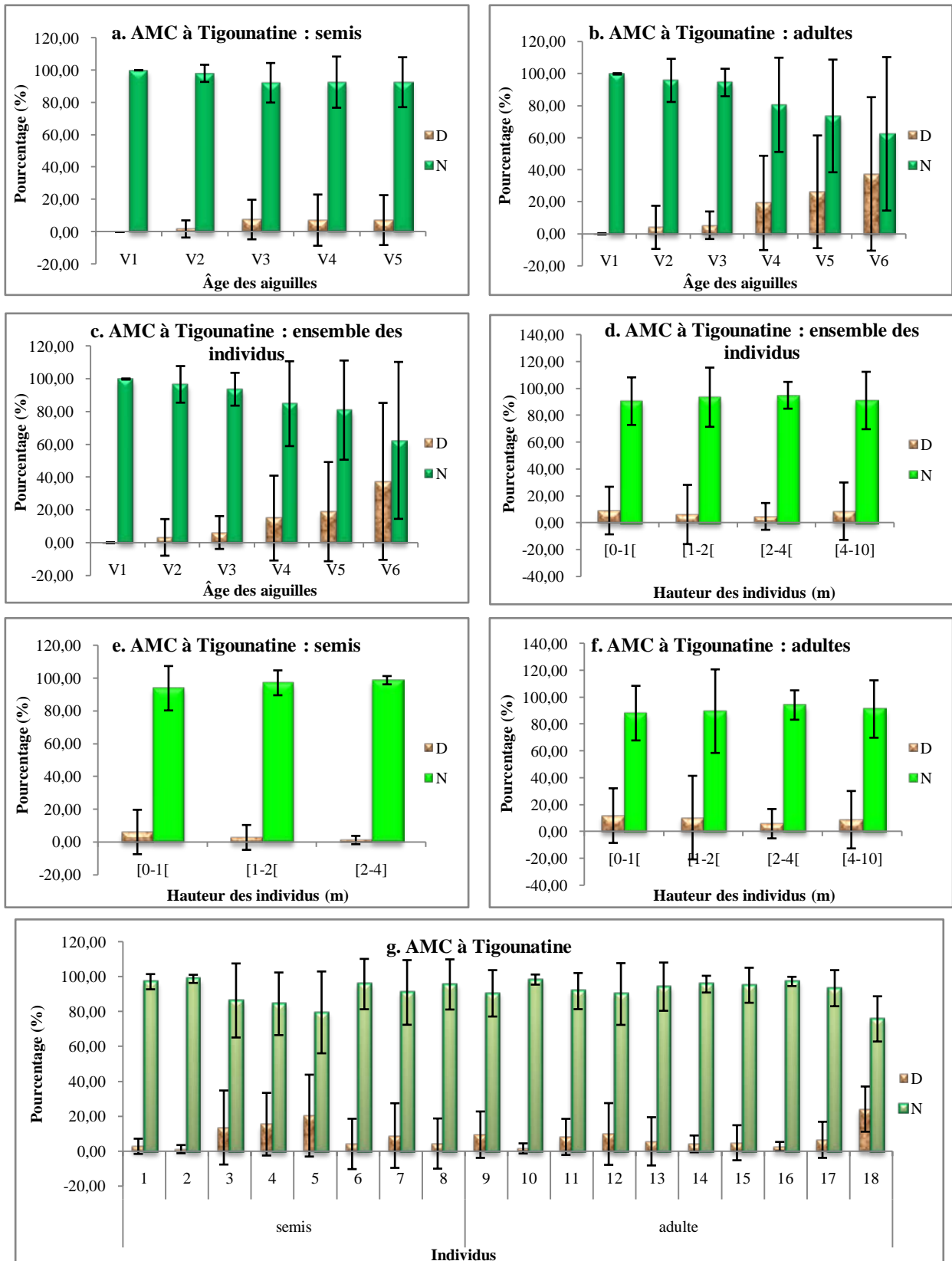


Figure 24 : Décoloration des aiguilles du pin noir sur un côté (AMC) en fonction de l'âge des aiguilles (a, b, c), de la hauteur des individus (d, e, f), du type d'individu (a, b, e, f) et des individus (g) à la station de Tigounatine ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

Dans la station de Tikjda centre

Le taux de présence du symptôme AMC sur les aiguilles du pin noir, en général, est très faible (< 1 %) avec l'ensemble des facteurs étudiés à savoir : l'âge des aiguilles (Fig. 25a), l'exposition Nord et Sud (Fig. 25b) et les individus (Fig. 25c).

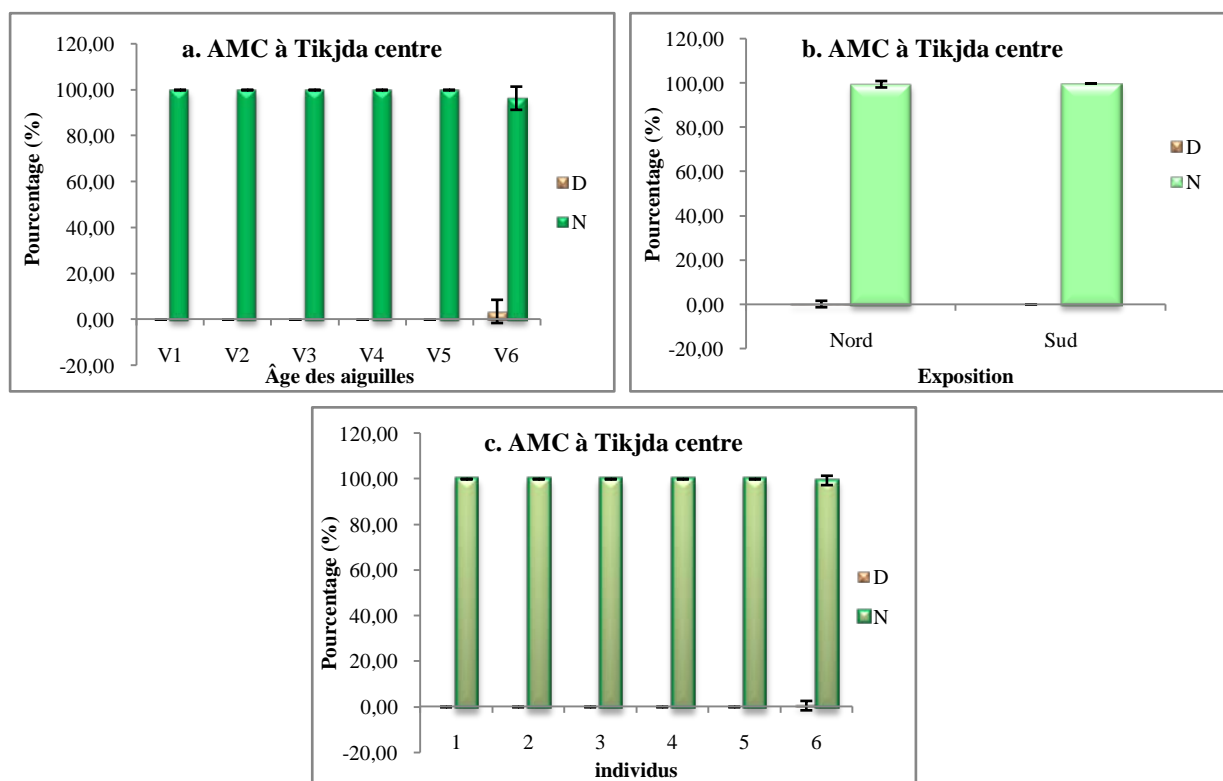


Figure 25 : Décoloration des aiguilles du pin noir sur un côté (AMC) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (c) à la station de Tikjda centre ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

Dans la station de Tala-Rana

En générale, le taux de présence de l'AMC, est presque nul (<0,40 %) avec tous les facteurs étudiés à savoir : l'âge des aiguilles (Fig. 25a), l'exposition Nord et Sud (Fig. 26b) et les individus (Fig. 26c).

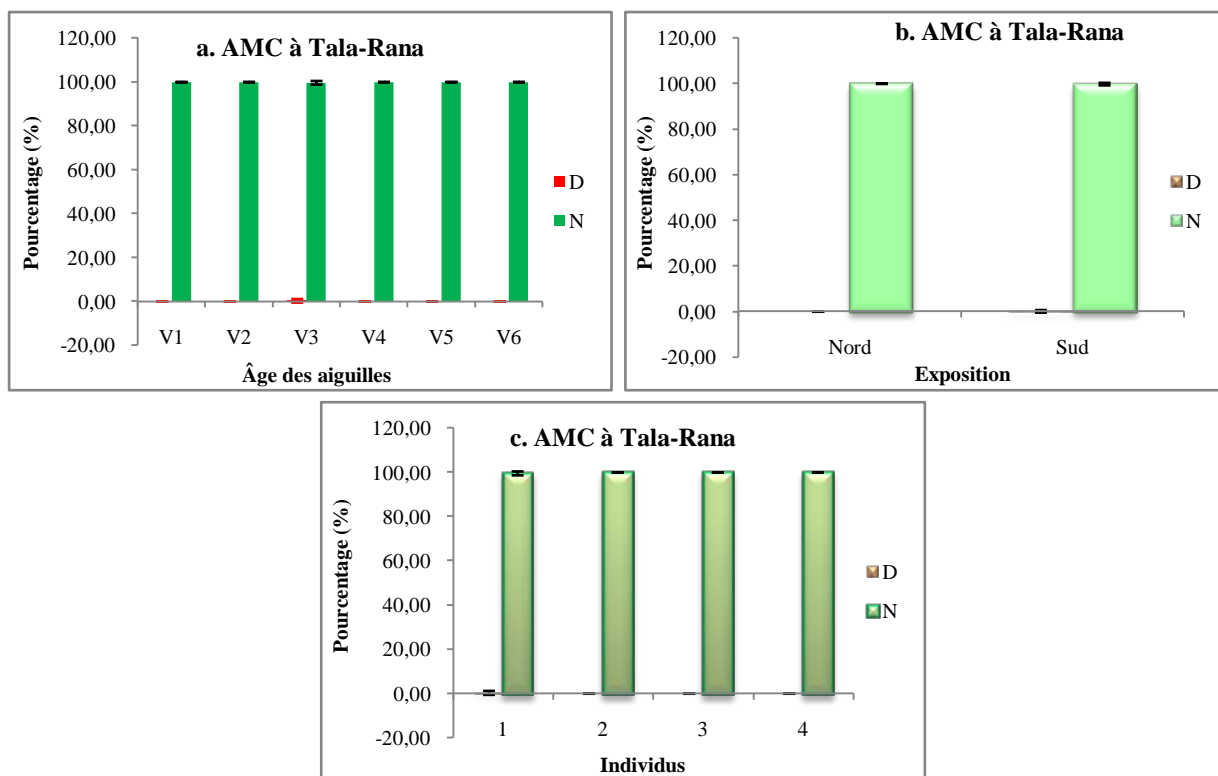


Figure 26 : Décoloration des aiguilles du pin noir sur un côté (AMC) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (c) à la station de Tala-Rana ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

1.1.1.2. Symptôme 3 : Décolorations jaunâtres (DC)

Ce Type de décoloration peut être causé par les attaques des cochenilles sur les aiguilles du pin noir comme nous pouvons l'observer sur la figure 27. Ce type de décoloration peut être, aussi, causé par les Aphides (pucerons).

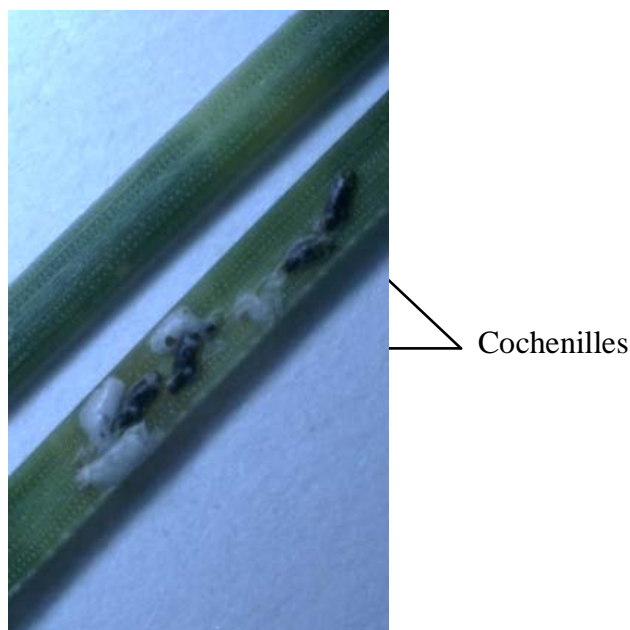


Figure 27 : Cochenilles sur la face ventrale (A) de l'aiguille et son effet de décoloration jaunâtre sur la face dorsale (B) (Hedjam, 2019).

Dans la station de Tigounatine

Pour le facteur âge des aiguilles :

- Chez les semis (Fig. 28a), le taux de présence de la cochenille (DC) sur les aiguilles de l'année (V1), estimé à 57 %, est très élevé. Ce taux augmente avec l'âge des aiguilles pour atteindre un maximum de 77 % sur les aiguilles âgées de 5 ans.
- Chez les adultes (Fig. 28b), le taux de présence de DC est de 38 % sur les aiguilles de l'année. Ce taux augmente progressivement pour atteindre 87 % chez les aiguilles âgées de 6 ans.

La tendance est similaire chez les semis et les adultes. La figure 28c relative à l'ensemble des individus (semis et adultes) montre que le symptôme augmente avec l'âge des aiguilles.

Pour le facteur hauteur des individus :

- Chez les semis (Fig. 28e), le taux de présence de DC est élevé à la base du semis, entre 0 et 1 m de hauteur, puis diminue pour atteindre 33 % entre 2 et 4 m de hauteur.
- Chez les adultes (Fig. 28f), le taux de présence de DC est de 64% en bas de l'arbre, entre 0 et 1 m de hauteur. Ce taux diminue à 56 % entre 1 et 2 m de hauteur. Ce symptôme augmente encore pour atteindre son maximum de 71 % à la hauteur située entre 2 et 4 m à partir du bas de l'arbre. Ce taux diminue vers 4 – 10 m de hauteur pour atteindre 53 % de présence.

Chez l'ensemble des individus (semis et adultes) (Fig. 28d), le taux de présence de DC varie entre 53 et 68 % en fonction de la hauteur de l'individu.

Pour le facteur individus :

Le taux de présence de DC est très variable (Fig. 28g) selon les individus de la station de Tigounatine. Ce taux varie de 4 à 100 % d'apparition chez les semis et les adultes.

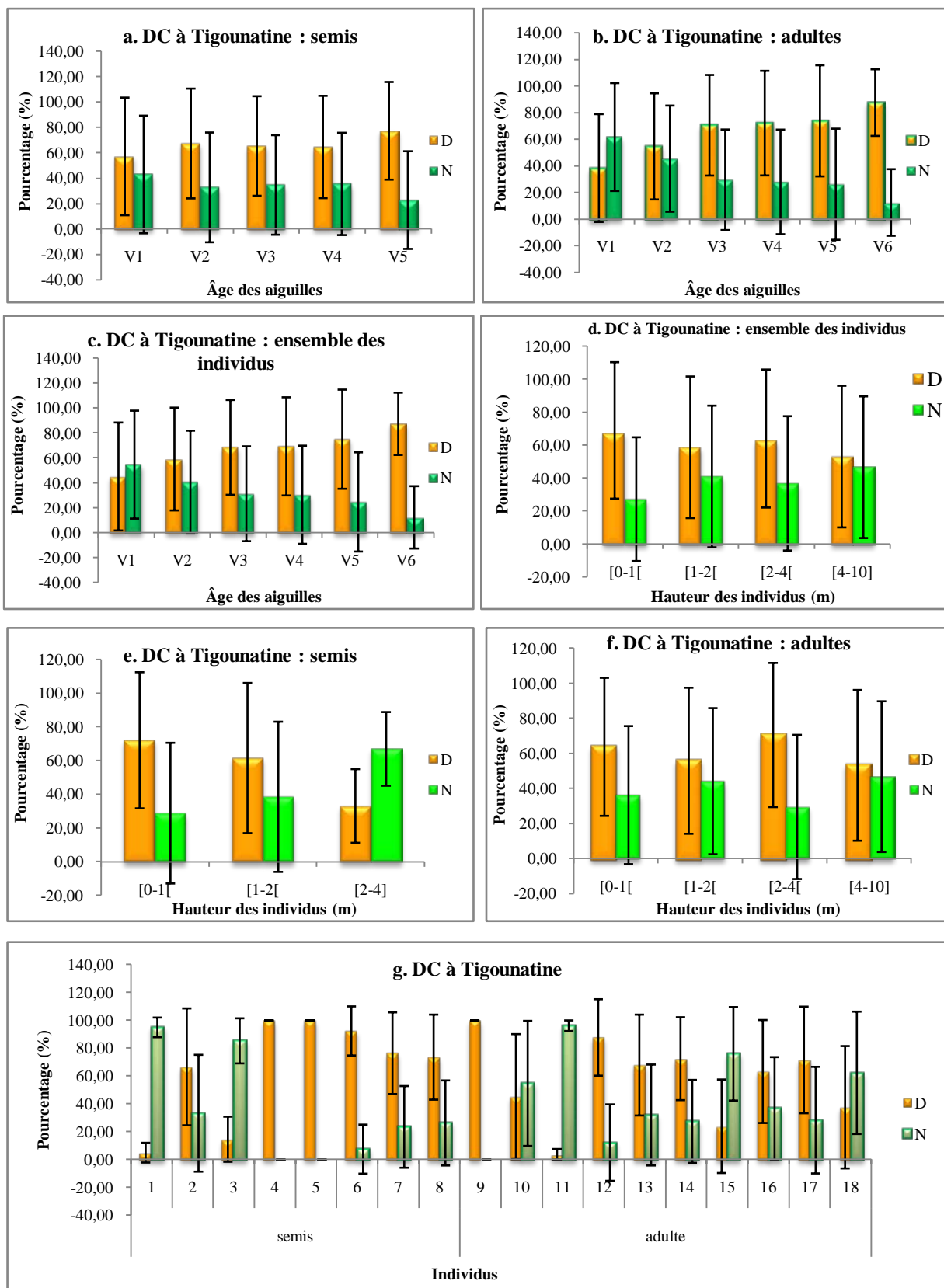


Figure 28 : Décoloration jaunâtre des aiguilles du pin noir (DC) en fonction de l'âge des aiguilles (a, b, c), de la hauteur des individus (d, e, f), du type d'individu (a, b, e, f) et des individus (g) à la station de Tigounatine ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

Dans la station de Tikjda centre

Pour le facteur âge des aiguilles :

Le taux de présence de DC (Fig. 29a) est faible sur les aiguilles de l'année (V1) avec 5 % d'apparition. Ce taux augmente avec l'âge des aiguilles pour atteindre un maximum de 51 % à 5 ans, puis, diminue sur les aiguilles âgées de 6 ans pour avoir 31% de présence.

Pour le facteur exposition Nord/Sud :

La figure 29b montre que le taux de présence de DC sur les aiguilles exposées au Nord est de 28 % alors qu'il est de 22 % sur les aiguilles exposées au Sud.

Pour le facteur individus :

Le taux de présence de DC (Fig. 29c) est très variable entre les individus de cette station. Il varie de 5 % à 54 %. Sur les six individus, deux individus présentent un taux de présence élevé, 46 et 54 % respectivement, par contre les quatre autres individus présentent un taux faible qui varie entre 5 et 12 %.

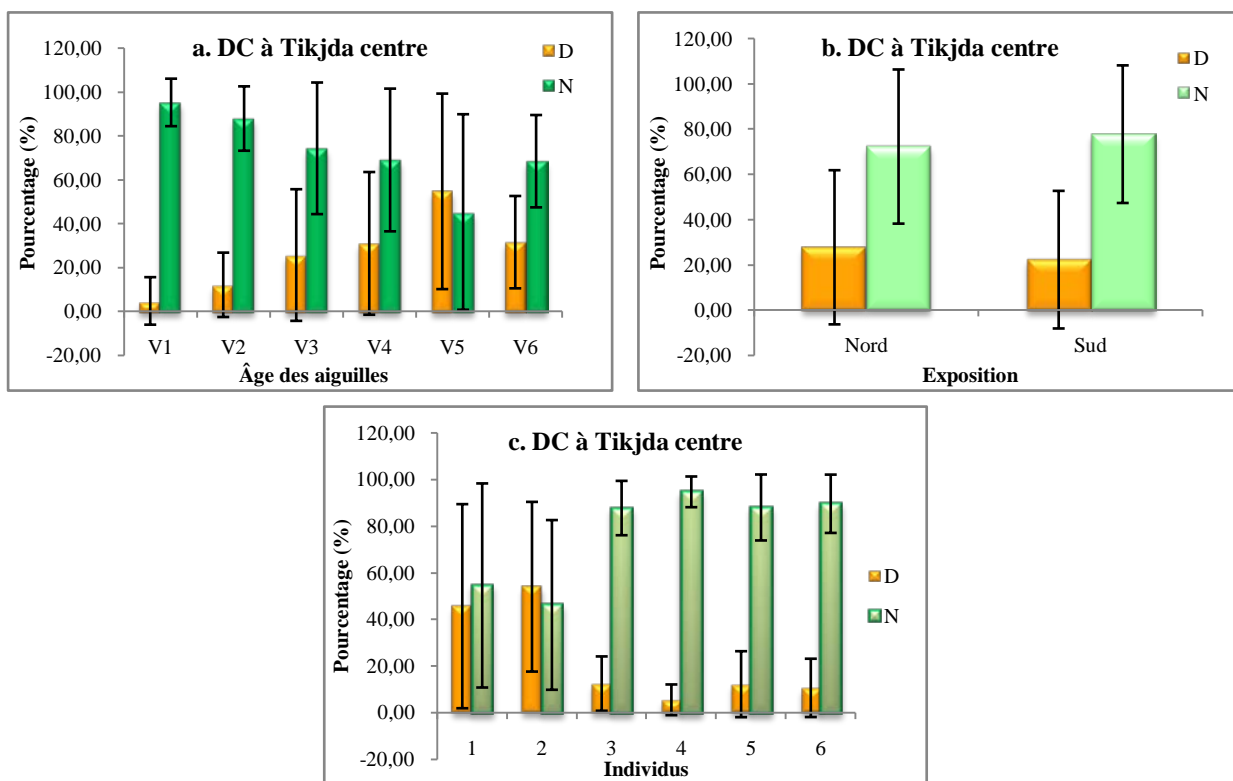


Figure 29 : Décoloration jaunâtre des aiguilles du pin noir (DC) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (c) à la station de Tikjda centre ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

Dans la station de Tala-Rana

Pour le facteur âge des aiguilles :

Le taux de présence de DC (56 %) est très élevé sur les aiguilles de l'année (V1) (Fig. 30a). Ce taux augmente avec l'âge des aiguilles pour atteindre 85 % à 3ans (V3) et un maximum de 100 % à partir de 4 ans (V4).

Pour le facteur exposition Nord /Sud :

Le taux de présence de DC est de 70 % sur les aiguilles exposées au Nord et 88 % sur les aiguilles exposées au Sud (Fig. 30b). Nous remarquons que le taux est élevé en fonction des deux expositions Nord et Sud.

Pour le facteur individus :

Le taux de présence de DC chez deux des quatre individus (Fig. 30c) est moyen (35 %). Ce taux devient très élevé chez les deux autres individus, avec respectivement 92 et 95 %.

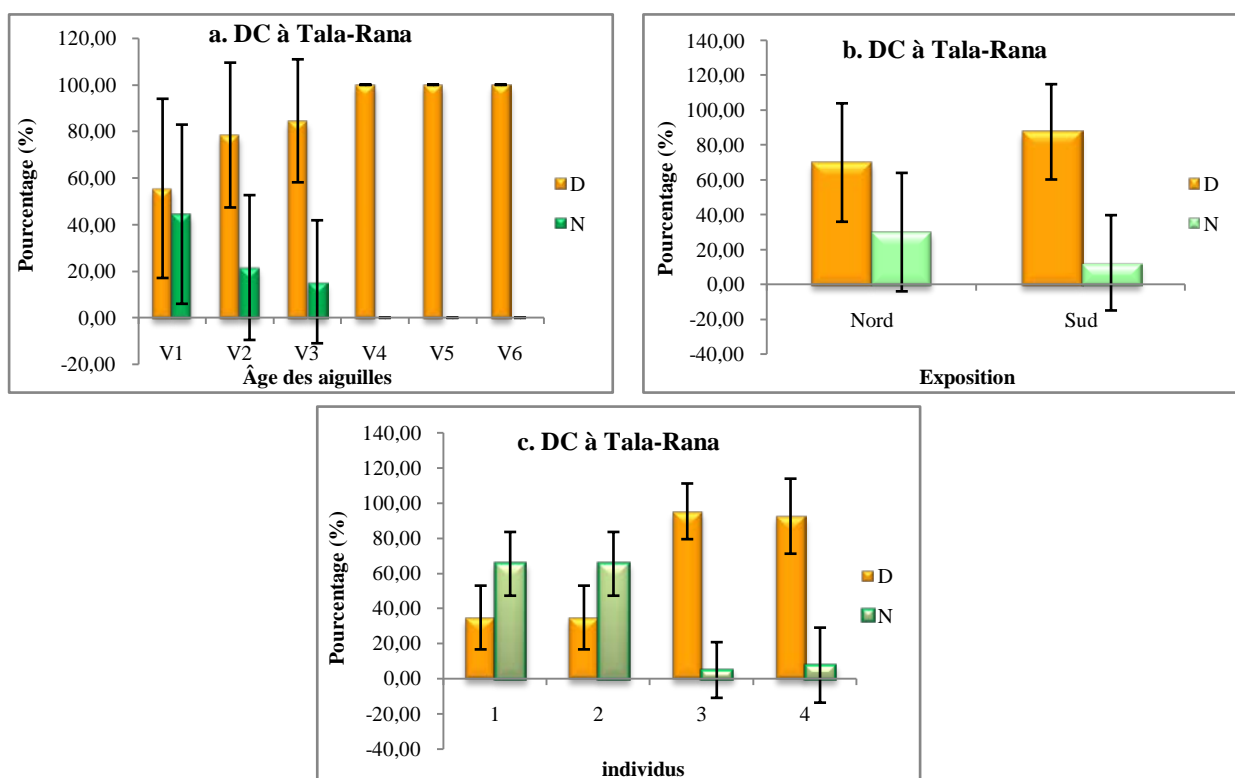


Figure 30 : Décoloration jaunâtre des aiguilles du pin noir (DC) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (c) à la station de Tala-Rana ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

1.1.1.3. Symptôme 4 : Décoloration sous forme de points d'impacts marrons (DPIM)

L'observation des aiguilles du pin noir à la loupe et au stéréo microscope, révèle la présence de taches marron (Fig. 31).

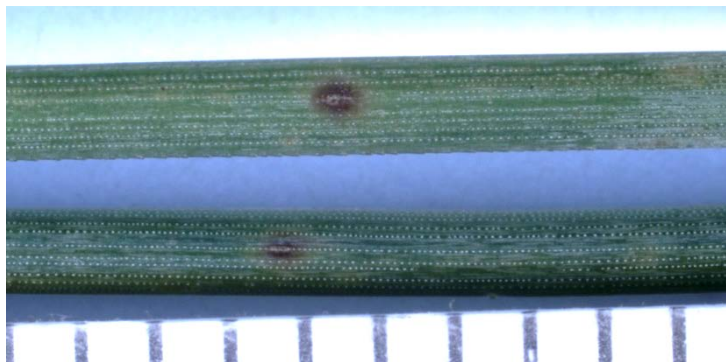


Figure 31 : Décoloration sous forme de taches marrons ; A : Face ventrale ;
B : Face dorsale (Hedjam, 2019)

Dans la station de Tigounatine

Pour le facteur âge des aiguilles :

- Chez les semis (Fig. 32a), le taux de présence de DPIM est très faible sur les aiguilles de l'année avec 3 % d'apparition. Ce taux augmente progressivement avec l'âge des aiguilles pour atteindre 50 % sur les aiguilles âgées de 5 ans.
- Chez les adultes (Fig. 32b), le taux de présence de DPIM (2 %) est très faible sur les aiguilles de l'année. Ce taux augmente à 53 % sur les aiguilles âgées de 4 - 5 ans pour atteindre un maximum de 75 % sur les aiguilles âgées de 6 ans.

La même tendance apparaît chez les semis et les adultes. La figure 32c relative à l'ensemble des individus (semis et adultes) montre que le symptôme augmente avec l'âge des aiguilles.

Pour le facteur hauteur des individus :

- Chez le semis (Fig. 32e), le taux le plus élevé de DPIM se trouve à la base du semis, entre 0 et 1 m de hauteur, avec 27 %. Ce taux diminue pour atteindre 13 % vers le sommet du semis, entre 2 et 4 m de hauteur.
- Chez les adultes (Fig. 32f), le taux de DPIM varie de 19% à la base de l'arbre, entre 0 et 1 m de hauteur, à 27 % vers le haut de l'arbre, entre 2 et 4 m de hauteur.

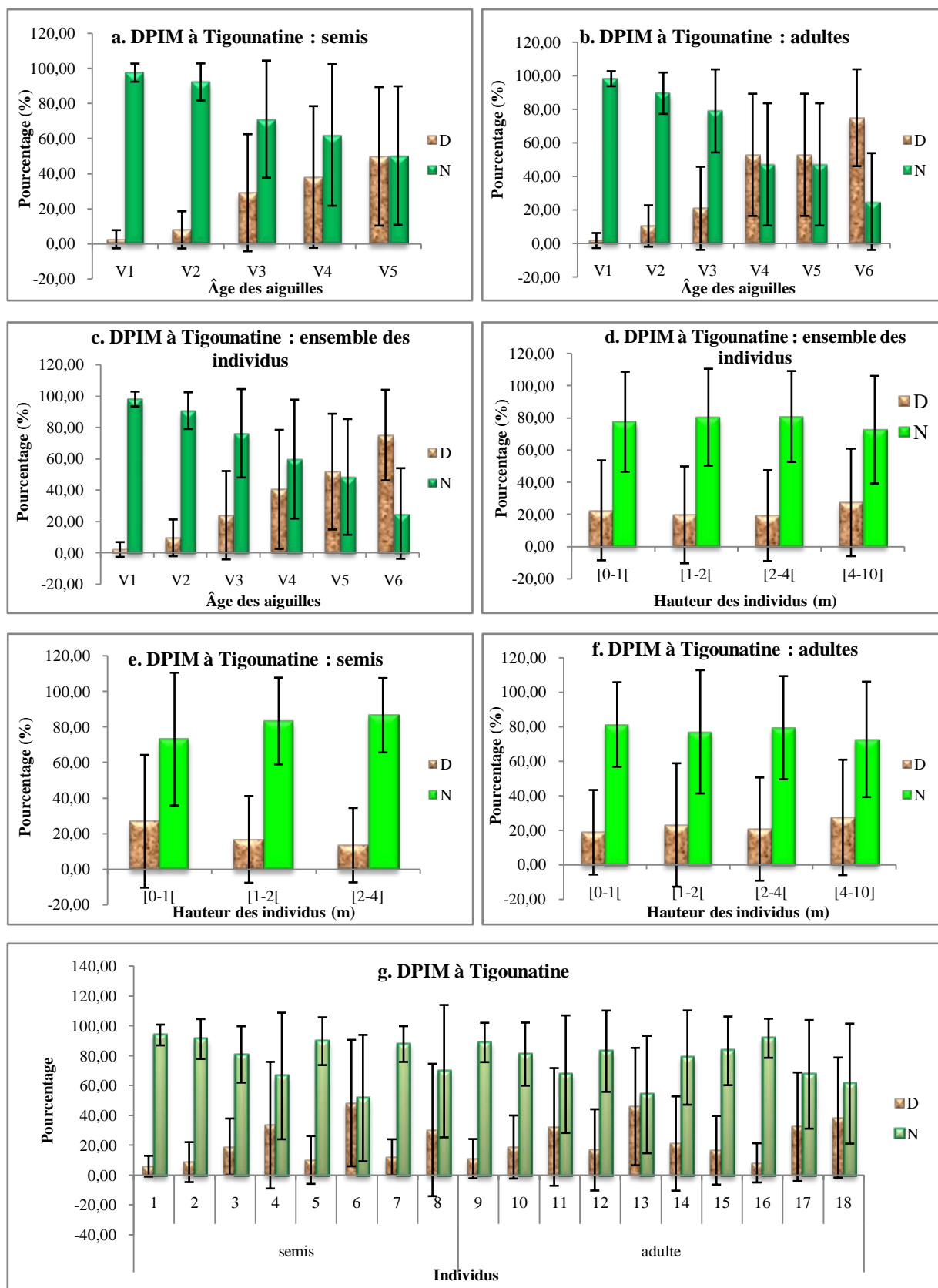


Figure 32 : Décoloration sous forme de points d’impacts marrons (DPIM) en fonction de l’âge des aiguilles (a, b, c), de la hauteur des individus (d, e, f), du type d’individu (a, b, e, f) et des individus (g) à la station de Tigounatine ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

Chez l'ensemble des individus (Fig. 32d), le taux de présence de DPIM varie de 19 à 27 % en fonction de la hauteur de l'individu.

Pour le facteur individus :

Le taux de présence de DPIM varie de 6 à 45 % (Fig. 32g). Chez les semis, sur les huit individus, trois ont présenté respectivement 30, 34 et 48 % de taux de présence de ce symptôme. Chez les adultes, sur les dix individus, trois ont présenté, respectivement, 32, 39 et 46 % de présence, taux qui sont similaires à ceux observés chez les semis.

Dans la station de Tikjda centre

Pour le facteur âge des aiguilles :

Le taux de présence de DPIM (Fig. 33a) est très faible sur les aiguilles de l'année avec 1 % d'apparition. Ce taux augmente progressivement avec l'âge des aiguilles pour atteindre 37 % sur les aiguilles âgées de 6 ans.

Pour le facteur exposition Nord/Sud :

Le taux de présence de DPIM est de 16 % en exposition Nord et 12 % à l'exposition Sud (Fig. 33b).

Pour le facteur individus :

Le taux de présence de DPIM varie de 8 à 21 % entre les individus (Fig. 33c). Seul un individu a présenté 21 %, les autres ont moins de 16 % de taux de présence .

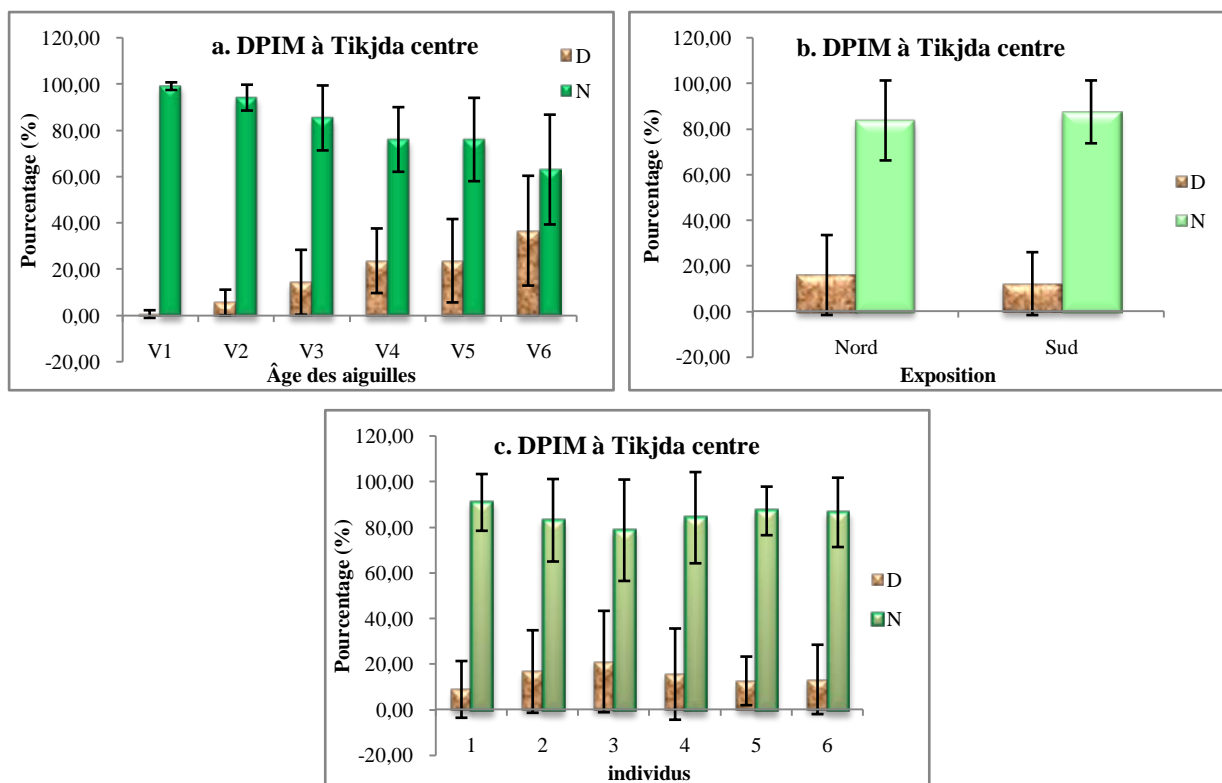


Figure 33 : Décoloration sous forme de points d’impacts marrons (DPIM) en fonction de l’âge des aiguilles (a), de l’exposition (b) et des individus (c) à la station de Tikjda centre ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

Dans la station de Tala-Rana :

Pour le facteur âge des aiguilles :

Le taux de présence de DPIM est faible (Fig. 34a), sur les aiguilles de l’année (V1), avec 6 % de présence. Ce taux augmente avec l’âge des aiguilles pour atteindre 80 % à 4 ans et son maximum (100 %) à 5 – 6 ans.

Pour le facteur exposition Nord / Sud :

Le taux de présence de DPIM (Fig. 34b) est presque similaire dans les deux expositions Nord et Sud, avec des taux de présence de 47 % et 42 %, respectivement.

Pour le facteur individu :

Le taux de présence de DPIM (Fig. 34c) varie de 30 à 56 % entre les individus. Deux d’entre - eux ont présenté respectivement 30 % et 37 % de ce symptôme et les deux autres 48 % et 56 %.

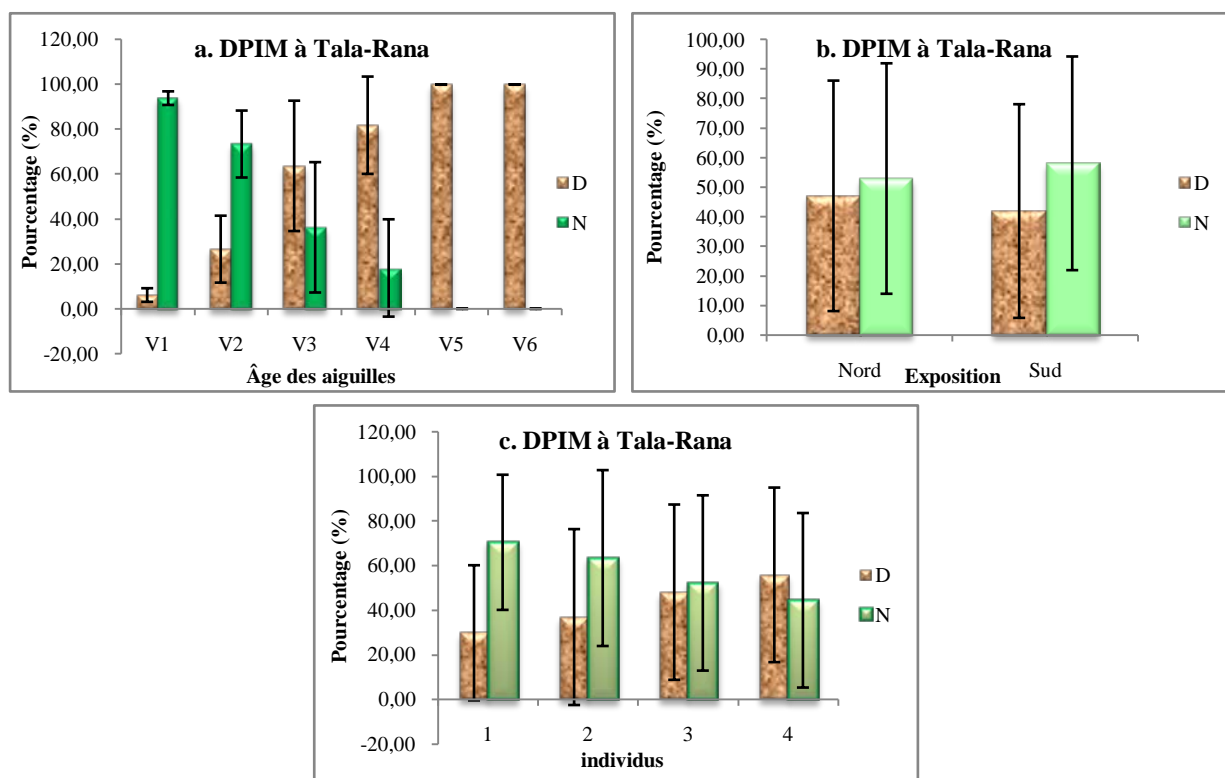


Figure 34 : Décoloration sous forme de points d’impacts marrons (DPIM) en fonction de l’âge des aiguilles (a), de l’exposition (b) et des individus (c) à la station de Tala-Rana ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

1.1.1.4. Symptôme 5: Aiguilles abîmées à leurs extrémités (AE)

Certaines aiguilles ont présenté un dessèchement accompagné de nécrose aux extrémités (Fig. 35). Ces parties nécrosées sont délimitées à la base par un anneau marron.



Figure 35 : Aiguilles abîmées à leurs extrémités. A : vue d'ensemble ; B : détail d'une aiguille ; C: chute des extrémités des aiguilles (Hedjam, 2019)

Dans la station de Tigounatine

Pour le facteur âge des aiguilles :

- Chez les semis (Fig. 36a), le taux de présence du symptôme des aiguilles abîmées à leurs extrémités (AE) est de 13 % sur les aiguilles de l'année (V1). Ce taux augmente pour atteindre 24 % à l'âge de 3 ans, puis diminue à 17 % sur les aiguilles âgées de 4 ans et 21 % sur les aiguilles âgées de 5 ans.
- Chez les adultes (Fig. 36b), la même tendance que chez les semis est observée. Le taux de présence d'AE varie entre 13 % sur les aiguilles de l'année (V1) et 22 % sur les aiguilles âgées de 5 ans.

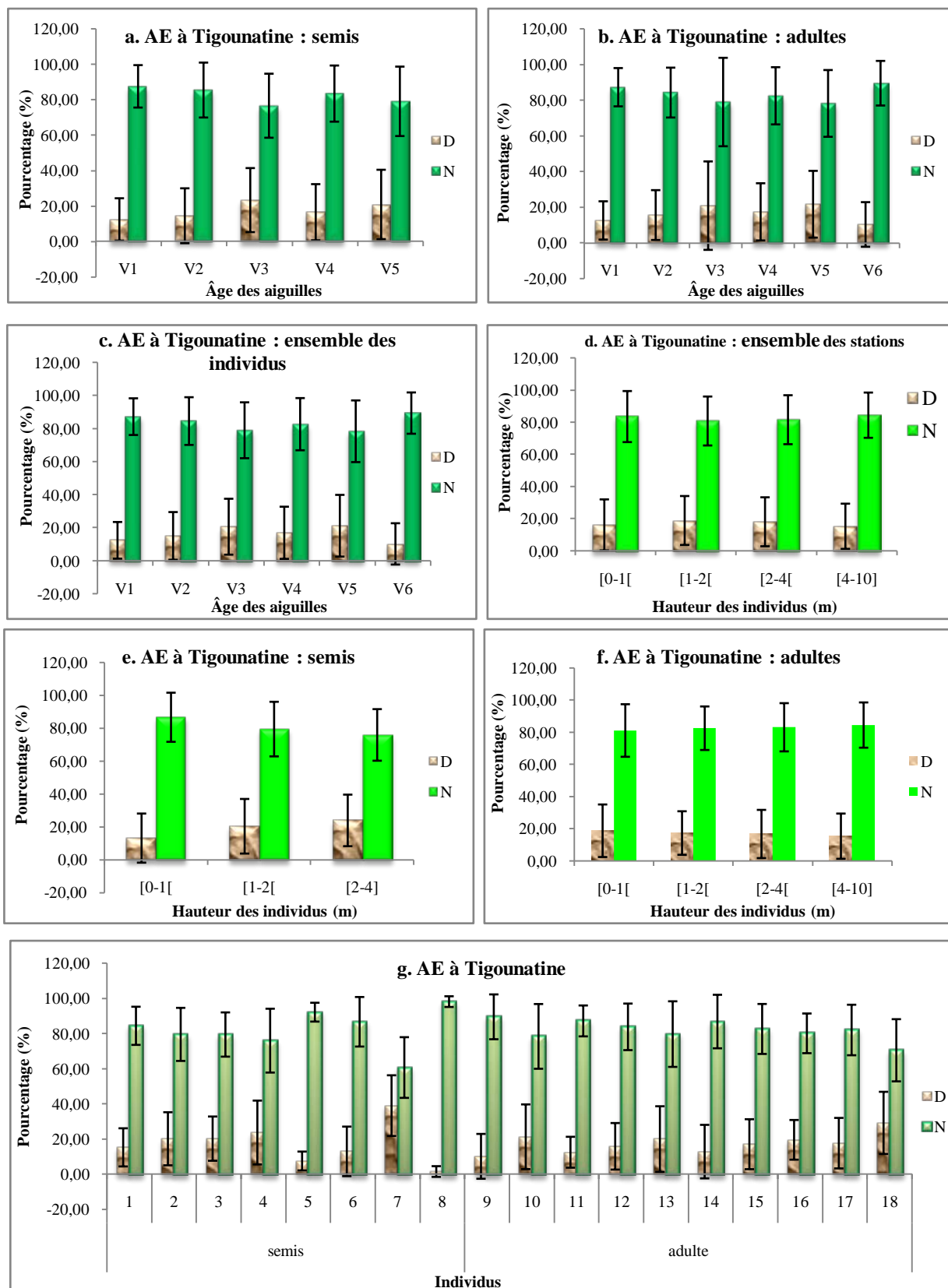


Figure 36 : Aiguilles abîmées à leurs extrémités (AE) en fonction de l'âge des aiguilles (a, b, c), de la hauteur des individus (d, e, f), du type d'individu (a, b, e, f) et des individus (g) à la station de Tigounatine ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

La même tendance apparaît chez les semis et les adultes. La figure 36c relative à l'ensemble des individus (semis et adultes) montre que le symptôme augmente avec l'âge des aiguilles.

Pour le facteur hauteur des individus :

- Chez les semis (Fig. 36e), le taux de présence du symptôme AE le plus faible, estimé à 13 %, se situe à la base du semis, entre 0 et 1 m de hauteur. Ce taux augmente avec la hauteur du semis pour atteindre 24 % à 2 - 4 m de haut.
- Chez les adultes (Fig. 36f), le taux de présence de ce symptôme semble similaire le long de l'arbre ; il est de 19 % à la base (0 à 1 m de hauteur) et 15 % en haut de l'arbre (4 à 10 m de hauteur).

Le taux de présence du symptôme AE chez les semis et les adultes est presque similaire en fonction de la hauteur. La figure 36d relative à l'ensemble des individus (semis et adultes) montre que le taux de présence du symptôme AE varie de 15 à 19 %.

Pour le facteur individus :

Le taux de présence du symptôme AE (Fig. 36g), varie de 7 à 39 %. Chez les semis, trois des huit individus ont respectivement 20 %, 24 % et 39 % de présence. Chez les adultes trois des dix individus ont respectivement 16 %, 20 % et 29 % de présence. Le taux de présence de ce symptôme est presque similaire chez les semis et les adultes.

Dans la station de Tikjda centre

Pour le facteur âge des aiguilles :

Le taux de présence du symptôme AE (Fig. 37a), est de 8 % sur les aiguilles de l'année. Ce taux augmente pour atteindre 52 % à 6 ans.

Pour le facteur exposition Nord / Sud :

Le taux de présence du symptôme AE (Fig. 37b) est de 26 % sur les aiguilles exposées au Nord et de 36 % sur les aiguilles exposées au Sud.

Pour le facteur individus :

Le taux de présence de l'AE (Fig. 37c) varie de 22 à 46 % entre les individus. Quatre des individus ont des taux relativement élevés qui sont respectivement 22, 25, 40 et 46 % de présence de ce symptôme.

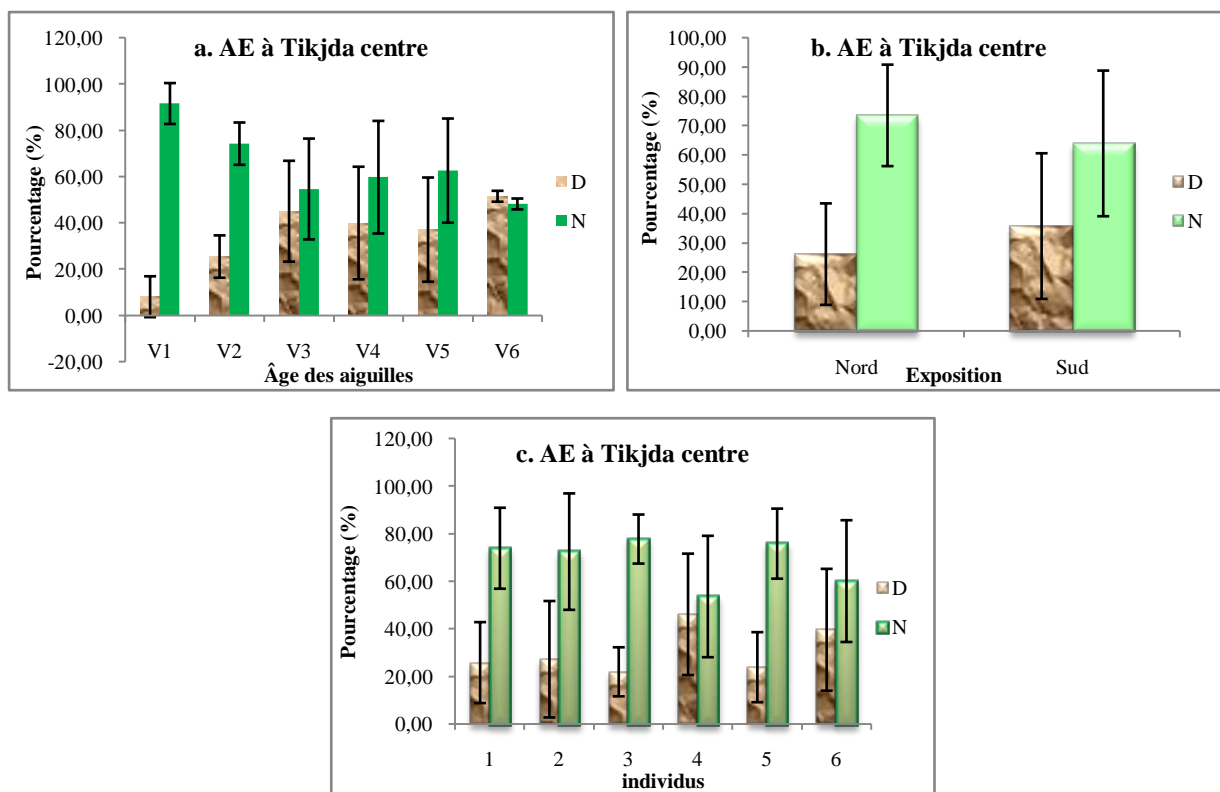


Figure 37 : Aiguilles abîmées à leurs extrémités (AE) en fonction de l’âge des aiguilles (a), de l’exposition (b) et des individus (c) à la station de Tikjda centre ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

Dans la station de Tala-Rana

Pour le facteur âge des aiguilles :

Le taux de présence des aiguilles abîmées à leurs extrémités (AE) (Fig. 38a) est de 9 % sur les aiguilles de l’année. Ce taux augmente à 45 % sur les aiguilles âgées de 3 ans, puis diminue avec les âges suivants : 4, 5 et 6 ans à cause de la diminution du nombre d’aiguilles.

Pour le facteur exposition Nord / Sud :

Le taux de présence du symptôme AE (Fig. 38b) est de 25 % sur les aiguilles exposées au Nord. Il est de 23 % sur les aiguilles exposées au Sud.

Pour le facteur individus :

Le taux de présence de l’AE (Fig. 28c) varie de 20 à 27 % entre les arbres.

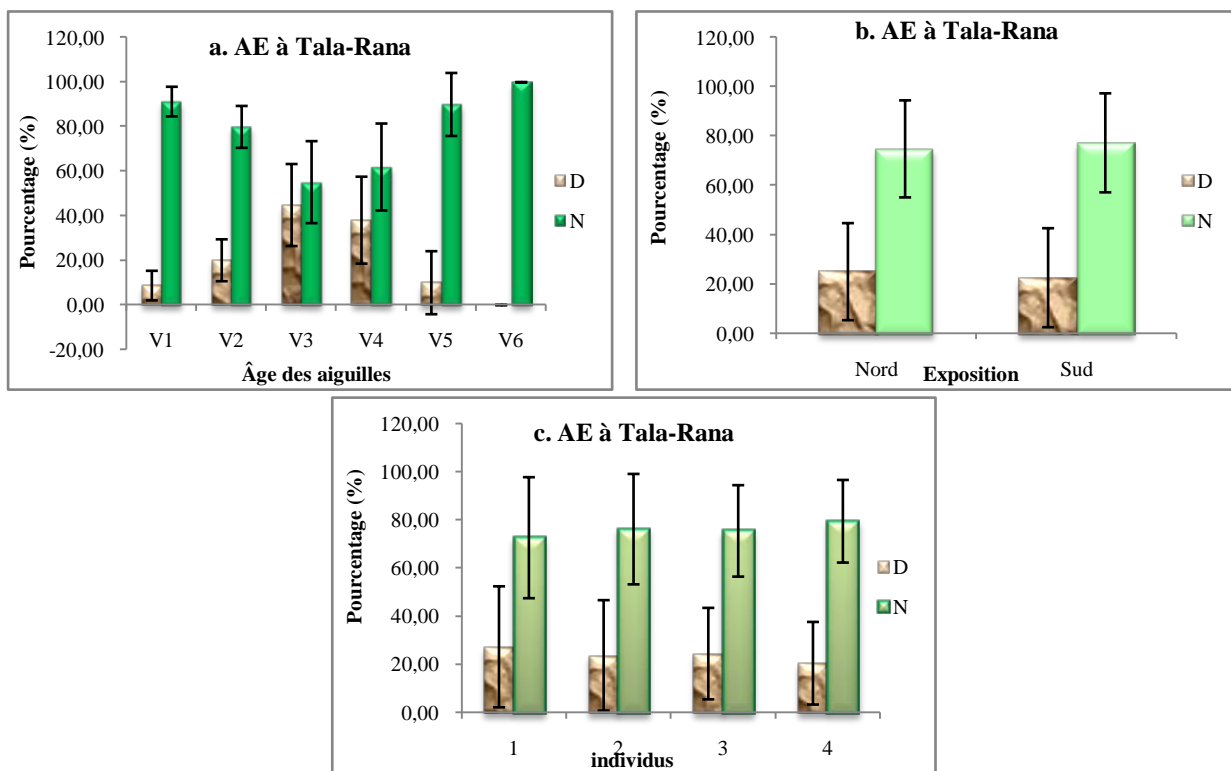


Figure 38 : Aiguilles abîmées à leurs extrémités (AE) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (c) à la station de Tala-Rana ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

1.1.1.5. Symptôme 6 : Décoloration entière ou partielle des aiguilles (AM)

Dans certains fascicules, une des deux aiguilles reste saine et vivante et l'autre est décolorée à moitié ou en totalité et est morte (Fig. 39).



Figure 39 : Décoloration de la moitié (A) ou de la totalité (B) d'une des deux aiguilles de certains fascicules du pin noir (Hedjam, 2019)

Dans la station de Tigounatine

Pour le facteur âge des aiguilles :

- Chez les semis (Fig.40a), le taux de présence du symptôme décoloration entière ou partielle des aiguilles (AM) est très faible sur les aiguilles de l'année avec 3 % de présence. Ce taux augmente avec l'âge des aiguilles pour atteindre 29 % sur les aiguilles âgées de 5 ans.
- Chez les adultes (Fig. 40b), le taux de présence du symptôme AM est très faible sur les aiguilles de l'année avec 3 % de présence. Ce taux augmente avec l'âge des aiguilles pour atteindre 27 % de présence sur les aiguilles âgées de 5ans, puis augmente encore pour atteindre 40 % sur les aiguilles âgées de 6 ans.

La tendance chez les semis et les adultes est la même. La figure 40c relative à l'ensemble des individus (semis et adultes) montre que le symptôme augmente avec l'âge des aiguilles.

Pour le facteur hauteur des individus :

- Chez les semis (Fig. 40e), le taux de présence de l'AM varie entre 7 et 13%. Les 13 % ont été retrouvées sur les aiguilles situées à la base du semis (0 à 1 m de hauteur).
- Chez les adultes (Fig.40f), le taux varie de 4 %, dans la classe de 2 à 4 m de hauteur, à 10 % de présence dans le haut pied de l'arbre (4 à 10 m).

Le taux de présence de l'AM est relativement faible et est presque similaire chez les semis et les adultes. L'ensemble des individus (semis et adultes) (Fig. 40d) montre que le taux de présence ne dépasse pas les 10 %.

Pour le facteur individus :

Chez l'ensemble des individus, le taux de présence de l'AM (Fig. 40g) a varié de 0,45 % à 34 %. Ces taux correspondent aux valeurs extrêmes retrouvées chez les semis, alors que chez les adultes les taux extrêmes sont respectivement 1,67 % et 29 %. Nous remarquons que le taux de présence de ce symptôme est presque similaire chez les semis et les adultes.

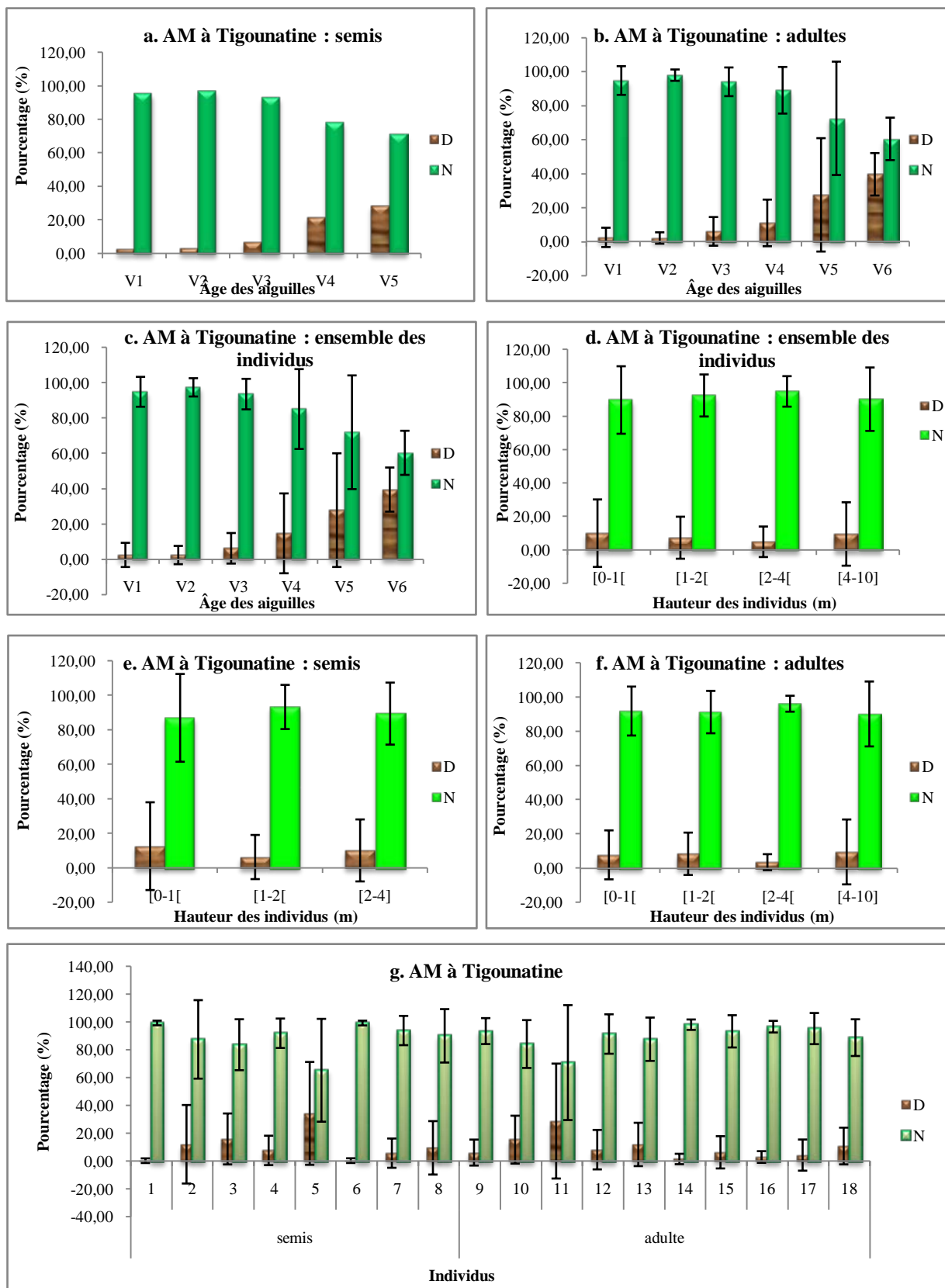


Figure 40 : Décoloration entière ou partielle des aiguilles (AM) en fonction de l'âge des aiguilles (a, b, c), de la hauteur des individus (d, e, f), du type d'individu (a, b, e, f) et des individus (g) à la station de Tigounatine ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

Dans la station de Tikjda centre

Pour le facteur âge des aiguilles :

Le taux de présence de l'AM (Fig. 41a) est très faible sur les aiguilles de l'année (0,50 %). Ce taux augmente progressivement pour atteindre 22 % à l'âge de 6 ans.

Pour le facteur exposition Nord /Sud :

En général, le taux de présence du symptôme AM (Fig.41b) sur les aiguilles est faible sur les deux expositions. Il est de 3 % sur l'exposition Nord et 4 % sur l'exposition Sud.

Pour le facteur individus :

Le taux de présence de l'AM (Fig. 41c) varie de 0,45 à 7 %. Deux individus ont présenté 6 % et 7 %, respectivement, les autres individus ont présenté moins de 2% de taux de présence de ce symptôme.

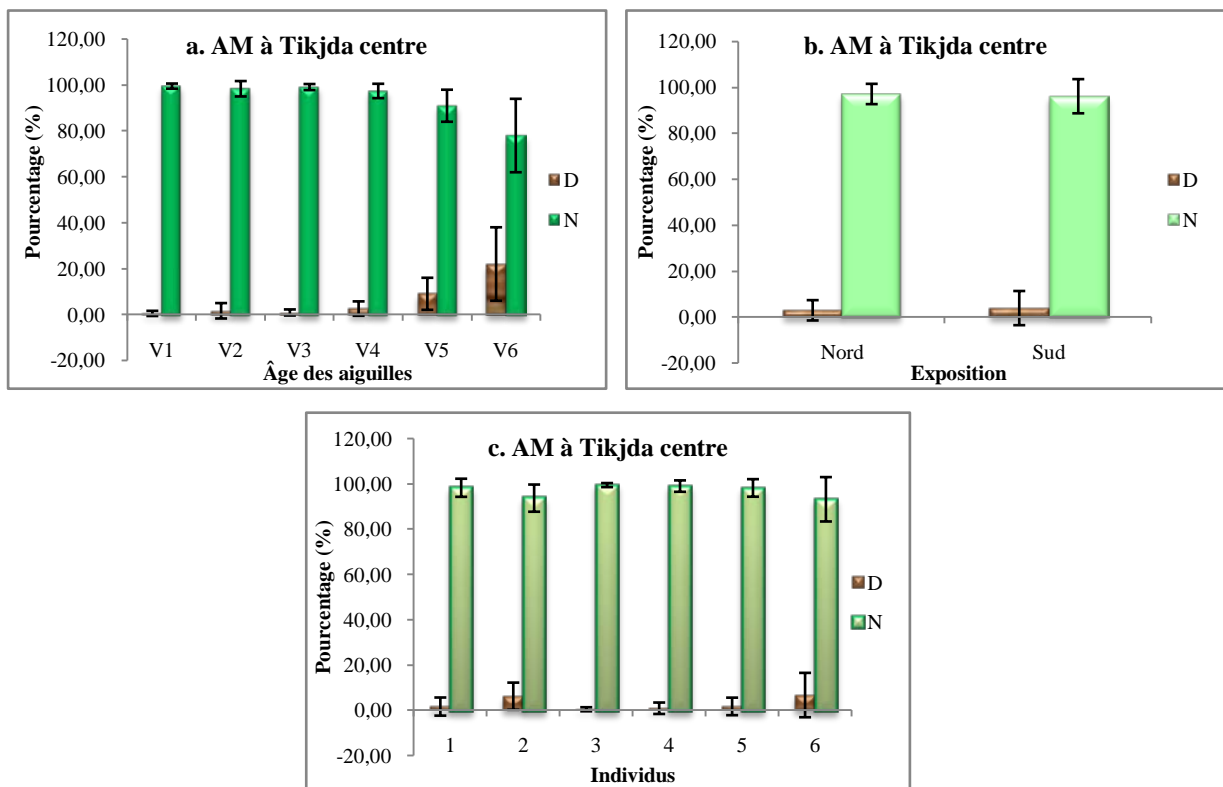


Figure 41 : Décoloration entière ou partielle des aiguilles (AM) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (c) à la station de Tikjda centre ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

Dans la station de Tala-Rana

Pour le facteur âge des aiguilles :

Le taux de présence du symptôme AM (Fig. 42a) est très faible (0,70 %) sur les aiguilles de l'année. Ce taux augmente jusqu'à 50 % sur les aiguilles âgées de 6 ans.

Pour le facteur exposition Nord / Sud :

En général, le taux de présence de l'AM (Fig. 42b) est faible. Sur les aiguilles exposées au Nord, il est de 7 % et sur celles exposées au Sud, il est de 5 %.

Pour le facteur individus :

Le taux de présence de l'AM (Fig. 42c) chez l'ensemble des individus varie de 3 à 11 %.

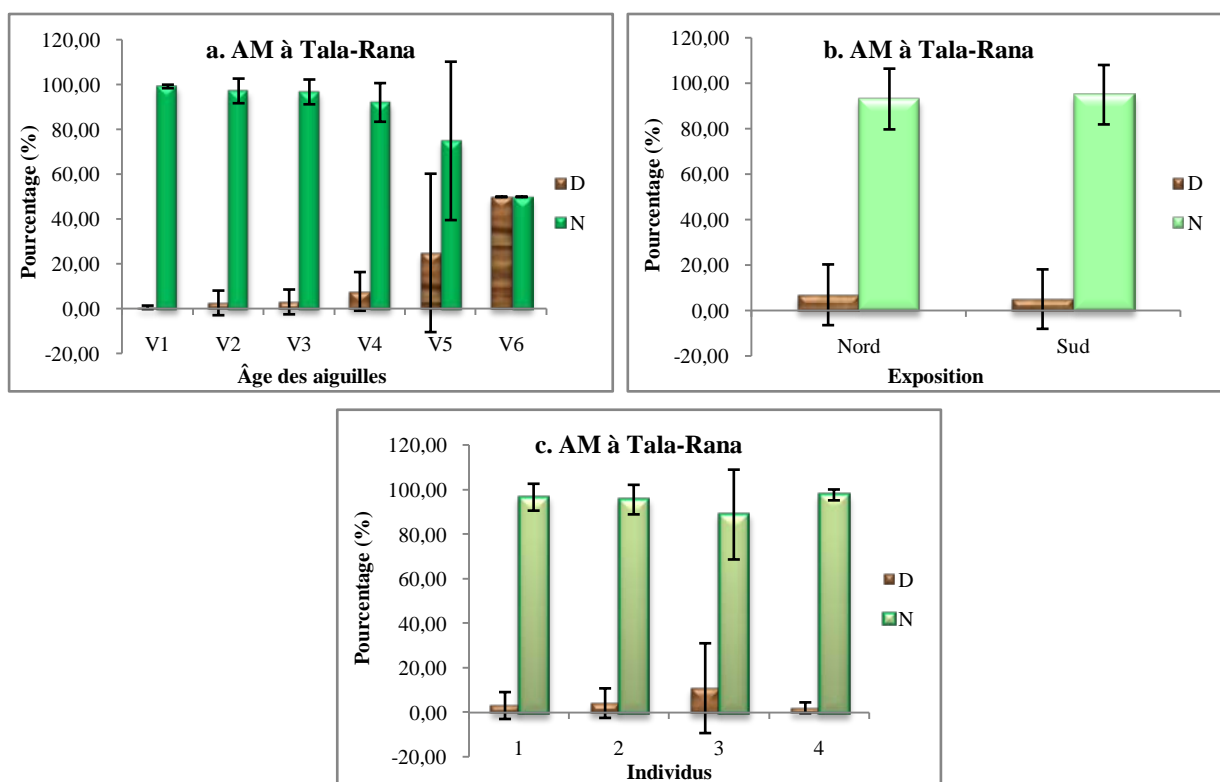


Figure 42 : Décoloration entière ou partielle des aiguilles (AM) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (c) à la station de Tala-Rana ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

1.1.1.6. Symptôme 7 et 8 : Décolorations sous forme de bandes circulaires jaunes (DBJ) et rouges-marrons (DBM)

Dans la figure 43, est illustré un autre type de décoloration : la décoloration peut être sous forme d'une bande circulaire jaune (Fig. 43A) au début, et qui vire au rouge-marron (Fig. 43 B et Fig. 43C) par la suite.

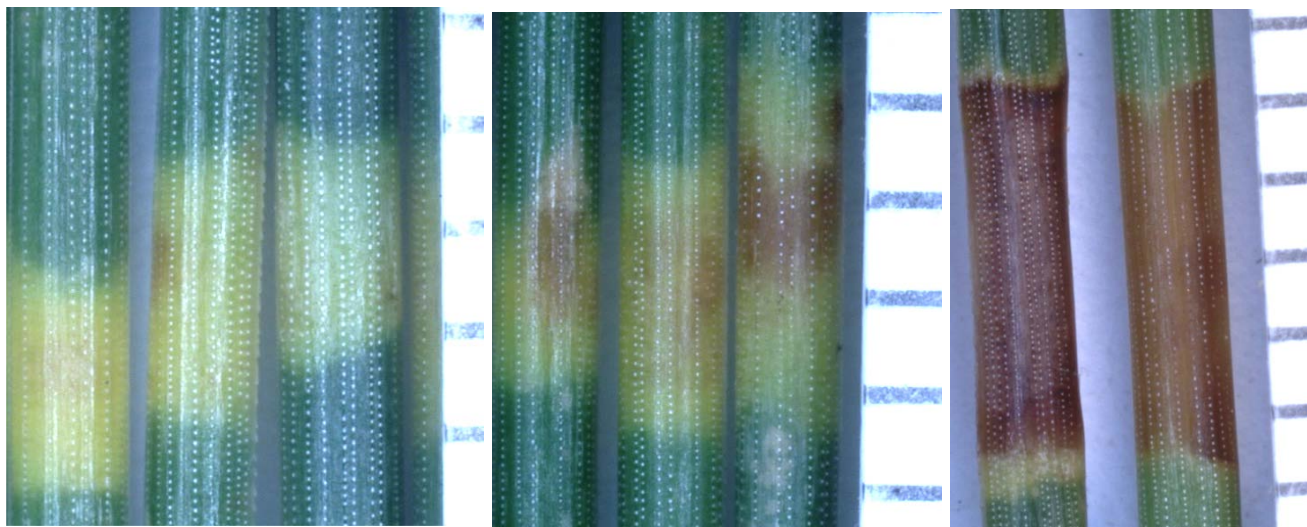


Figure 43 : Décoloration des aiguilles du pin noir sous forme d'une bande circulaire, A : jaune ; B : virage du jaune au rouge-marron ; C : rouge-marron avec des bordures jaunes (Hedjam, 2019).

a. Pour le symptôme DBJ

Dans la station de Tigounatine

Pour le facteur âge des aiguilles :

- Chez les semis (Fig. 44a), le taux de présence de la décoloration des aiguilles du pin noir sous forme d'une bande circulaire jaune (DBJ) est faible sur les aiguilles de l'année (2 %). Ce taux augmente pour atteindre 6 % et 5 % sur les aiguilles âgées respectivement de 2 ans et 5 ans.
- Chez les adultes (Fig. 44b), le taux de présence de DBJ est faible sur les aiguilles de l'année (3 %). Ce taux augmente pour atteindre 17 % sur les aiguilles âgées de 5 ans, puis diminue à 13 % sur les aiguilles âgées 6 ans.

La tendance chez les semis et les adultes est la même. L'ensemble des individus (semis et adultes) regroupés dans la figure 43c montrent que le symptôme augmente avec l'âge des aiguilles.

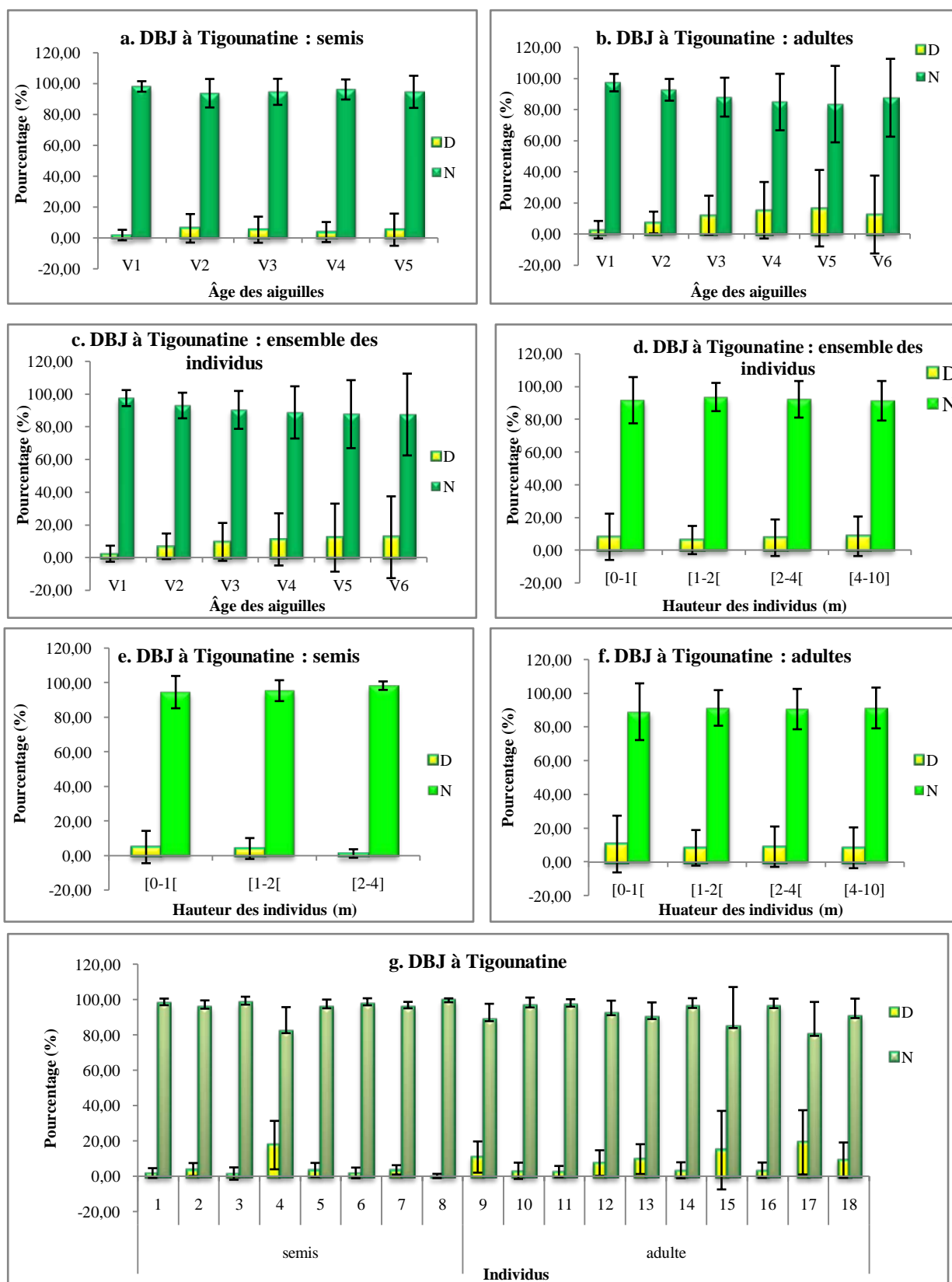


Figure 44 : décoloration sous forme de bandes jaunes (DBJ) en fonction de l'âge des aiguilles (a, b, c), de la hauteur des individus (d, e, f), du type d'individu (a, b, e, f) et des individus (g) à la station de Tigounatine ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

Pour le facteur hauteur des individus :

- Chez les semis (Fig. 44e), en général, le taux de présence de DBJ est très faible le long du semis. Ce taux varie de 5 à 2 % du bas vers le haut pied du semis.
- Chez les adultes (Fig. 44f), le taux de présence de DBJ est de 11% à la base de l'arbre (0 à 1 m de hauteur), à partir de 1 m vers le haut pied de l'arbre. Ce taux se stabilise à 9 % d'apparition.

Le taux de présence de DBJ est relativement faible et similaire chez les semis et les adultes. L'ensemble des individus (semis et adultes) (Fig. 44d) montre que le taux de présence de ce symptôme est presque stable chez les individus et varie entre 6 et 9 %.

Pour le facteur individus :

Le taux de présence de DBJ (Fig. 44g) varie de 0,35 à 19 % entre les individus. Chez les semis, seulement l'individu 4 qui présente 18 % de présence de ce symptôme, les autres individus présentent un taux qui ne dépasse pas 4 %. Par contre chez les adultes, six (06) individus sur dix (10) qui présentent un taux de présence qui varie du 7 à 19 % ; les autres ne dépassent pas les 4 %. Nous remarquons qu'il y a une différence de présence du symptôme DBJ entre les semis et les adultes.

Dans Tikjda centre**Pour le facteur âge des aiguilles :**

Le taux de présence de DBJ (Fig. 45a) est presque nul sur les aiguilles de l'année (0,65 %). Ce taux est de 11 % sur les aiguilles âgées de 4 ans puis disparaît complètement (0 %) sur les aiguilles âgées de 6 ans.

Pour le facteur exposition Nord / Sud :

Le taux de présence est similaire entre les deux expositions Nord et Sud (Fig. 45b). Il est de 7 % et de 6 % respectivement.

Pour le facteur individus :

Le taux de présence de DBJ (Fig. 45c) varie de 0,87 à 18 %. Trois individus ont présenté respectivement des taux de présence moyennement élevés estimés à 9, 12 et 18 %. Les trois

autres individus ont présenté des taux faibles, estimés respectivement à 0,87, 4 et 5 % de taux de présence de ce symptôme.

Nous remarquons une différence entre les taux de présence du symptôme DBJ entre les individus.

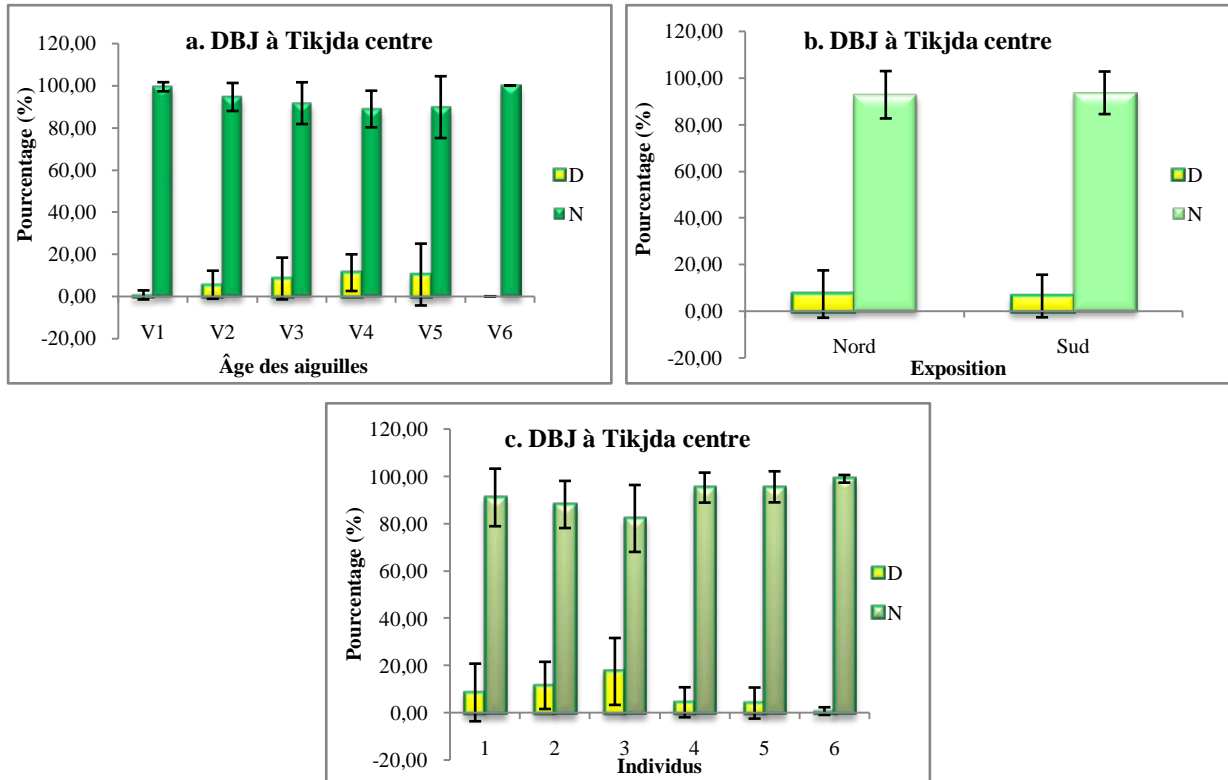


Figure 45 : Décoloration sous forme de bandes jaunes (DBJ) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (c) et des individus (g) à la station de Tikjda centre ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

Dans la station de Tala-Rana

Pour le facteur âge des aiguilles :

Le taux de présence de DBJ (Fig. 46a) est très faible sur les aiguilles de l'année (0,73 %). Ce taux augmente avec l'âge des aiguilles pour atteindre 18% sur les aiguilles de 4 ans ; puis le symptôme disparaît sur les aiguilles âgées de 6 ans.

Pour le facteur exposition Nord / Sud :

Le taux de présence du symptôme DBJ (Fig. 46b) est identique (6 %) sur les aiguilles exposées au Nord et au Sud.

Pour le facteur individus :

Le taux de présence de DBJ sur l'ensemble des individus (Fig. 46c) varie de 2 à 10 %.

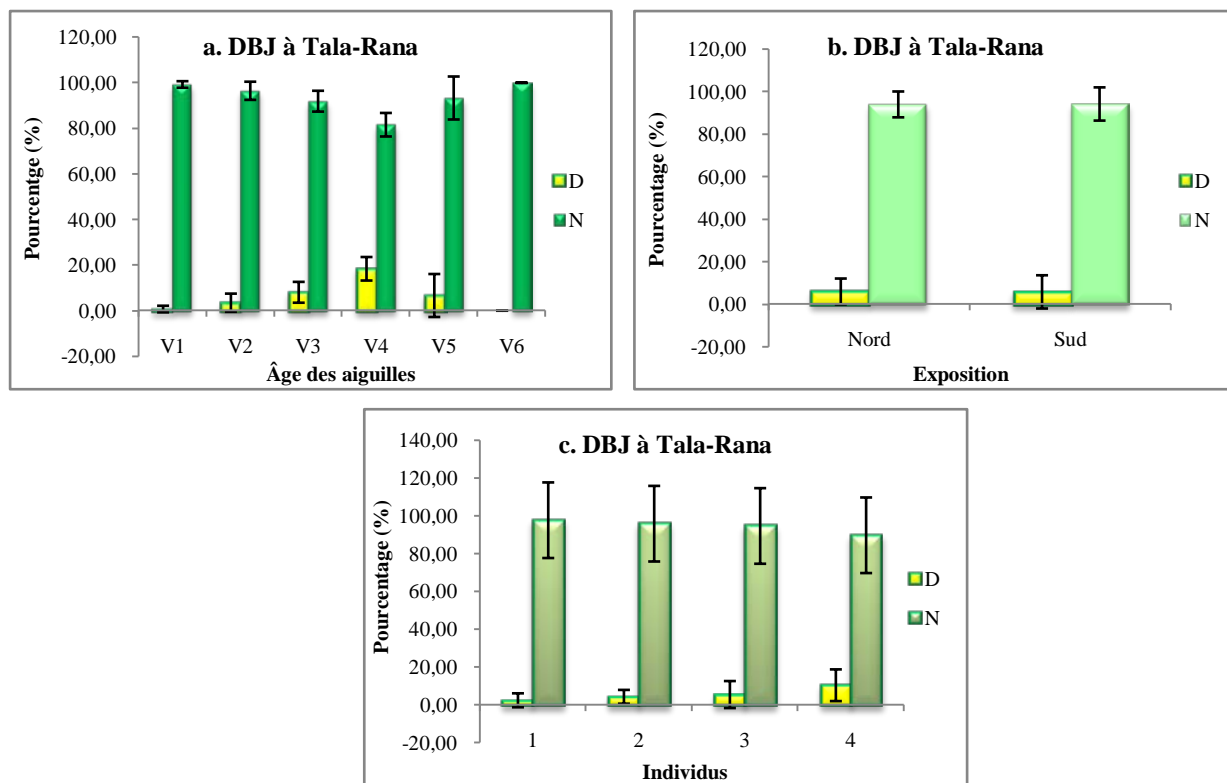


Figure 46 : Décoloration sous forme de bandes jaunes (DBJ) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (c) et des individus (g) à la station de Tala-Rana ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

b. Pour le symptôme DBM

Dans la station de Tigounatine

Pour le facteur âge des aiguilles :

- Chez les semis (Fig. 47a), le taux de présence de DBM est presque nul (0,25 %) sur les aiguilles de l'année. Ce taux augmente avec l'âge des aiguilles pour atteindre 25 % sur les aiguilles âgées de 5 ans.
- Chez les adultes (Fig. 47b), le taux de présence du symptôme DBM est presque nul (0,31 %). Ce taux augmente pour atteindre 75 % sur les aiguilles âgées de 6 ans.

La tendance chez les semis et les adultes est la même. L'ensemble des individus (semis et adultes) regroupés dans la figure 47c. Cette dernière montre que le symptôme augmente avec l'âge des aiguilles.

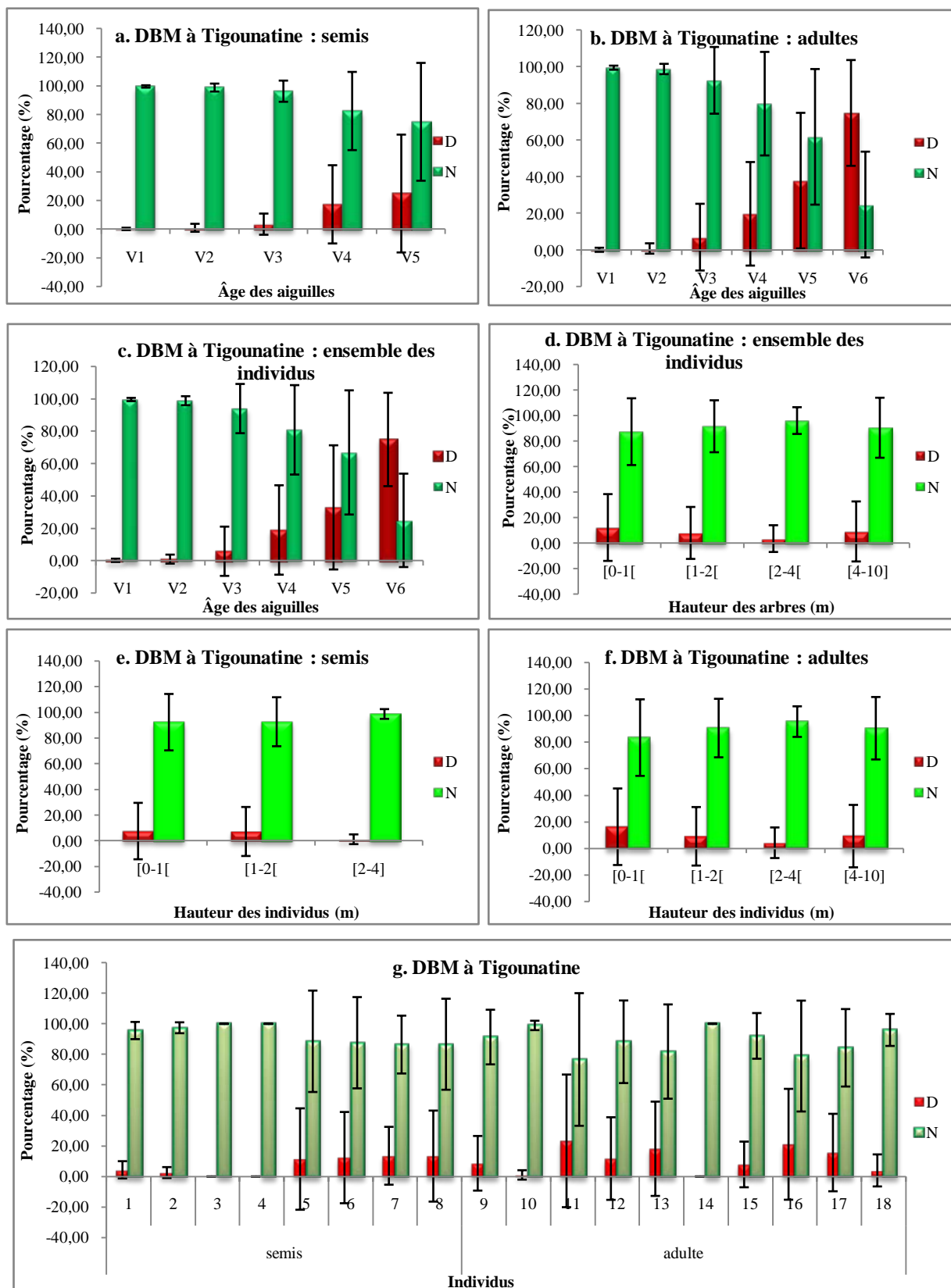


Figure 47 : Décoloration sous forme de bandes rouges-marrons (DBM) en fonction de l'âge des aiguilles (a, b, c), de la hauteur des individus (d, e, f), du type d'individu (a, b, e, f) et des individus (g) de la station de Tigounatine ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

Pour le facteur hauteur des individus :

- Chez le semis (Fig. 47e), le taux de présence de DBM le plus élevé (8 %) se situe à la base du semis, entre 0 et 1 m de hauteur. Ce taux a tendance à diminuer avec la hauteur du semis pour atteindre 1% à 2 - 4 m de hauteur des individus.
- Chez les adultes (Fig. 47f), la même tendance que chez les semis est observée. Le taux le plus élevé (16 %) de DBM touche les aiguilles situées à la base de l'arbre, entre 0 et 1 m de hauteur. Ce taux diminue à 4 % sur les aiguilles situées sur une hauteur de l'arbre de 2 - 4 m. Ce taux augmente à une hauteur située entre 4 et 10 m pour atteindre 9 % d'apparition.

Le taux de présence de DBM est relativement faible et est presque similaire chez les semis et les adultes. L'ensemble des individus (semis et adultes) (Fig. 47d) montre que le taux de présence varie entre 4 et 13 %.

Pour le facteur individus :

Le taux de présence de DBM sur l'ensemble des individus varie de 0 à 23 % (Fig. 47g).

- Chez les semis, deux individus ne présentent pas ce symptôme, pour les six autres individus, le taux de présence varie de 4 à 14 %.
- Chez les adultes, un individu ne présente pas ce symptôme, les neuf autres individus présentent un taux de présence qui varie de 1 à 23 %.

Dans la station de Tikjda centre

D'après la figure 48, en générale, le taux de présence du symptôme DBM est très faible et ne dépasse pas les 2 % en fonction des facteurs étudiés à savoir : l'âge des aiguilles (Fig. 48a), l'exposition Nord et Sud (Fig. 48b) et les individus (Fig. 48c).

Dans la station de Tala-Rana

En général le taux de présence du symptôme DBM est faible.

Pour le facteur âge des aiguilles :

Le taux de présence de DBM (Fig. 49a) varie de 0,43 %, sur les aiguilles de l'année à 15 % sur les aiguilles âgées de 4 ans. Ce taux diminue pour atteindre 5% sur les aiguilles de 5ans

Pour le facteur exposition Nord /Sud :

Le taux de présence de DBM (Fig. 49b) est faible. Il est de 6 % sur les aiguilles exposées au Nord et de 2 % sur les aiguilles exposées au Sud.

Pour le facteur individus :

Le taux de présence de DBM chez l'ensemble des individus (Fig. 49c) varie de 0,47 à 9 %.

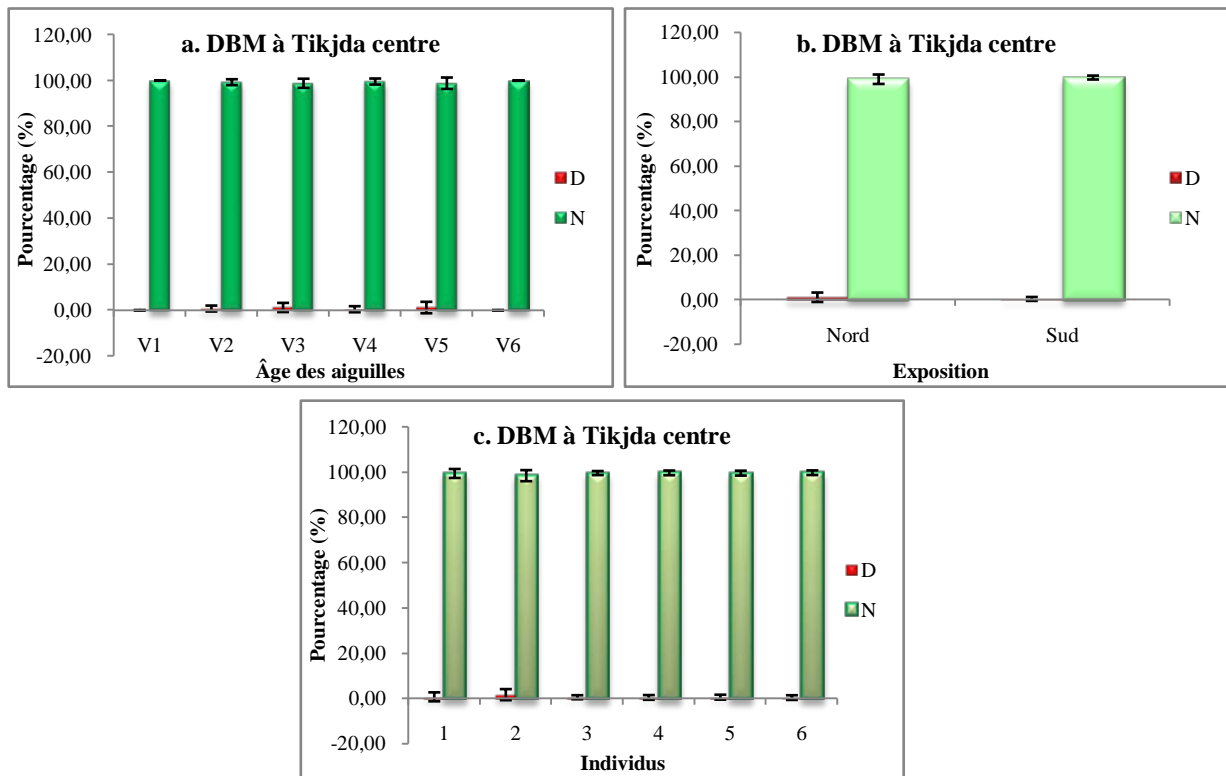


Figure 48 : Décoloration sous forme de bandes rouges-marrons (DBM) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (c) à la station de Tikjda centre ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

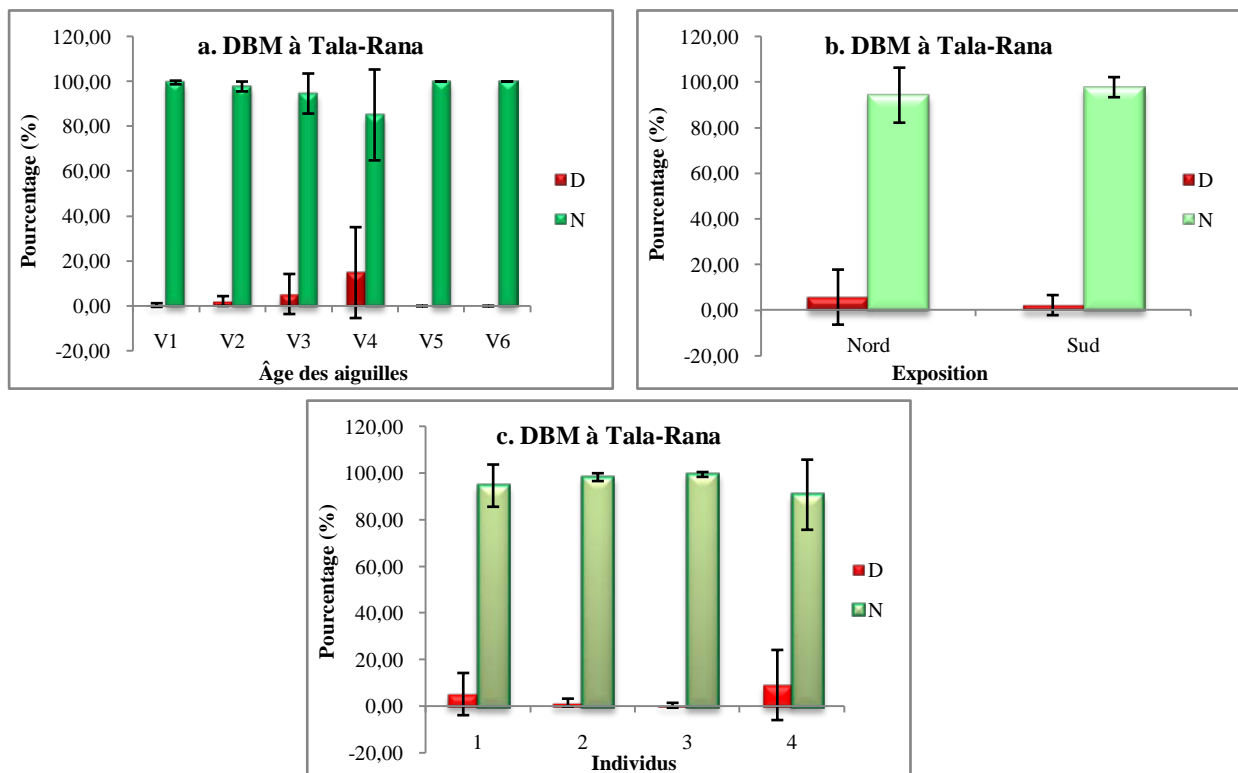


Figure 49 : Décoloration sous forme de bandes rouges-marrons (DBM) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (c) à la station de Tala-Rana ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

1.1.1.7. Symptôme 9 : décolorations sous forme de bandes transparentes (DBT)

Il existe également sur les aiguilles de pin noir un autre type de décoloration sous forme de taches circulaires transparentes (Fig. 50).

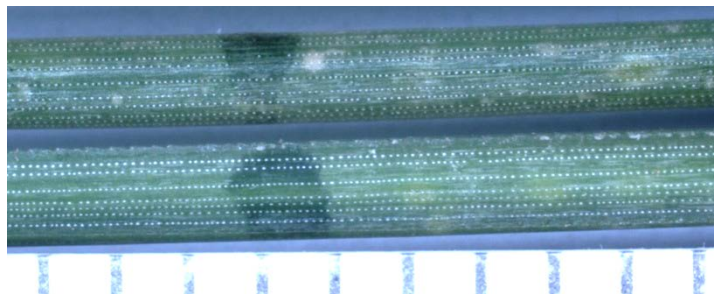


Figure 50 : Décolorations sur les aiguilles du pin noir sous forme de taches circulaires transparentes, observées sur la face dorsale (A) et sur la face ventrale (B) (Hedjam, 2019).

Dans la station de Tigounatine

Pour le facteur âge des aiguilles :

- Chez les semis (Fig. 51a), le taux de présence de la décoloration sous forme de taches circulaires transparentes (DBT) est très faible sur les aiguilles de l'année avec 1 % d'apparition. Ce taux augmente avec l'âge des aiguilles pour atteindre 32 % sur les aiguilles âgées de 5 ans.
- Chez les adultes (Fig.51b), le taux de présence de DBT est faible sur les aiguilles de l'année avec 2 % de présence. Ce taux augmente pour atteindre 17 % sur les aiguilles de 6 ans.

La tendance chez les semis et les adultes est la même. L'ensemble des individus (semis et adultes) est regroupé dans la figure 51c. Cette dernière montre que le taux de présence du symptôme augmente avec l'âge des aiguilles.

Pour le facteur hauteur des individus :

- Chez le semis (Fig. 51e), le taux de présence de DBT est stable à la base des individus et à la moyenne hauteur des semis, entre 0 à 2 m de hauteur, avec 8 % d'apparition. Ce taux augmente à la hauteur du semis de 2 et 4 m pour atteindre 13 % d'apparition.
- Chez les adultes (Fig. 51f), le taux de présence de DBT varie de 3 à 11 % de la base au haut pied de l'arbre.

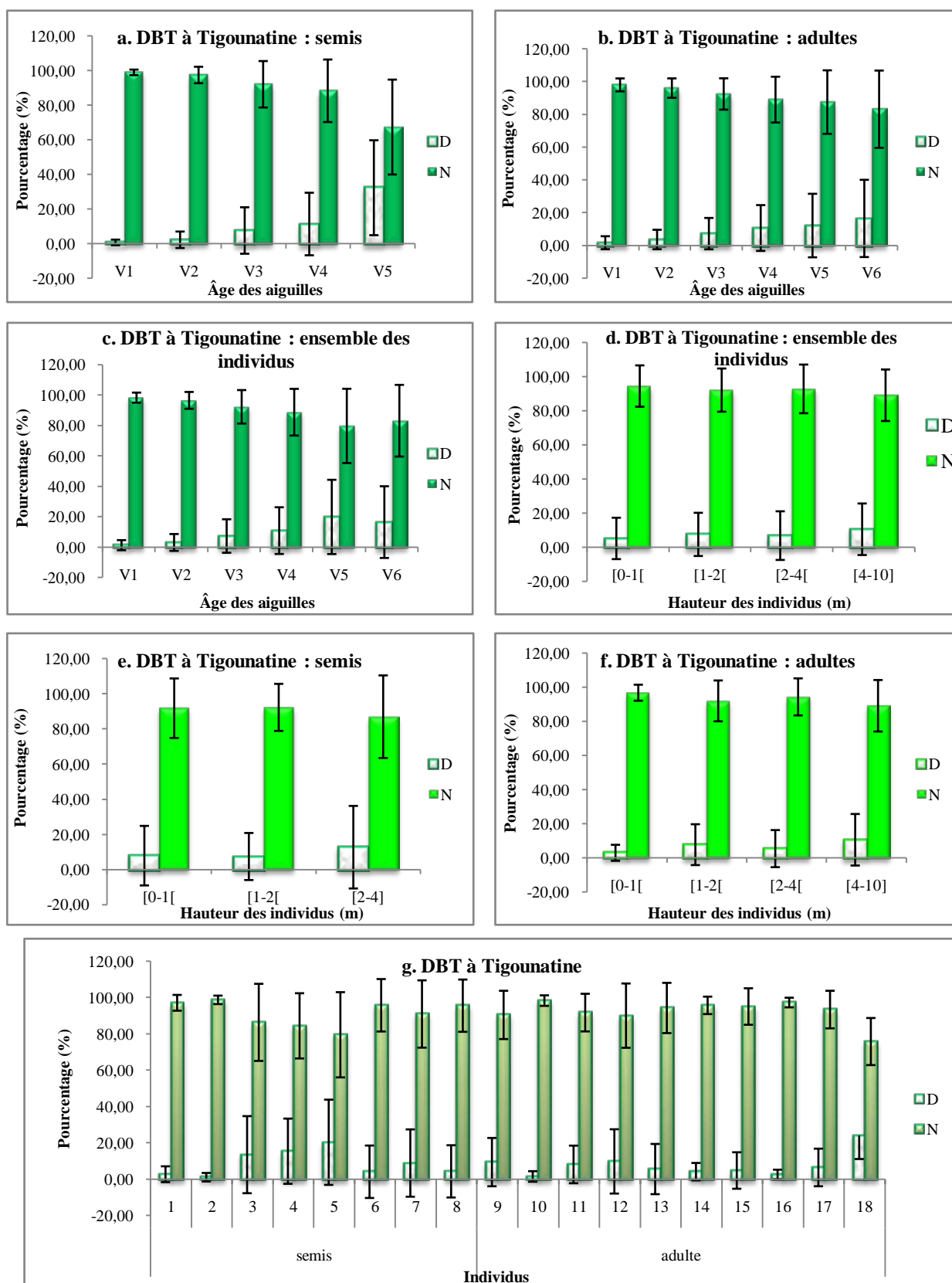


Figure 51 : Décoloration sous forme de bandes transparentes (DBT) en fonction de l'âge des aiguilles (a, b, c), de la hauteur des individus (d, e, f), du type d'individu (a, b, e, f) et des individus (g) à la station de Tigounatine ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

Le taux de présence de DBT est relativement faible et presque similaire chez les semis et les adultes. L'ensemble des individus (semis et adultes) sont regroupés dans la figure 51d. Cette dernière montre que le taux de présence global varie entre 5 et 10 %.

Pour le facteur individus :

Le taux de présence de DBT (Fig. 51g) varie de 1 à 24 % pour l'ensemble des individus.

- Chez les semis, trois individus ne dépassent pas 4 % de taux de présence de ce symptôme, les cinq autres semis présentent un taux supérieur à 7 % et un maximum de 20 %.
- Chez les adultes, quatre individus ne dépassent pas les 4 % de présence et les six autres individus présentent un taux supérieur à 6 % et un maximum de 24 %.

Dans la station de Tikjda centre

Pour le facteur âge des aiguilles :

Le taux de présence du symptôme DBT (Fig. 52a) est faible avec 3 % d'apparition. Ce taux varie avec l'âge des aiguilles pour atteindre 7 % à 5 ans.

Pour le facteur exposition Nord / Sud :

Le taux de présence de DBT (Fig. 52b) est très faible sur les expositions Nord et Sud avec 2 % et 1 % respectivement.

Pour le facteur individus :

Le taux de présence de DBJ (Fig. 52c) varie de 1 à 7 % entre les individus.

Dans la station de Tala-Rana

Pour le facteur âge des aiguilles :

Le taux de présence de DBT (Fig. 53a) est très faible sur les aiguilles de l'année avec 1 % d'apparition. Ce symptôme augmente pour atteindre 4 % sur les aiguilles âgées de 3 ans, puis diminue pour disparaître (0 %) sur les aiguilles de 6 ans.

Pour le facteur exposition Nord / Sud :

Le taux de présence de DBT (Fig. 53b) est très faible sur les aiguilles soumises aux deux expositions, avec 2 % au Nord et 1 % au Sud.

Pour le facteur individus :

Le taux de présence du symptôme DBT (Fig. 53c) est faible et il varie entre 0,33 et 3 % entre les individus.

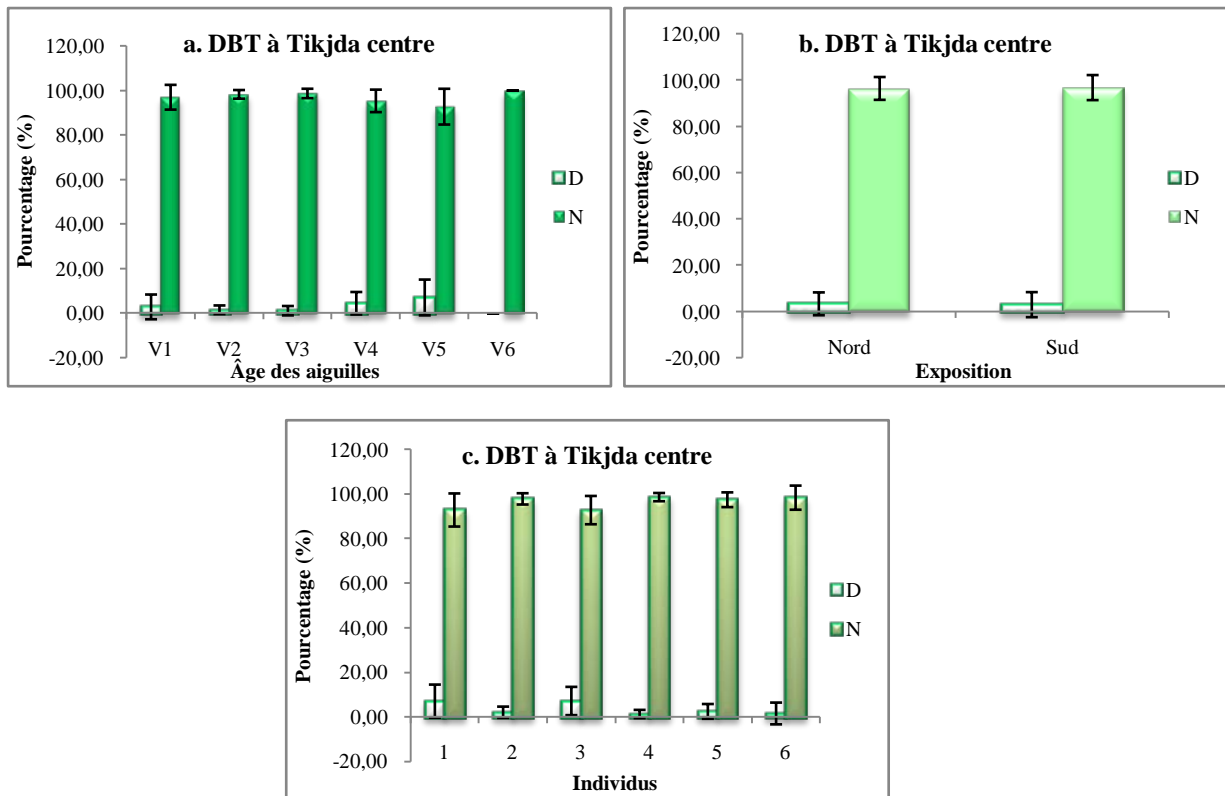


Figure 52 : Décoloration sous forme de bandes transparentes (DBT) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (d) à la station de Tikjda centre ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

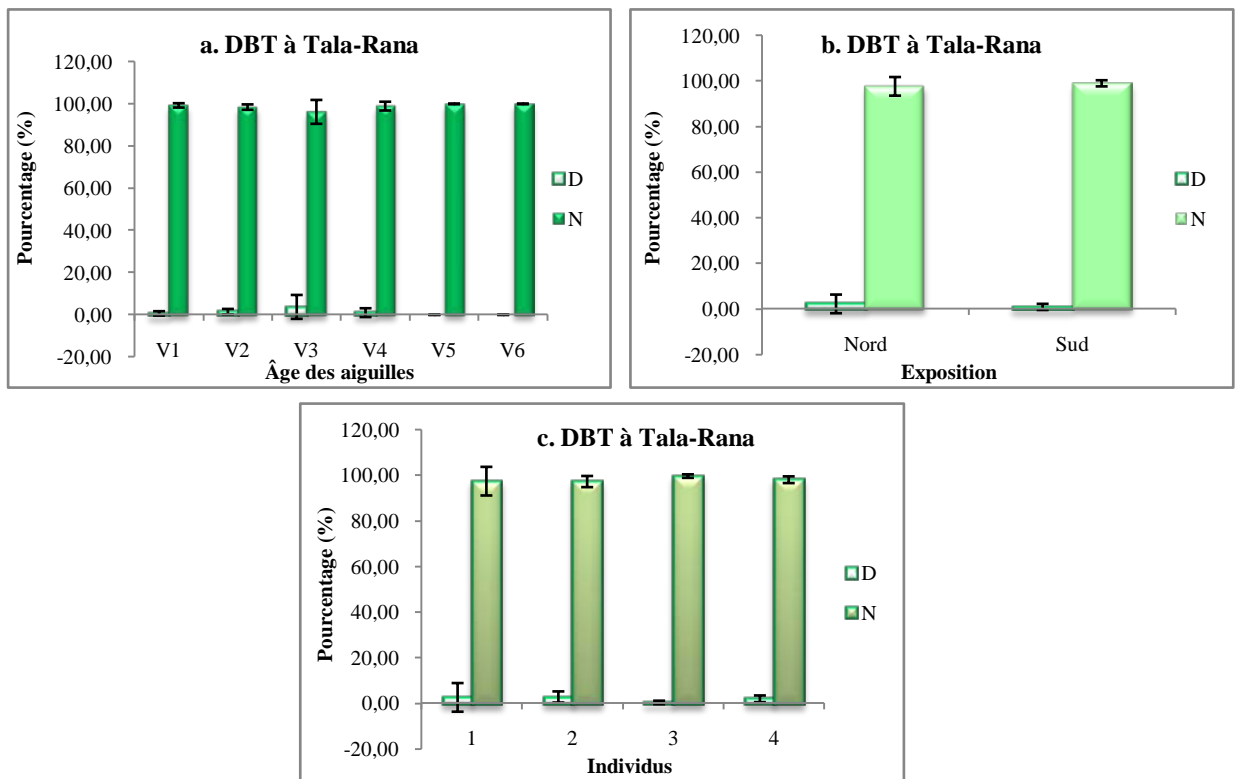


Figure 53 : Décoloration sous forme de bandes transparentes (DBT) en fonction de l'âge des aiguilles (a), de l'exposition (b) et des individus (d) à la station de Tala-Rana ; D : décoloré ; N : normal. V : verticille ; 1, 2, 3, 4 et 5 = âge en année.

1.1.1.8. Divers symptômes peu fréquents

Au cours de nos différentes sorties sur terrain, nous avons observé d'autres types de symptômes ou des décolorations très peu fréquentes pour lesquelles nous n'avons pas fait d'études approfondies :

- Décolorations sous forme d'anneaux noirs (Fig. 54) ;
- Décolorations sous forme de pustules ouvertes par des déchirures sur la face supérieure (Fig. 55) ; ces pustules ont été identifiées par le Docteur Mansour-Benamar, enseignante à la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, comme étant les symptômes d'une rouille (champignon pathogène).

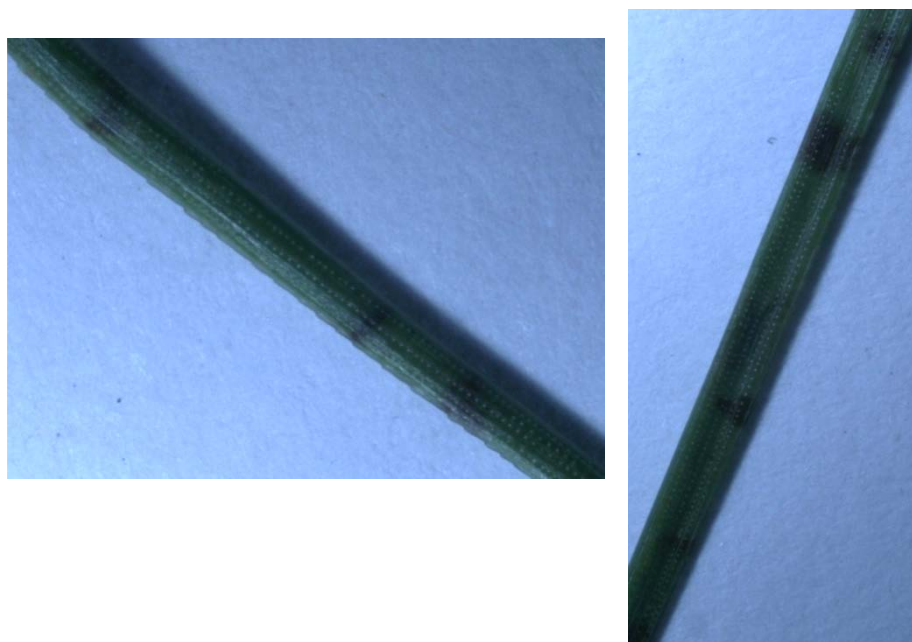


Figure 54 : Décoloration sous forme d'anneaux noirs
(Hedjam, 2019)

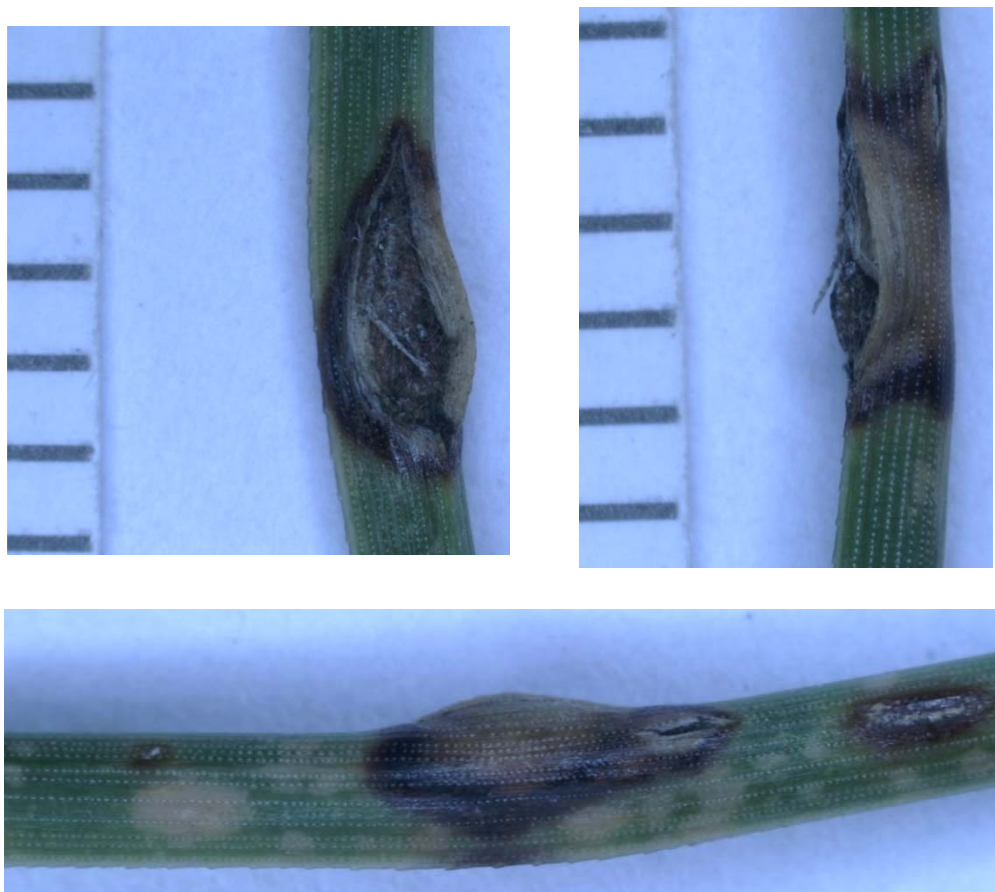


Figure 55 : la rouille, une déchirure qui touche presque toute la surface de l'aiguille (Hedjam, 2019)

1.1.1.9. Synthèse des résultats liés à la caractérisation morphologique des symptômes observés sur les aiguilles de pin noir du Parc National du Djurdjura

Les pourcentages de présence des symptômes : décolorations sous forme de marbrures chlorotiques (DM), d'aiguilles marrons d'un côté (AMC), décolorations dues aux cochenilles (DC), décolorations sous forme de points d'impacts marrons (DPIM), aiguilles abîmées à leur extrémité (AE), décoloration entière ou partielle des aiguilles (aiguille morte) (AM), décolorations sous forme de bandes jaunes (DBJ), décolorations sous forme de bandes rouges-marrons (DBM), décolorations sous forme de bandes transparentes (DBT), dans l'ensemble des stations d'études (Tigounatine, Tikjda centre et Tala-Rana) et dans chaque station du Parc National du Djurdjura sont présentés dans la figure 56.

Il ressort du graphique que dans toutes les stations d'études, le symptôme 3, « Décoloration due aux cochenilles », est plus présent sur les aiguilles de pin noir du Parc National du

Djurdjura, avec 57,6 % d'apparition, suivie du symptôme 1 « décolorations sous forme de marbrures », avec 46,4 % d'apparition. Les symptômes 2, « aiguilles marrons d'un côté », et 9, « bandes transparentes », sont les moins représentés avec respectivement 5,6 % et 6,0 %.

Dans la station de Tigounatine, le symptôme 3 est toujours le plus présent avec 62,1 %, suivi du symptôme 1 avec 49,0 %. Les symptômes les moins présentés sont toujours le 2 et le 9 avec respectivement 7,4 % et 7,1 % de taux d'apparition.

Dans la station de Tikjda centre, par contre, le symptôme le plus présent est le symptôme 1 «marbrures chlorotiques » avec 49,7 %. Le symptôme le moins noté est le symptôme 2 avec 0,1 %.

Quant à la station de Tala-Rana, le symptôme 3 est toujours le plus présent avec 78,8 % et le symptôme 2 est le moins représenté avec 0,1 %.

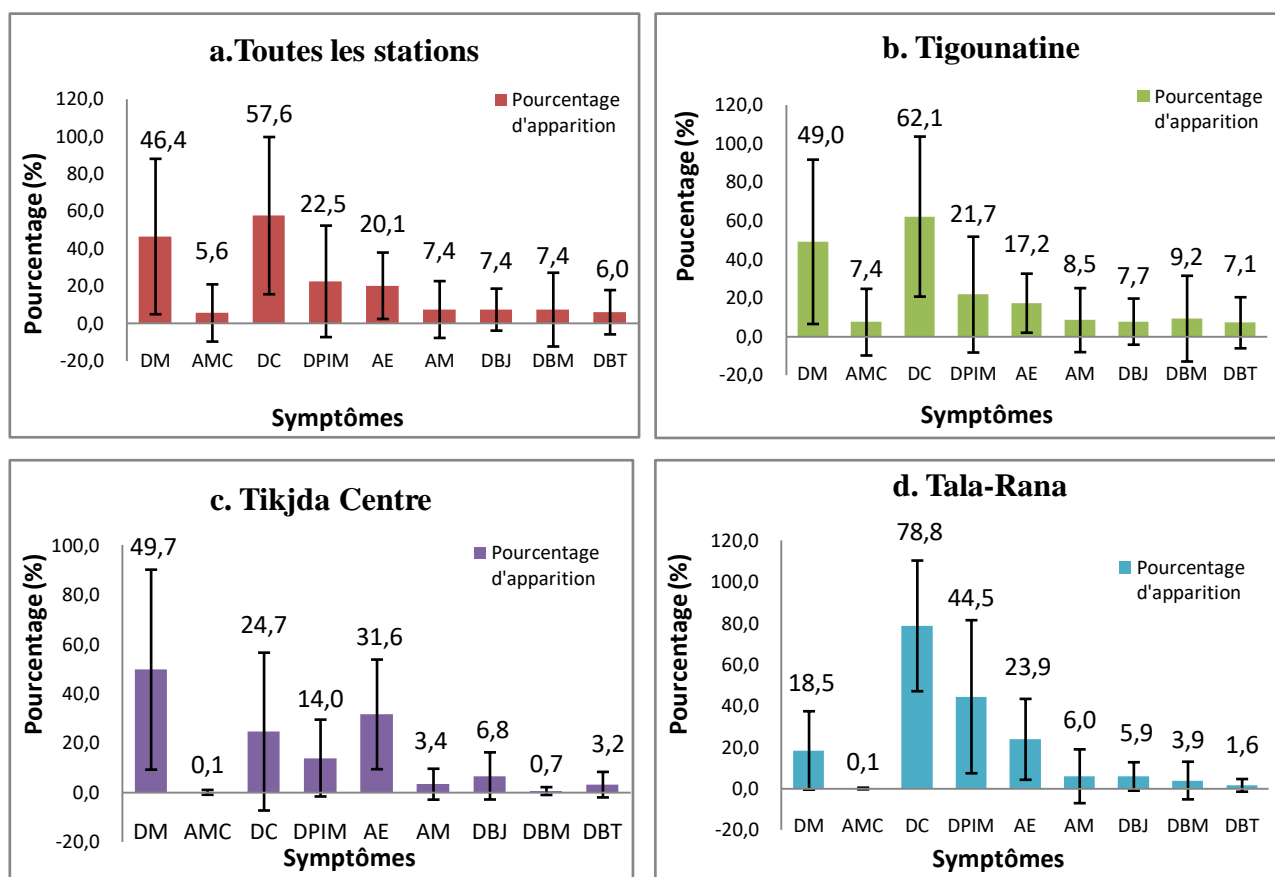


Figure 56 : Pourcentage d'apparition des symptômes de décoloration sur les aiguilles du pin noir

Nous avons fait aussi un récapitulatif de la présence des 9 symptômes sur les semis et les adultes de la station de Tigounatine. La figure 57 montre que le taux de présence de ces symptômes est similaire entre semis et adultes.

Les symptômes les plus fréquents sont : le symptôme 3 (DC) avec 63,9 % de taux de présence chez les semis et 61,1 % chez les adultes, suivie du symptôme 1 (DM) avec 45,9 % chez les semis et 50,8 % chez les adultes.

Les symptômes les moins fréquents, (0 et 10 % de taux de présence), chez les semis et les adultes, sont : AMC, AM, DBJ, DBM et DBT.

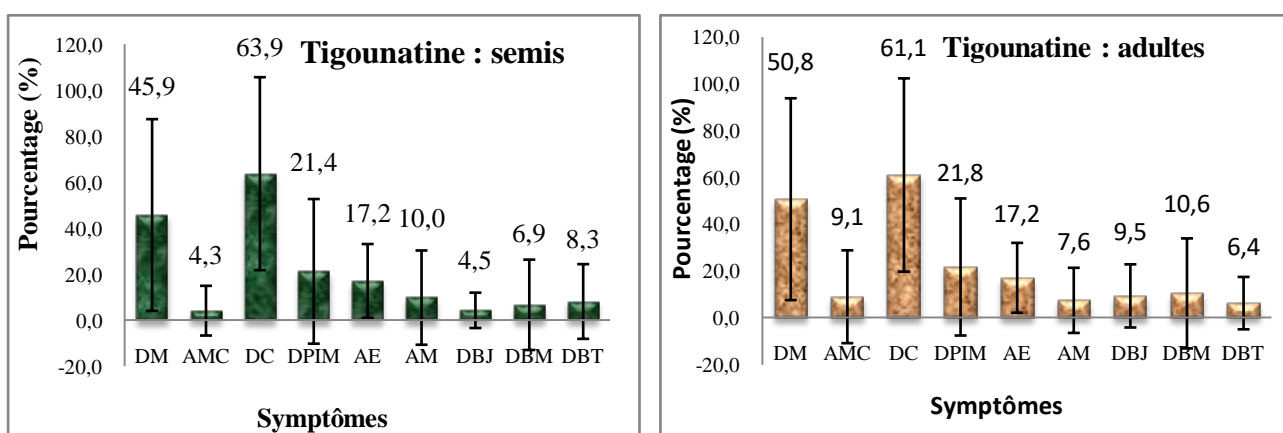


Figure 57 : Pourcentage d'apparition des symptômes de décoloration sur les aiguilles du pin noir des semis et adultes de la station de Tigounatine

1.1.1.10. Étude des corrélations entre les différents symptômes par analyse en composantes principales (ACP)

Afin d'établir la relation qui existe entre les symptômes étudiés, une ACP a été appliquée à l'ensemble de ces paramètres. Cette dernière a été effectuée sur une matrice de données constituée de 9 paramètres mesurés chez 10049 échantillons d'aiguilles prélevés sur 28 arbres réparties dans les 3 stations du Parc National du Djurdjura : Tigounatine (18 individus), Tikjda centre (6 individus) et Tala-Rana (4 individus).

La matrice de données de bases a donné une matrice de corrélation (Tab. V). Cette dernière a révélé qu'il y a une corrélation significative négative entre la décoloration sous forme de marbrures chlorotiques (DM) avec un taux de présence de 46,40 % et le symptôme

décoloration sous forme de points d'impacts marrons (DPIM) avec un taux de présence de 22,50 %. Ce qui signifie que lorsque DM augmente, DPIM diminue.

La matrice montre également, une autre corrélation significative négative entre « la décoloration sous forme de bandes rouges-marrons » (DBM) et le symptôme « aiguilles abimées à leurs extrémités » (AE).

La matrice montre également, une autre corrélation significative positive entre « la décoloration sous forme de bandes transparentes » (DBT) et le symptôme « Décoloration entière ou partielle des aiguilles » (AM).

Tableau V : Matrice des corrélations des symptômes

	DM	AMC	DC	DPIM	AE	AM	DBJ	DBM	DBT
DM	1.00								
AMC	0.15	1.00							
DC	-0.26	0.06	1.00						
DPIM	-0.49	0.28	0.34	1.00					
AE	-0.01	-0.21	-0.37	-0.11	1.00				
AM	-0.14	0.01	0.08	-0.01	-0.33	1.00			
DBJ	-0.09	0.22	0.17	0.18	0.00	-0.20	1.00		
DBM	0.17	0.27	0.23	0.18	-0.41	0.31	-0.03	1.00	
DBT	0.07	0.29	0.16	0.00	-0.16	0.48	0.23	0.10	1.00

L'ACP, représentée dans la figure 58, interprétée à base du plan factoriel principal F1 : 25.95 % de contribution et F2 : 18,46 %, soit 44.41 % d'inertie pour ce plan, fait ressortir quatre groupes, un pour Tala-Rana (groupe D), un pour Tikjda centre (groupe C) et deux groupes pour Tigounatine (groupe A et B).

L'ACP révèle aussi que la majorité des symptômes se situent dans la station de Tigounatine. Cela peut être dû au nombre élevé d'aiguilles échantillonnées par rapport aux autres stations.

Cette répartition en 4 groupes distincts est confirmée par le dendrogramme (Fig. 59 et 60) qui nous aide à faire le découpage.

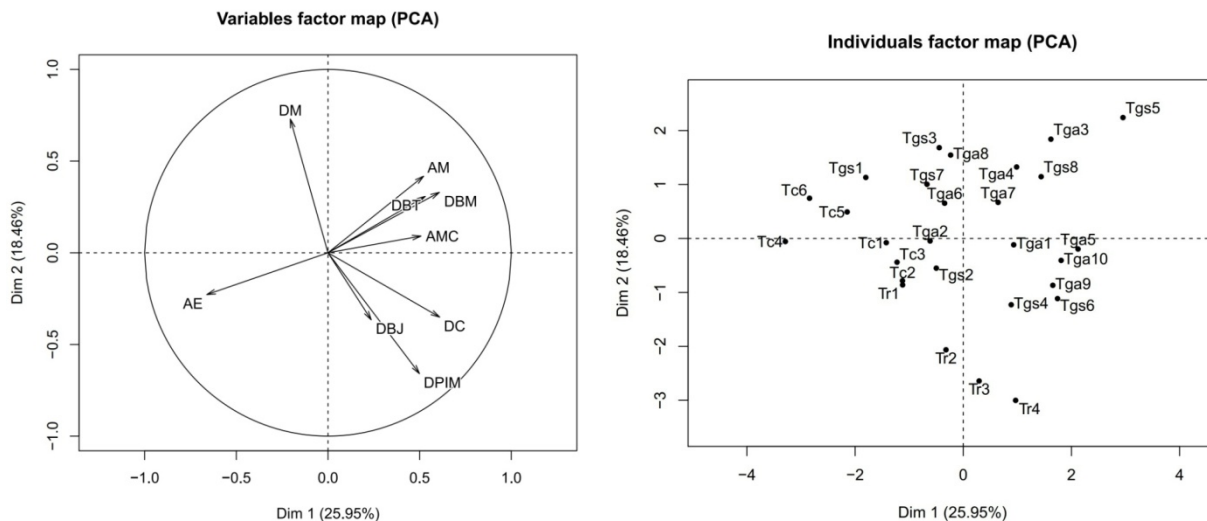


Figure 58: Analyse en Composantes Principales des variables

- Dendrogramme

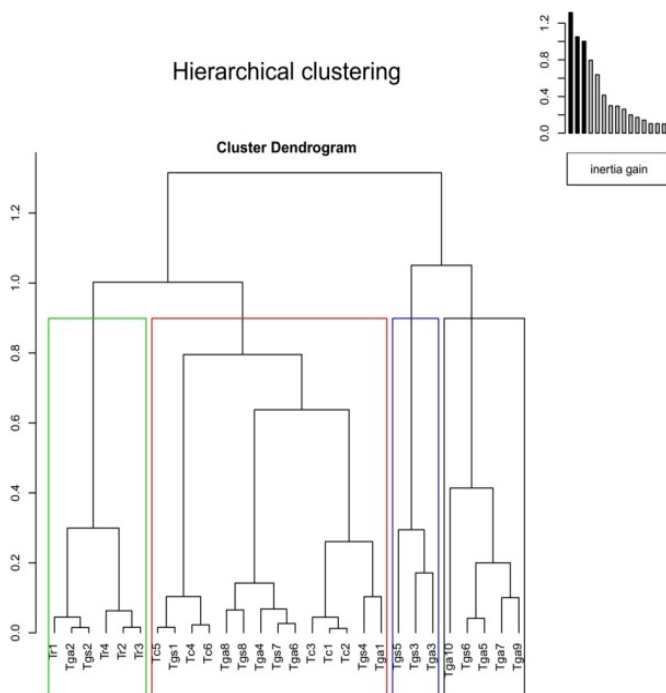


Figure 59 : Le diagramme dendrogramme

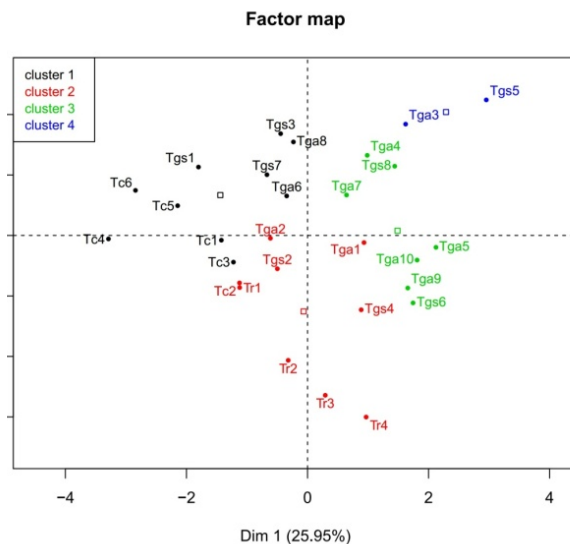


Figure 60 : Représentation sur le plan factoriel F1xF2 du dendrogramme

1.1.2. Caractérisation anatomique

La caractérisation microscopique concerne seulement les aiguilles atteintes de décolorations sous forme de marbrures.

1.1.2.1. Microscopie photonique

Des différences nettes ont été observées sur la base de l'examen au microscope photonique entre la structure du mésophylle des aiguilles asymptomatiques (témoin, Fig. 61) et symptomatiques (Fig. 62).

Dans la coupe anatomique transversale d'une aiguille asymptomatique (Fig. 61), nous avons observé une structure normale, avec une assise épidermique continue (Ep), un mésophylle (parenchyme chlorophyllien (PC)) présentant de la chlorophylle sur toute sa surface, une assise de cellules formant une gaine protectrice (G), des stomates (St), des canaux résinifères (C.R) et des faisceaux libéro-ligneux (F.L.L). Par contre, dans la coupe anatomique d'une aiguille symptomatique (Fig. 61), nous avons observé, dans les couches externes du mésophylle, une dégradation ponctuelle de la chlorophylle. La vitalité des autres tissus composant l'aiguille était normale et ne présentait pas de différences remarquables entre les échantillons analysés.

La coupe d'une aiguille symptomatique, colorée à la vanilline (Fig. 63), présente des cellules du mésophylle nécrosées et peu colorées car elles ont perdu la chlorophylle autour des stomates, alors que les cellules environnantes accumulent dans leurs parois des polyphénols détectables à la couleur rouge foncée.

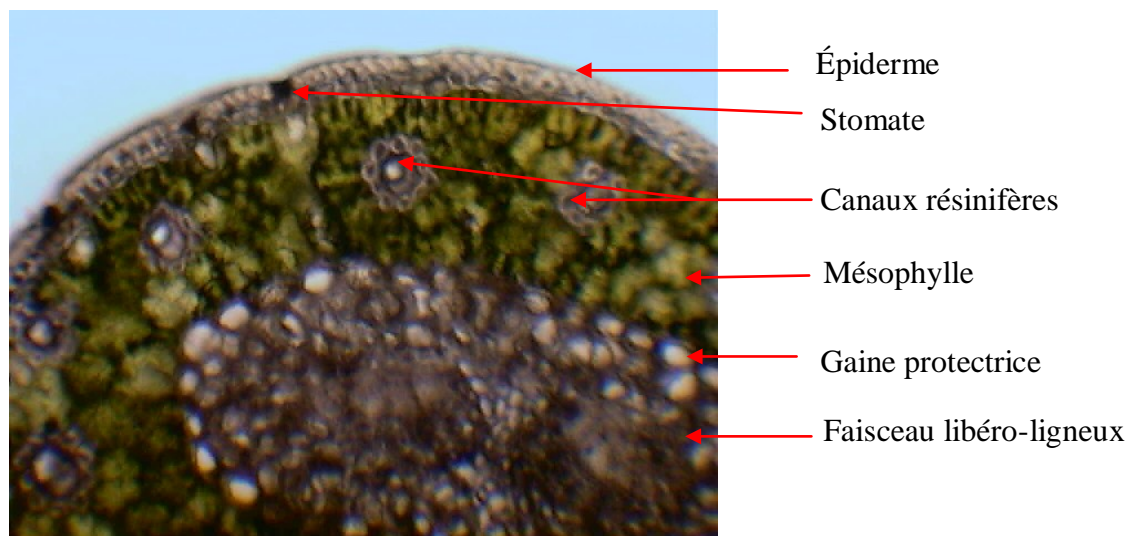


Figure 61 : Coupe transversale d'une aiguille asymptotique de Pin noir observée au microscope photonique sans coloration (G.x100) (Hedjam, 2010).

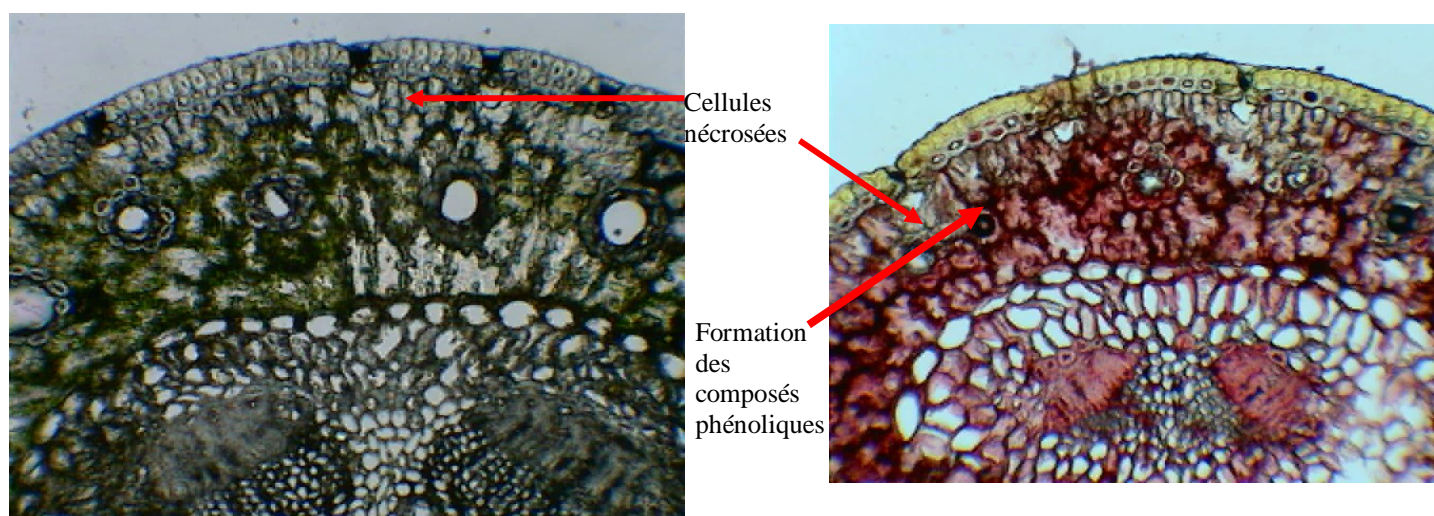


Figure 62 : Coupe transversale d'une aiguille symptotique observée au microscopique photonique sans coloration (G.x100) (Hedjam, 2010).

Figure 63 : Coupe transversale d'une aiguille symptotique observée au microscopique photonique après coloration à la vanilline (G.x100) (Hedjam, 2010)

1.1.2.2. Microscopie à fluorescence

Avec la microscopie à fluorescence la chlorophylle apparaît colorée en rouge (Fig. 64A et 64B). Les cellules situées près des stomates sont dépourvues de cette coloration ce qui indique une destruction localisée de la chlorophylle.

Ces résultats confirment ceux de la microscopie photonique.

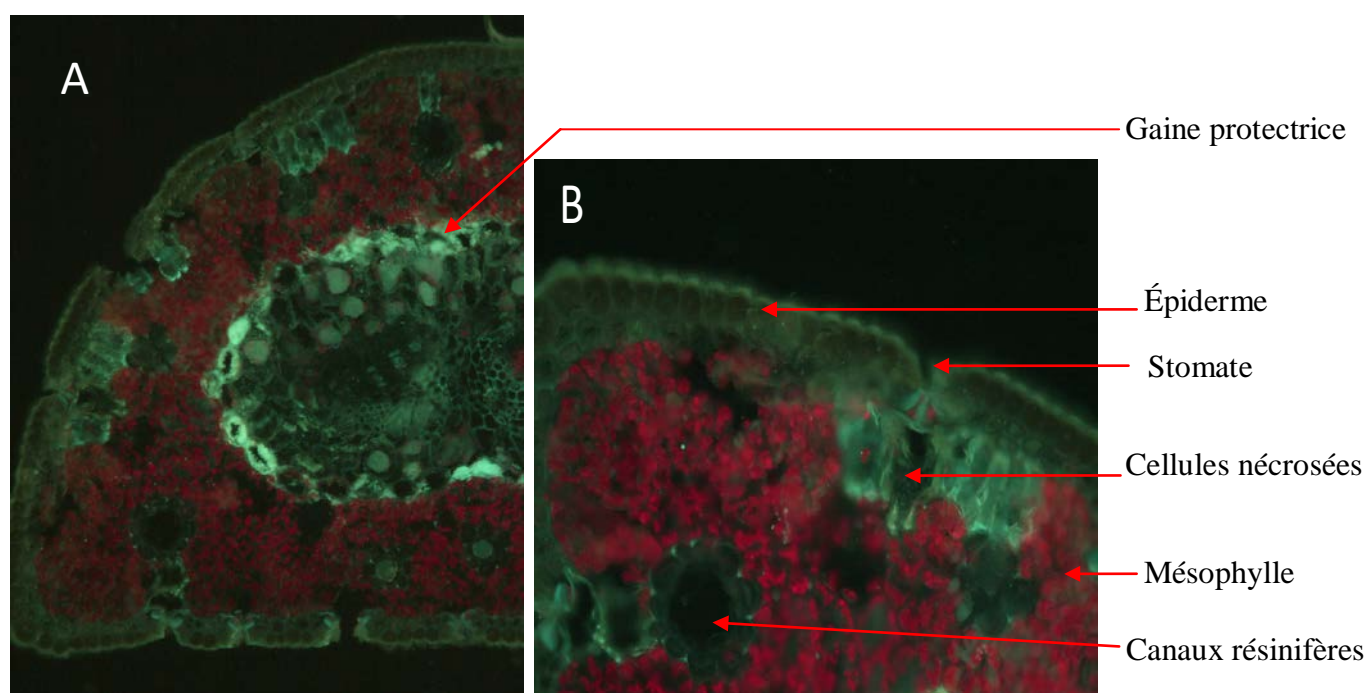


Figure 64 : Observation de coupes transversales des aiguilles de pin noir présentant une décoloration sous forme de marbrures au microscope à fluorescence (Hedjam, 2019).

1.2. Causes abiotiques et biotiques des décolorations des aiguilles de pin noir

1.2.1. Cause abiotique possible : La pollution à l'ozone

Le dosage de l'ozone a été réalisé sur terrain durant la période allant de la mi-mai à la mi-novembre 2012 (6 mois) dans les trois stations d'étude à savoir Tigounatine, Tikjda centre et Tala-Rana. L'évolution des teneurs en ozone obtenues sont représentées dans les courbes de la figure 65.

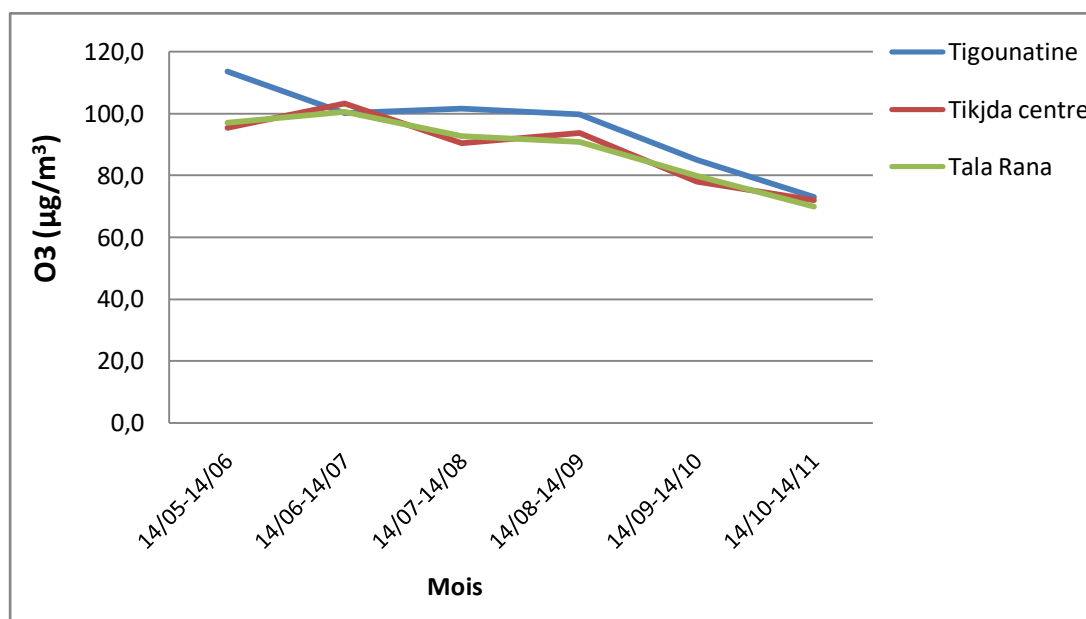


Figure 65 : variations temporelles des teneurs en ozone dans les trois stations d'études, Tigounatine, Tikjda centre et Tala-Rana durant les 6 mois d'analyse

De la mi-mai à la mi-juin, la teneur la plus élevée en ozone est enregistrée à la station de Tigounatine ($113,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et de la mi-juin à la mi-juillet dans les deux stations Tikjda centre et Tala-Rana ($103,2$ et $100,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivement).

À partir de la mi-août et la mi-septembre les teneurs en ozone diminuent progressivement jusqu'à atteindre les niveaux les plus bas à la mi-octobre et mi-novembre ($73 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivement) pour les trois stations d'études Tigounatine Tikjda centre et Tala-Rana.

Les teneurs moyennes ainsi que les minima et maxima d'ozone ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) obtenus durant cette période sont consignés dans le tableau VI.

Tableau VI : Les teneurs en ozone dans les trois stations d'études, Tigounatine, Tikjda centre et Tala-Rana au Parc National du Djurdjura durant les 6 mois d'analyses

Stations	Moyenne mensuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Minimum mensuel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Maximum mensuel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Tigounatine	$95,5 \pm 14,2$	73	113,5
Tikjda centre	$88,8 \pm 11,6$	72	103,2
Tala-Rana	$88,5 \pm 11,4$	70	100,5

Les teneurs moyennes d'ozone (Tab. VI, Fig. 66) sont $95,5 \pm 14,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour Tigounatine, $88,8 \pm 11,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour Tikjda centre et $88,5 \pm 11,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour Tala-Rana, correspondant respectivement à $48,7 \pm 7,2$ ppb, $45,3 \pm 9,9$ ppb et $45,1 \pm 5,8$ ppb.

Les teneurs extrêmes oscillent entre $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valeur enregistrée au niveau du Tala-Rana de mi-octobre à mi-novembre 2012, et, $113,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrée à Tigounatine de mi-mai à mi-juin 2012.

Les teneurs maximales de l'ozone par station sont :

- $100,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, enregistrée de mi-juin à mi-juillet 2012, pour Tala-Rana ;
- $103,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, enregistrée de mi-juin à mi-juillet 2012, pour Tikjda centre ;
- $113,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, enregistrée de mi-mai à la mi-juin 2012, pour Tigounatine.

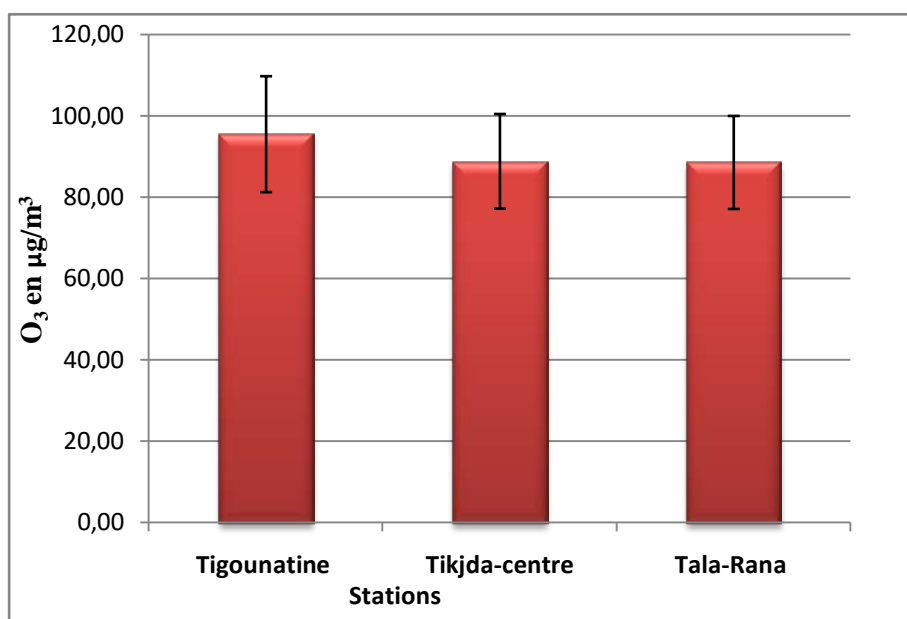


Figure 66 : Variations spatiales (Moyenne \pm Ecart-type) des teneurs en O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans les trois stations Tigounatine, Tikjda centre et Tala-Rana dans le Parc National du Djurdjura durant les 6 mois d'analyse

1.2.2. Causes biotiques possibles : Les Aphides

- **Noms communs** : Puceron, pou des plantes
- **Noms anglais** : Aphid, plant louse

Au cours de nos prospections, dans les trois stations d'études, Tigounatine, Tikjda centre et Tala-Rana du Parc National du Djurdjura, pour la recherche des causes possibles des symptômes de décoloration des aiguilles du pin noir (*Pinus nigra* Arnold ssp. *mauretanica* Maire et Peyer) et de la sénescence prématurée de ce dernier, nous avons rencontré un aphide qui n'avait jamais été signalé auparavant en Algérie. Il s'agit d'*Eulachnus tuberculostemmatum* (Theobald, 1915) (Fig. 67).

Cette espèce d'Aphide a été identifiée par le Professeur Binazzi (conseiller en recherche et expérimentation en agriculture en Italie, à Rome (CRA-Roma : Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura), spécialiste en entomologie à l'institut expérimental de zoologie agricole à Florence (ISZA : Istituto Sperimentale per la Zoologia Agraria) et spécialiste de la taxonomie des Homoptera Aphidoidea des plantes forestières).

1.2.2.1. Systématique d'*Eulachnus tuberculostemmatum*

Règne :	Animalia
Sous-règne :	Eumetazoa
Embranchement :	Arthropoda
Sous-embranchement :	Hexapoda
Classe :	Insecta
Ordre :	Homoptera
Sous-ordre :	Sternorrhyncha
Super-famille :	Aphidoidea
Familles :	Aphididae
Genre :	<i>Eulachnus</i>
Espèce :	<i>E. tuberculostemmatum</i> (Theobald, 1915)

1.2.2.2. Description d'*Eulachnus tuberculostemmatum* (Theobald, 1915)

Les aphides peuvent se rencontrer sous une forme aptère ou sous une forme ailée. Ce dimorphisme étant en rapport avec des modalités dans la reproduction ou le cycle biologique. La forme ailée est toujours caractérisée par un thorax bombé dorsalement, la forme aptère, par

contre, montre un développement considérable de l'abdomen qui donne alors à l'insecte un aspect trapu et globuleux (Grasse, 1951).

Les aphides sont hémimétaboles, leurs différents stades larvaires ressemblent aux adultes (mise à part l'absence d'ailes développées) : les larves ont le même mode de vie, se nourrissent de la même manière et font les mêmes types de dégâts que ces derniers (Dedryver, 1982 *in* Benoufella-Kitous, 2005) .

a. Individu ailé

La taille des individus ailés est d'environ 3 mm. Le corps est brun foncé à noir brillant, recouvert de nombreux poils et divisé en 3 parties : la tête, le thorax et l'abdomen (Fig. 67A et Fig.67B).

La tête est large et porte des antennes longues, formées de 23 petits articles, selon nos résultats (Fig. 67B), alors que selon Theobald en 1915, les antennes ne portent que 6 articles.

Les pattes sont assez robustes, longues et poilues par rapport à la majorité des espèces de pucerons (Fig. 67A).

À l'arrière de l'abdomen se trouve une paire de projections en forme de tube appelées cornicules qui sont réduites (Fig. 67A) et qui servent à sécréter des phéromones sexuelles et des hormones d'alarme (Verma et *al.*, 2016). Ces derniers sont sécrétés lorsque le puceron est perturbé, ce qui provoque la fuite de ses congénères (Aroun, 2015).

A l'extrémité postérieure, en prolongement du dernier segment, se trouve la cauda (Fig. 67A), qui est plus longue que les cornicules. Elle sert à l'épandage du miellat (Verma et *al.*, 2016).

Les ailes sont grises avec de nombreuses nervures (Fig. 67A ; Fig. 67B).

b. Individu aptère

La taille des individus aptères est réduite par rapport aux individus ailés. Elle est d'environ 1 mm. Le corps, trapu, oval ou piriforme, de couleur foncée, allant du gris foncé au marron, est divisé en trois parties : la tête, le thorax et l'abdomen (Fig. 67C ; Fig. 67D ; Fig. 67E ; Fig. 67F).

Les antennes, de couleur sombre, possèdent 6 articles. Elles sont minces et plus courtes que le corps (Fig. 67E). Tous les articles possèdent quelques poils courts et imbriqués.

Le premier et le deuxième article sont de la même couleur que la tête. Le premier article est légèrement plus large que le second mais sont de même longueur. Le troisième article est plus long, pâle à la base et sombre sur le reste de l'article. Le quatrième et le cinquième article présentent chacun un sensorium subapical ; le sensorium du cinquième article est oval. Le sixième article est plus court que le cinquième et possède un ongle court et deux sensorias dont l'apical est allongé (Fig. 67E).

Les pattes sont longues, surtout la paire de pattes postérieures. Les fémurs et les tibias sont velus, en particulier les tibias postérieurs (Fig. 67F).

A l'arrière de l'abdomen se trouve deux cornicules plates et une cauda réduites (Fig. 67C ; Fig. 67D).

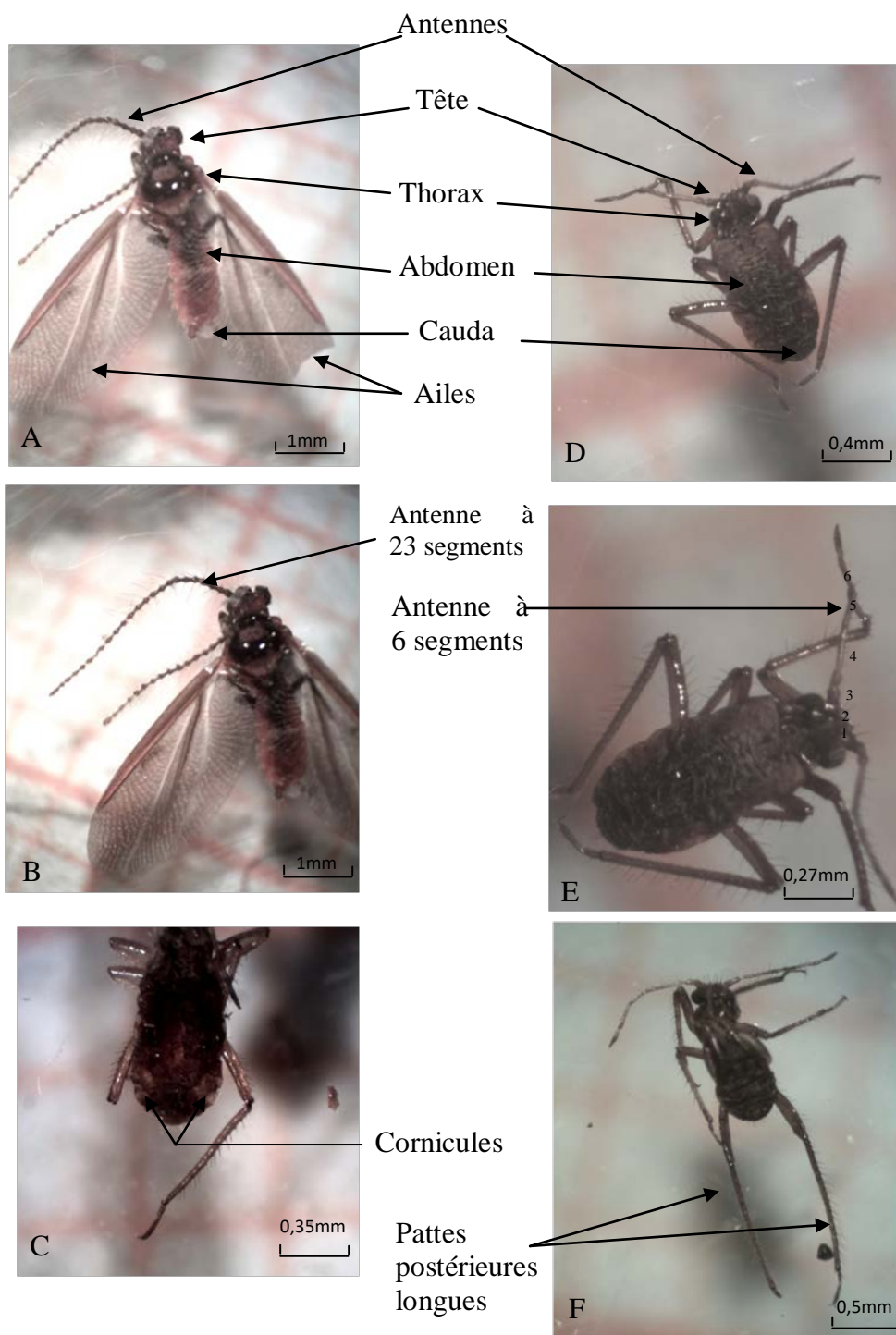


Figure 67 : *Eulachnus tuberculostemmatum* (Theobald, 1915), identifié sur les aiguilles du *Pinus nigra* ssp. *mauretunica* dans le Parc National du Djurdjura, A et B : puceron adulte ailé ; C, D, E et F : puceron adulte aptère (Hedjam, 2019)

2. Discussion

2.1. Caractérisation des décolorations des aiguilles chez le pin noir

2.1.1. Caractérisation morphologique

Dans cette étude nous avons analysé, au total, 10049 aiguilles de pin noir (*Pinus nigra* Arnold ssp *mauretunica*), récoltées dans les 3 stations Tigounatine, Tikjda centre et Tala-Rana du Parc National du Djurdjura. Un minimum de 2 aiguilles par verticille a été étudié chez les aiguilles de 06 ans et un maximum de 156 aiguilles chez les aiguilles de 03 ans. Nous avons caractérisé neuf (9) symptômes numérotés de 1 à 9. Les aiguilles peuvent présenter un, deux ou tous les symptômes à la fois, avec différents niveaux de gravité.

Les symptômes 1 et 3 ont les pourcentages les plus importants d'apparition. Ils ont deux origines possibles : une origine abiotique pour le premier et une origine biotique pour le deuxième, dont nous allons étayer les origines probable dans cette partie. Ce sont ces deux symptômes et leurs origines qui ont été principalement étudiés.

La caractérisation et l'identification des symptômes des maladies des aiguilles n'est pas facile.

Le problème de décoloration est le deuxième problème le plus important dans les enquêtes sur les forêts en Europe. Plusieurs paramètres peuvent être utilisés pour effectuer une évaluation visuelle de la décoloration : les analyses de sol, la sensibilité de l'observateur, les conditions météorologiques, l'angle solaire et l'orientation du feuillage, mais, seules les décolorations extrêmes, en particulier le jaunissement, peuvent être bien caractérisées (Sanz et *al.*, 2000).

La végétation méditerranéenne se comporte parfois d'une manière qui rend plus complexe l'évaluation de ces paramètres. C'est le cas, par exemple, du pin d'Alep dont la dégradation saisonnière de la chlorophylle serait probablement due à un rayonnement élevé (Inclan et *al.*, 1993), et qui a pour conséquence un jaunissement des couronnes, en été, et un rétablissement de couleur, en septembre (Velissariou, 1992).

2.1.1.1. Symptôme 1 : Décoloration sous forme de marbrures chlorotiques (DM)

La décoloration sous forme de marbrures chlorotiques (DM) représente 46,40 % de présence de l'ensemble des symptômes des aiguilles du pin noir dans le Parc National du Djurdjura. Il est le deuxième symptôme après la décoloration due aux cochenilles (symptôme 3). Le taux de présence de ce symptôme est semblable dans les deux stations Tigounatine et Tikjda centre

avec respectivement 49 et 49,70 %. Par contre, il est relativement faible à Tala-Rana avec 18,50 %.

La similitude du taux de présence du symptôme 1 dans les deux stations Tigounatine et Tikjda centre, peut s'expliquer par la situation de ces stations, à des tranches d'altitudes similaires qui sont 1450 à 1610 m et 1450 à 1550 m respectivement pour Tigounatine et Tikjda centre, et lié aussi à leur appartenance au même étage bioclimatique i.e. humide à variante froide. Contrairement à Tala-Rana qui se situe à une altitude plus basse (1280 m) et fait partie de l'étage bioclimatique humide à variante fraîche.

La décoloration sous forme de marbrures chlorotiques est appelée en anglais « chlorotic mottle » (CM). Selon Stolte (1996), qui a travaillé sur le pin ponderosa (*Pinus ponderosa*) et le pin de Jeffrey (*Pinus jeffreyi*) dans l'Ouest des Etats-Unis ; ce symptôme peut être causé par l'ozone ou le froid de l'hiver (taches d'hiver ou « winter flecks » en anglais). En effet, cet auteur a constaté que lorsque ces deux espèces de pin sont exposées à des concentrations élevées en ozone (concentrations estimées à une exposition cumulative supérieure à 60 ppb), leurs aiguilles présentaient des symptômes de dégradation commençant par des dommages invisibles des cellules du mésophylle, suivis par des décolorations visibles (Stolte, 1996).

Ces décolorations visibles sont sous forme de marbrures chlorotiques, taches vert clair qui virent au brun entraînant par la suite une nécrose des feuilles (Dalstein et Vas, 2005a). Ces derniers auteurs rapportent que les mêmes observations ont été faites sur les arbres forestiers en Europe, sur des espèces de conifères : sapins, pins et mélèzes. Ces mêmes marbrures chlorotiques sont similaires à celles observées chez le pin ponderosa en Californie en relation avec l'effet de l'ozone (Sanz et al., 2000 ; Vollenweider et al., 2013). Elles sont variables en intensité et détails morphologiques en fonction de la dose d'ozone et des espèces d'arbres (Vollenweider et al., 2013).

Des expériences faites dans des chambres de fumigations, ont confirmé que l'ozone provoque des marbrures chlorotiques et des lésions sur les aiguilles des conifères (Stolte, 1996 ; Günthardt-Goerg et al., 2000; Sanz et al., 2001) confirmées par des observations au microscope photonique (Günthardt-Goerg et al., 2000; Sanz et al., 2001).

La combinaison de facteurs liés à l'ozone et à d'autres facteurs physiques (sécheresse, sols pauvres en nutriments) a provoqué un déclin général observé sur le pin d'Alep. En outre, les

effets d'autres gaz polluants précurseurs de l'ozone devraient être pris en compte (Dalstein et Vas, 2005a).

Des symptômes désignés sous le nom de "winter fleck" «taches d'hiver» ont été décrits et leurs caractéristiques morphologiques montrent des similitudes avec les marbrures induites par l'ozone (Miller et Evans, 1974 ; Stolte, 1996). Des interactions avec des facteurs de stress abiotiques comme le gel intense, dans le cas du feuillage symptomatique d'hiver chez les pins des forêts de montagne, compliquent le diagnostic (Bytnerowicz et *al.*, 2008).

Les taches hivernales sont communes sur les arbres de différentes espèces de *Pinus* poussant côte à côte. Les taches sont visibles sur les arbres qui poussent à des altitudes allant de 1 550 à plus de 2 750 m, là où les neiges s'accumulent souvent (Miller et Evans, 1974).

Dans les deux stations Tigounatine et Tikjda centre, nous avons remarqué la présence de ces mêmes taches chlorotiques sur les aiguilles du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*).

➤ **Relation de la décoloration sous forme de marbrures chlorotiques avec l'âge des aiguilles du pin noir**

Nous avons constaté que dans le Parc National du Djurdjura les aiguilles du pin noir présentent des décolorations sous forme de marbrures chlorotiques qui commencent par de petites taches blanchâtres, sur les aiguilles de l'année en cours, et qui évoluent avec l'âge des aiguilles pour donner des plaques ou des marbrures chlorotiques de couleur brunâtre (Fig. 18) sur les aiguilles de 3 ; 4 ; 5 et 6 ans.

Les mêmes observations ont été faites par Vollenweider et *al.* (2013) qui ont signalé que les marbrures diffuses vert clair spécifiques à l'ozone ont été observées sur les aiguilles de l'année chez *Pinus ponderosa*, tandis qu'un feuillage plus âgé présentait des marbrures brunâtres semblables à celles causées par les taches hivernales.

Par contre, Dalstein et Vas (2005a), Peter et *al.* (2008) et Sicard et *al.* (2010; 2016) ont signalé l'absence de ce type de taches chlorotiques sur les aiguilles de l'année. Peter et *al.* (2008) ont justifié cette absence par des échanges gazeux faibles par rapport à ceux des aiguilles âgées d'un an et par le fait que ces aiguilles n'ont pas encore beaucoup subi l'action des facteurs environnementaux.

➤ **Présence de la décoloration sous forme de marbrures chlorotiques sur les deux faces d'aiguilles du pin noir**

Au cours de nos investigations, nous avons observé que les taches chlorotiques peuvent se présenter sur les deux faces de l'aiguille. Cette observation a été déjà faite par Miller et Evans en 1974 sur *Pinus ponderosa*, précisant qu'une lésion chronique à l'ozone peut être présente sur les faces, abaxiale et adaxiale, des aiguilles. Vollenweider et *al.* (2013) ont observé, à leur tour, sur les aiguilles de l'année, chez la même espèce de pin, de petites marbrures vert clair, arrondies et dispersées sur le côté abaxial non ombré ainsi que sur le côté adaxial de l'aiguille exposé à la lumière du soleil.

Il est possible alors, de conclure que les décolorations sous forme de marbrures chlorotiques observées sur les aiguilles du pin noir du Parc National du Djurdjura, pourraient avoir deux origines possibles : la pollution à l'ozone et/ou le froid hivernal.

Ce symptôme a révélé des différences et d'intensité croissante avec l'âge des aiguilles dans toutes les stations d'études et une différence significative avec l'individu à Tikjda centre. Il a été observé indifféremment sur les semis et les arbres adultes et sur toutes les hauteurs des rameaux prospectées (à Tigounatine) et en exposition nord comme en exposition sud (à Tikjda centre et Tala-Rana).

2.1.1.2. Symptôme 2 : Décoloration des aiguilles sur un côté

La décoloration des aiguilles sur un côté de la face dorsale est le symptôme le moins présent parmi les neuf rencontrés sur les aiguilles du pin noir du Djurdjura. Ce symptôme est probablement l'état avancé du symptôme 1. Il est présent quand un côté de la face des aiguilles est couvert par d'autres aiguilles ou par une branche. Il s'observe surtout sur les aiguilles âgées avec un taux de 4 % sur celles du verticille 6. Ceci est conforme aux observations rapportées par Miller et Evans (1974), sur les aiguilles du *Pinus ponderosa*, en Californie, qui ont révélé que les taches chlorotiques sont plus abondantes sur les aiguilles plus anciennes et qui ont survécu, et cela toujours sur les surfaces exposées. Ces taches sont moins abondantes sur les aiguilles abritées par les branches de dessus.

2.1.1.3.Symptôme 3 : Décolorations jaunâtres

Les résultats ont révélé que ce symptôme de décoloration est le plus fréquent avec des valeurs par station de l'ordre de 78,8, 62,1 et 24,5 % respectivement à Tala-Rana, Tigounatine et Tikjda centre.

Selon Stolte (1996), les lésions foliaires dues à des agents biotiques peuvent apparaître à la surface des aiguilles, ce qui complique le diagnostic de lésions dues à l'ozone. Les taches jaunâtres ou taches chlorotiques et nécrotiques causées par les insectes suceurs, tels que les pucerons et les cochenilles, peuvent parfois ressembler à la marbrure chlorotique due à l'ozone.

Une observation attentive et une inspection minutieuse des « îlots » de tissus chlorotiques de l'épiderme (à l'aide d'une lentille manuelle) révèlent un point nécrotique distinct au centre de la zone décolorée, où l'insecte, en s'aidant de ses parties buccales perforantes, pénètre son stylet à l'intérieur des tissus. Des sécrétions d'insectes peuvent également être présentes sur les aiguilles, par exemple le miellat des pucerons (que nous allons voir plus tard dans la partie de la discussion consacrée aux pucerons). Des revêtements cireux ou en forme de coquille qui protègent les cochenilles femelles tout au long de leur vie adulte (Stolte, 1996) peuvent également être présents comme nous l'avons remarqué avec les cochenilles retrouvées sur les aiguilles du pin noir du Djurdjura.

➤ Description et biologie

Les mâles et les femelles d'une même colonie de cochenille présentent un dimorphisme sexuel très marqué, au point qu'ils semblent appartenir à deux espèces différentes (Foldi, 2003).

Selon le même auteur, les femelles sont toujours aptères et certaines sont apodes. Le tégument mou porte le plus souvent des poils, des épines et, dans toutes les familles, des pores remarquablement diversifiés. Dorsalement, la tête, le thorax et l'abdomen sont fusionnés. Les antennes, composées de 1 à 13 articles, portent de nombreux organes sensoriels. Les tarsi sont constitués d'un seul article, rarement deux (*Matsucoccus* sp.), terminé par une griffe simple.

Les femelles adultes peuvent mesurer 5 mm, sont néoténiques et ressemblent aux formes larvaires, à l'exception des espèces hypogées chez lesquelles tous les stades de

développement (1er stade, 2e stade, le “kyste”, adulte femelle ou mâle), sont fondamentalement différents. Dans la plupart des cas, leur corps n’est pas visible, masqué par des sécrétions qui leur confèrent des formes et des couleurs variées (Foldi, 2003).

Chez quelques espèces, après la ponte, le cycle biologique est de 3 stades larvaires pour la femelle et 4 chez le mâle. Les œufs sont pondus dans une masse collante de filaments cireux appelée ovisac. La femelle meurt après la ponte. Les larves de premier stade sont marrons jaunes. La plupart des espèces ont une à deux générations par an, mais peuvent avoir jusqu’à huit générations dans les cultures sous serre où elles se maintiennent en hiver (Anonyme, 2018).

Les mâles adultes, contrairement aux femelles, sont pourvus d’une tête, d’un thorax et d’un abdomen bien différenciés. Ils apparaissent grêles, délicats et de taille nettement plus petite que celle des femelles. Ils ont seulement une paire d’ailes mésothoraciques, à nervation très réduite. Leur vol est à décollage rapide mais de courte distance. Le métathorax présente une paire de balanciers (hamulohaltères). Les antennes sont longues, filiformes, avec de nombreuses soies. Les pièces buccales sont absentes. Ils ne vivent que 1 à 2 jours seulement pour le temps de s’accoupler. Le premier stade larvaire, toujours pourvu de pattes, assure la dispersion de l’espèce (Foldi, 2003).

➤ **Conséquences sur la plante hôte**

Les cochenilles, toutes phytophages, suceurs de sève, peuvent coloniser et exploiter toutes les parties de leurs plantes hôtes : racines, tronc, rameaux, feuilles, fruits et même les zones sous-corticales de ces végétaux (Foldi, 2003). Elles sont adaptées à tous les milieux et ont colonisé les champs, les forêts, les déserts, les montagnes, les régions tempérées et tropicales, et les zones subarctiques (Foldi, 1988).

Les pièces buccales, du type piqueur-suceur, sont adaptées au percement des tissus végétaux et au prélèvement d’une alimentation liquide, disponible dans les vaisseaux conducteurs. Certains groupes s’alimentent dans le phloème transporteur de sève élaborée, d’autres dans le xylème transporteur de sève brute, et quelques-uns ponctionnent le parenchyme (Foldi, 2003). Les piqûres nutritionnelles des cochenilles affaiblissent, de ce fait, les plantes (Foldi, 1988). Les dégâts peuvent aussi être provoqués par la transmission de pathogènes, de toxines et par les effets de la production de miellat, avec un développement de fumagine qui couvre la surface des feuilles, réduisant ainsi la photosynthèse (Anonyme, 2018).

Un feuillage prématurément jauni, des amas de sécrétions blanchâtres, des petites tâches brunâtres sur les feuilles, révèlent la présence de cochenilles (Foldi, 1988). Des infestations légères, par ces ravageurs, ne causent pas de dommages graves. De fortes infestations, par contre, peuvent provoquer un jaunissement des aiguilles, un retard de croissance et un dépérissement (Malinaski et Clement, 2003).

Les cochenilles peuvent couvrir 50 % ou plus de la surface de l'aiguille de pin (Stolte, 1996). Selon Berryman (2013), les densités de cochenilles dépassant 10 individus par aiguille sur la pruche du Canada (*Tsuga canadensis*) ont entraîné la mort de nombreux arbres ornementaux et forestiers en 10 ans. Selon le même auteur, il n'y a pas de relation entre la taille et l'âge de l'arbre et sa sensibilité aux attaques. Par contre, dans notre cas, le taux d'attaque est variable selon l'individu dans les trois stations d'études ; selon l'âge des aiguilles à Tigounatine et Tikjda centre ; selon la hauteur de l'individu à Tigounatine et selon l'exposition à Tala-Rana.

2.1.1.4. Symptômes 4 et 5 : décolorations sous forme de points d'impacts marrons et aiguilles abîmées à leurs extrémités

Le symptôme 4 ou « décoloration sous forme de points d'impacts marrons » (DPIM) et le symptôme 5 ou « aiguilles abîmées à leurs extrémités » (AE) sont présents avec 22,6 et 20,1 % respectivement dans l'ensemble des stations. Ces pourcentages de présence très voisins laissent penser que ces symptômes pourraient avoir les mêmes causes et/ou les mêmes origines et qui seraient, d'après les dommages visibles, des insectes et/ou des champignons. Ces insectes sont des piqueurs pour le symptôme 4 à savoir la décoloration (DPIM) et des insectes broyeurs pour le symptôme 5 (AE). Quant aux champignons, ils peuvent être associés aux deux symptômes.

Nos résultats concordent avec ceux d'Ulrich et *al.* (2006), qui ont constaté sur les feuilles du hêtre (*Fagus sylvatica*), des groupes de cellules nécrosées qui ressemblent à des piqûres d'acariens (*Aceria nervisequa*), ou encore à une infection fongique d'apparence brune au niveau de la partie inférieure de l'échantillon.

2.1.1.5. Symptômes 6 à 9

Les symptômes 6 ; 7 ; 8 et 9 correspondent respectivement, à des aiguilles entièrement ou partiellement décolorées (aiguilles mortes) (AM) ; une décoloration sous forme de bandes jaunes (DBJ) ; une décoloration sous forme de bandes rouge-marrons (DBJ) et une

décoloration sous forme de bandes transparentes (DBT). Ces symptômes ont le même pourcentage d'apparition i.e. 6 à 7 % à l'échelle des trois stations (Fig. 56a) ce qui nous amène à penser qu'ils auraient la même cause ou la même origine.

À Tigounatine (Fig. 40, 44, 47 et 51), Ces symptômes semblent varier en fréquence selon l'individu (cas de tous les symptômes) l'âge des aiguilles (cas de tous les symptômes) ; le type d'arbre : semis ou adulte (cas du symptôme DBJ) ou la hauteur des rameaux (cas des symptômes AM, DBM et DBT) .

À Tikjda centre (Fig. 41, 45, 48 et 52), les 3 symptômes AM, DBJ et DBT ont montré des fréquences variables selon l'individu. Les deux symptômes AM et DBJ ont montré des fréquences variables selon l'âge des aiguilles.

À Tala-Rana (Fig. 42, 46, 49 et 53) le symptôme DBJ a varié avec l'âge des aiguilles. Les symptômes DBJ et DBT ont varié selon l'individu.

Nous pouvons, donc, classer les stations d'études dans l'ordre décroissant de présence des symptômes comme suit : Tigounatine ; Tikjda centre et Tala-Rana.

La recherche bibliographique indique que la décoloration sous forme de bandes jaunes et de bandes rouge-marrons est appelée aussi, brûlures des aiguilles ou bandes rouges. Elle est également connue sous le nom de « Dothistroma needle blight (DNB) » ; c'est l'une des plus importantes maladies foliaires des pins (Barnes et al., 2004). Elle affecte au moins 85 espèces de *Pinus* (Mullett, 2014) et est présente dans tous les continents (Europe, Asie, Afrique, Amérique et Océanie) selon Barnes et al. (2004).

La comparaison entre les symptômes (bandes rouges) (Fig. 43B et C, Fig. 68) sur les aiguilles de *P. nigra* du Djurdjura et ceux décrits par de nombreux chercheurs (Fig. 69), ainsi que la période d'échantillonnage (automne 2015 : Septembre à Décembre), en plus des résultats de l'analyse relative aux 4 symptômes, laissent supposer que ces derniers seraient dus à un champignon pathogène du type Ascomycète.

En effet, pour Barnes et al. (2004), Bednářová et al. (2006), Kirisits et Cech (2006), Chandelier (2009) et Ivković et al. (2009), la maladie des « bandes rouges » du pin qui est un problème phytosanitaire majeur depuis les années cinquante, est causée par un champignon ascomycète pathogène qui a pour nom *Mycosphaerella pini* Rostr.ex Munk 1957 pour le stade

téléomorphe (sexuel) tandis que le stade anamorphe (asexuée) s'appelle *Dothistroma septosporum* (Dorog.) M. Morelet 1968.

Cette maladie a été, également, signalée chez certaines espèces de *Picea* (*Picea pungens* Engelm. 1879, *Picea abies* L. Karst. 1881, *Picea omorika* (Pančić) Purk. 1877, *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. 1855, et *Larix* (*Larix decidua* Mill. 1768) (Bednářová et al., 2006).



Figure 68: Évolution du symptôme « bande jaune » en « bandes rouge-marron » sur les aiguilles de *Pinus nigra* Arnold *mauretunica* dans le Parc National du Djurdjura (Hedjam, 2019).



Figure 69 : Évolution du symptôme « bande jaune » en « bandes rouge-marron » sur les aiguilles de *Pinus radiata* au Chili (Barnes et al., 2004).

Une autre espèce de *Dothistroma* (*Dothistroma pini*), longtemps présente uniquement aux États-Unis et pour laquelle aucune forme sexuée n'était connue, a été récemment signalée en France ainsi qu'en Russie et en Ukraine (Chandelier, 2009). *D. pini* proviendrait des forêts mixtes d'Amérique centrale dans des « îles » de montagne isolées à des altitudes supérieures à 1500 m.

Les deux espèces de *Dothistroma* (*D. septosporum* et *D. pini*), qui causent la brûlure des aiguilles, sont indiscernables morphologiquement, d'où la nécessité d'utiliser des outils moléculaires pour les différencier (Mullett, 2014).

Barnes et al. (2004) ont découvert, sur la base d'études phylogénétiques que *D. septospora* et *D. pini* constituaient deux lignées phylogénétiques distinctes. *Dothistroma septosporum* a une distribution mondiale et c'est l'agent causal de la maladie qui a gravement endommagé les plantations de *P. radiata* cultivées comme pins exotiques dans l'hémisphère Sud. En revanche, *D. pini* est un pathogène important des pins dont la distribution semble actuellement être limitée au centre et au nord des États-Unis.

➤ **Biologie de *Dothistroma septosporum*, agent causal des symptômes 6 à 9**

Dothistroma septosporum est un agent pathogène nécrotrophique qui tue les tissus de l'aiguille et complète son cycle de vie dans la lésion ainsi formée (Bradshaw, 2004). Les premiers symptômes de la maladie des bandes rouges apparaissent sous la forme de lésions jaunâtres sur les aiguilles (Fig. 43A, Fig. 68). Des fructifications se développent ensuite au niveau de ces points d'infection et sont généralement entourées de bandes rouges qui sont à l'origine du nom commun de la maladie. Les aiguilles infectées se nécrosent avec le temps et il s'en suit un brunissement du houppier (Mullett, 2014). Dans les cas extrêmes, une défoliation complète est observée avec pour conséquence une perte importante en rendement voire la mort de l'arbre (Brown et Webber, 2008 ; Mullett, 2014). Selon la susceptibilité de l'hôte et l'étendue de l'infection, la défoliation peut être extrêmement grave, car les aiguilles de tous les âges peuvent être affectées mais l'infection commence souvent et est plus étendue sur les aiguilles de plus d'un an (Gadgil, 1984 ; Brown et Webber, 2008). Cela entraîne une perte ou une diminution du rendement et, dans certains cas, la mortalité des arbres. Les paysages avec les arbres infectés peuvent être gravement défigurés, entraînant une perte des valeurs esthétique et commerciale (Brown et Webber, 2008). Dans le cas du Parc National du Djurdjura, nous pouvons dire que sur le pin noir cette maladie de la brûlure des aiguilles n'a pas encore atteint un stade aussi avancé.

Dans le cycle de vie de ce pathogène, la période critique est le printemps et le début de l'été lorsque les organes de fructification sont formés sur les aiguilles (Bradshaw, 2004 ; Brown et Webber, 2008). Les épisodes graves de la maladie semblent être associés à de fortes précipitations au moment de l'infection (Archibald et Brown, 2007). Si les spores atterrissent

sur un hôte approprié, elles peuvent germer sur la surface de l'aiguille et pénétrer par les stomates (Brown et Webber, 2008). Par la suite, les symptômes initiaux apparaissent sous forme de lésions imbibées d'eau sur les aiguilles (Barnes et *al.*, 2004). Cette description peut correspondre au symptôme 9 que nous avons appelé bandes transparentes (DBT) (Fig.50). L'humidité est nécessaire pour la germination et la température optimale pour un établissement réussi est de 12 à 18 °C dans des conditions d'humidité élevée (Brown et Webber, 2008). D'après notre étude climatique, les températures moyennes mensuelles des mois d'Avril, Mai, Juin, Juillet, Août, Septembre et Octobre seraient, respectivement de 9,1 ; 13,3 ; 18,4 ; 22,2 ; 22,3 ; 18,0 et 13,9 °C dans les stations Tigounatine et Tikjda centre et de 10,4 ; 14,6 ; 19,0 ; 23,5 ; 23,6 ; 19,3 et 18,2°C respectivement dans la station de Tala-Rana. Nous pouvons conclure que ces températures seraient favorables à la germination des spores de ce champignon.

À la fin de l'été et au début de l'automne, les aiguilles les plus âgées infectées, de *Pinus radiata*, tombent ; les spores peuvent rester vivantes dans la litière, pendant deux à quatre mois comme cela a été décrit en Nouvelle-Zélande (Gadgil, 1970), avant d'être remplacées par des champignons saprophytes compétitifs colonisant les aiguilles mortes (Brown et Webber, 2008).

Au printemps et à l'été suivant, les aiguilles de première et de deuxième année, fraîchement infectées, restent attachées à l'arbre et constituent la principale source d'inoculum quand les spores sont libérées. À la fin de l'automne, les symptômes sont clairement visibles avec l'apparition de bandes jaunes et de bandes marrons au point d'infection, sur les aiguilles vivantes. Ces signes sont de courte durée et les bandes deviennent rapidement rouges ou rouge-marrons, couleur qui persiste même quand l'aiguille est morte (Murray et Batko, 1962).

D'après Brown et Webber (2008), la maladie de la « bande rouge » n'est pas toujours évidente. En effet, les aiguilles peuvent avoir une coloration globale brune ou rougeâtre qui peut être facilement confondue avec les symptômes causés par d'autres pathogènes des aiguilles.

Les extrémités des aiguilles meurent ensuite jusqu'au point d'infection le plus bas, laissant un brunissement caractéristique aux extrémités distales des aiguilles tandis que la base reste verte (Brown et Webber, 2008).

Cette description correspond bien au symptôme 6 ou aiguilles entièrement ou partiellement décolorées (aiguilles mortes) (AM) observé sur les aiguilles du pin noir du Parc National du Djurdjura.

La couleur rouge est due à la production d'une mycotoxine, la dothistromine, par *Dothistroma septosporum* dans le tissu de l'aiguille (Bradshaw, 2004).

La dothistromine produit des radicaux oxygénés nocifs par activation réductrice de l'oxygène plutôt que par photosensibilisation, mais exercerait ses effets toxiques sur des cibles cellulaires spécifiques. En effet, des études ont montré que la dothistromine est un mutagène et un clastogène (substance susceptible de provoquer des ruptures dans une molécule d'ADN, c'est-à-dire une aberration chromosomique) faible et qu'elle est donc potentiellement cancérigène (Bradshaw, 2004).

Bien que les risques pour les travailleurs forestiers soient considérés comme très faibles, il est recommandé d'éviter toute exposition inutile pendant les périodes où les niveaux de dothistromine sont susceptibles d'être à leur maximum (Bradshaw, 2004).

Selon EPPO (2015), dans les zones colorées en rouge, ainsi que les parties brunes et mortes de l'aiguille, des stromas noirs se développent sous l'épiderme, visibles sous forme de taches noires rondes. Plus tard, les conidiophores elliptiques, disposés en rangées parallèles à l'axe longitudinal de l'aiguille, percent l'ouverture de l'épiderme par une ou deux fentes longitudinales, soulevant un lambeau de tissu épidermique et hypodermique.

2.1.1.6. Symptômes peu fréquents

La décoloration sous forme de cercles noirs que nous avons retrouvée sur les aiguilles persistantes sur le pin noir du Djurdjura, avec, rappelons-le, une fréquence faible, pourrait correspondre aux symptômes décrits par Koukol et *al.* (2015) sur les aiguilles du pin de montagne (*Pinus mugo*), dans les Monts des Géants de Pologne, trouvées dans la litière.

Pour le symptôme de la rouille, que nous avons retrouvé sur les aiguilles du pin noir, et qui est peu fréquent, Koukol et *al.* (2015), rapportent que sur les aiguilles de pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.), il existe des dommages causés par les champignons de la rouille tels que *Coleosporium sennecionis*, *Melampsora pinitorqua* et *Cronartium flaccidum* et qui sont moins fréquents. Ce qui corrobore avec nos résultats.

2.1.1. Étude anatomique

Rappelons nous que l'étude anatomique n'a concerné que le symptôme 1 « Décoloration sous forme de marbrures » due à une pollution à l'ozone ou au froid hivernal.

Les résultats ont révélé des différences nettes entre la structure du mésophylle des aiguilles asymptomatiques et symptomatiques.

A l'observation au microscope (optique et à fluorescence) des coupes transversales réalisées dans les aiguilles symptomatiques du pin noir du Djurdjura, les premières couches de cellules du mésophylle qui entourent les stomates ont paru dégradées, probablement en raison de l'effet de l'ozone, selon le Professeur Bussotti (communication personnelle). Cette observation est similaire à celles faites par plusieurs auteurs (Soda et *al.*, 2000 ; Dalstein et *al.*, 2002 ; Ulrich et *al.*, 2006 ; Vollenweider et *al.*, 2013).

La dégénérescence des cellules du mésophylle apparue, principalement, dans les cellules situées à proximité de la cavité sous-stomatique est liée à l'absorption des polluants atmosphériques par les stomates (Soda et *al.*, 2000). En effet, selon Stolte (1996), les polluants gazeux traversent les stomates des aiguilles des conifères et causent des dommages directs aux cellules du mésophylle, produisant souvent un schéma de diagnostic de lésions visibles. La dégénérescence des cellules du mésophylle indique une réponse d'hypersensibilité (Vollenweider et *al.*, 2013) alors que les cellules environnantes accumulent des polyphénols dans les parois et dans les vacuoles. La fluorescence de la chlorophylle est alors altérée (Dalstein et *al.*, 2002).

Dans l'étude morphologique, les taches chlorotiques dues à l'ozone peuvent être confondues avec celles dues au froid hivernal (taches d'hiver) mais peuvent être différenciés sous l'étude microscopique. L'examen histologique a montré que la tache d'hiver résulte d'une plasmolyse uniforme de toutes les cellules du mésophylle situées sous la lésion de surface et peut provoquer un effondrement de l'épiderme, mais la lésion due à l'ozone affecte uniquement les cellules du mésophylle sous l'épiderme, sans perte structurelle de l'épiderme (Stolte, 1996).

La coloration à la vanilline (Fig. 63), que nous avons effectuée sur une coupe transversale d'une aiguille symptomatique du pin noir du Djurdjura a montré des cellules du mésophylle nécrosées et peu colorées car ayant perdu la chlorophylle autour des stomates, alors que les cellules environnantes accumulent dans leurs parois des polyphénols détectables à leur

couleur rouge foncée. Ces résultats sont similaires à ceux d'Ulrich et *al.* (2006) sur les aiguilles de *Pinus pinaster* : les coupes transversales colorées à la vanilline ont présenté une forte réaction (taches rouges). Cette dernière indique la formation d'oligoproanthocyanidines (OPCs), contre le stress oxydatif, dans les cellules proches des cellules nécrosées du mésophylle et présente une décoloration faible dans les cellules endommagées (taches brunes dues à l'ozone).

Ulrich et *al.* (2006) ont travaillé aussi sur des espèces de feuillus comme *Corylus avellana*, *Fagus sylvatica* (le hêtre) et *Salix viminalis*. Les résultats des dégâts dus à l'ozone étaient caractérisés par la baisse graduelle de chlorophylle, la dégénérescence des cellules du parenchyme palissadique ainsi que par une forte réaction à la vanilline (taches rouges) dans les cellules adjacentes des cellules dégénérées et non dans les cellules épidermiques ni dans les nervures, ce qui est caractéristique de symptômes dus à l'ozone.

2.2. Causes abiotiques et biotiques des décolorations des aiguilles de pin noir

2.2.1. Causes abiotiques possibles : La pollution à l'ozone

Rappelons que les valeurs d'ozone obtenus, dans les trois stations d'études du Parc National du Djurdjura, oscillent entre 73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 113,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Tigounatine ; 72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 103,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Tikjda centre et en fin 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 100,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Tala-Rana.

Selon le parlement européen (Directive ozone : 2002/3 / CE (12/02/2002)), le niveau critique recommandé pour les arbres forestiers est la valeur AOT40 > 10 000 ppb h⁻¹. Ce seuil d'endommagement est défini comme la somme des valeurs horaires supérieures à 40 ppb entre 8 h et 20 h sur une saison de croissance de 6 mois (du 1er avril au 30 septembre) (Dalstein et Vas, 2005a)

Les concentrations d'ozone dans notre étude ne sont pas comparées à ce niveau critique (AOT40 > 10 000 ppb h⁻¹), parce que nous ne disposons pas des moyens pour suivre le même protocole de mesures. Par contre, nous avons comparé nos résultats à ceux de Dalstein et Vas (2005a et 2005b) qui ont utilisé la même marque de capteurs passifs d'ozone que nous et importés du même laboratoire (IVL, Suède). Ces capteurs fournissent des valeurs cumulatives mensuelles.

D'après Dalstein (communication personnelle, 2012) membre du G.I.E.F.S (Groupe International d'Études des Forêts Sud-Européennes, France), les résultats du dosage de

l’ozone que nous avons dans le Parc National du Djurdjura indiquent une pollution moyenne à l’ozone, telle qu’elle est observée en général dans le bassin Méditerranéen.

Ceci confirme les résultats des analyses morphologiques et microscopiques présentés précédemment, sur la décoloration, sous forme de marbrures chlorotiques, supposée due à l’ozone.

En comparant nos résultats à ceux obtenus par Dalstein et *al.* (2005b) dans le moyen et haut pays Mercantour (Alpes-Maritimes) (Tab. VII), nous pouvons dire que les moyennes mensuelles d’ozone à Tikjda centre et à Tala-Rana sont proches des valeurs obtenues par ces chercheurs. Par contre, les valeurs obtenues à Tigounatine sont plus élevées, de même que les valeurs minimales.

Les concentrations d’ozone les plus élevées dans les trois stations d’études : Tigounatine, Tikjda centre et Tala-Rana du parc National du Djurdjura ont été enregistrées pendant les périodes de mi-mai à mi-juin, de mi-juin à mi-juillet et mi-juillet à mi-août. Dalstein et *al.* (2005b) ont enregistré les valeurs les plus élevées pendant les mois de juin, juillet et août sur la colline de Turin en Italie et les zones de crêtes du Parc National du Mercantour en France.

Tableau VII : Comparaison des résultats concernant l’ozone

Stations	Moyenne mensuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Minimum mensuel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Maximum mensuel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Tigounatine	95,5 (48,7 ppb)	73 (37 ppb)	113,5 (57,9 ppb)
Tikjda centre	88,8 (45,3 ppb)	72 (37 ppb)	103,2 (52,6 ppb)
Tala-Rana	88,5 (45,1 ppb)	70 (36 ppb)	100,5 (51,3 ppb)
Littoral, Moyen et haut pays Mercantour (Dalstein et al., 2001)	85 et 100		
Chaîne du Mercantour (Dalstein et al., 2005a)	entre 50 et 55 ppb		
Littoral (Dalstein et al., 2005b)	78,2	64	87
Moyen et haut pays Mercantour (Dalstein et al., 2005b)	87,4	68	112

De nombreuses études sanitaires révèlent un impact conséquent de l'augmentation des concentrations d'ozone sur la végétation et sur la santé humaine. La végétation subit le mécanisme de dépôt de l'ozone, qui pénètre par les stomates à l'intérieur de la feuille par diffusion moléculaire. Les conséquences de ce dépôt sur les feuilles sont à la fois superficielles et internes. Des taches nécrotiques apparaissent sur les feuilles, suite à une exposition de quelques heures à des concentrations ambiantes ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$). L'absorption de molécules d'ozone par la plante agit sur la transpiration et l'ouverture des stomates, ce qui a pour conséquence de réduire le taux d'activité photosynthétique de la plante. Les concentrations ambiantes en ozone affectent, après quelques heures d'exposition, la productivité et le rendement des cultures (Sicard *et al.*, 2010). Diverses études ont montré l'impact de l'ozone sur la végétation (Dalstein *et al.*, 2004, 2005 et 2008; Paoletti *et al.*, 2007; Ulrich *et al.*, 2006 ; Vollenweider *et al.*, 2013).

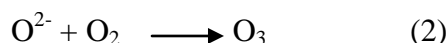
Pour mieux comprendre la part de l'implication de l'homme dans la formation de l'ozone troposphérique, nous nous sommes intéressés à sa formation dans l'environnement et son utilisation dans les différents produits et processus industriels.

Le mot ozone, vient du grec « ozein » qui signifie « exhaler une odeur » (Fontan, 2003) ou « je sens » (Ulrich *et al.*, 2006). L'ozone est une variété allotropique de l'oxygène, c'est-à-dire un composé ayant une molécule composée de trois atomes d'oxygène (O_3), au lieu de deux atomes dans le cas de la molécule d'oxygène, constituant majeur de l'air (Fontan, 2003).

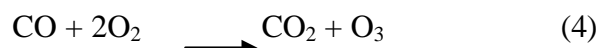
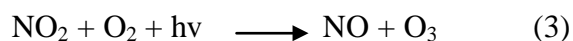
L'ozone ou le trioxygène O_3 , a une odeur électrique pour une concentration de plusieurs centaines de $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette odeur est perceptible (Ulrich *et al.*, 2006) et notre odorat s'y habitue rapidement (OFEFP, 1996). L'ozone est incolore à température ambiante et de couleur bleue à très basse température ; c'est un oxydant très puissant aussi bien en milieu acide qu'en milieu basique (Ulrich *et al.*, 2006). A doses infimes, l'ozone est toxique pour l'être humain, les animaux et les plantes. En raison de ses vertus bactéricides, on l'utilise pour purifier l'eau potable, les eaux de baignade et les eaux usées (OFEFP, 1996).

Seulement environ 10 % de l'ozone atmosphérique se trouve dans la troposphère, et avant les années 1960, on pensait que l'ozone près du sol provenait de la stratosphère (Ramade, 2005).

Dans la basse troposphère l'accroissement de la teneur en ozone provoqué par la pollution atmosphérique résulte en particulier de la présence simultanée d'hydrocarbures imbrûlés et d'oxyde d'azote dans l'air urbain, comme le présente les réactions suivantes (Ramade, 2005) :



L'oxygène libre ainsi formé réagit avec la molécule de dioxygène en présence d'aérosols métalliques, d'hydrocarbures imbrûlés et de NO_2 eux mêmes liés à la pollution atmosphérique, qui catalysent la réaction (2) qui conduit à la formation d'ozone (Ramade, 2005).



L'effet net des réactions (3) et (4) se traduira par l'existence d'un équilibre dynamique entre la formation de NO_2 et d'ozone.

Le formaldéhyde formé dans la réaction (5) peut entrer dans un nouveau cycle d'oxydation produisant à nouveau de l'ozone. L'ozone réagit ensuite avec les aéropolluants et donne des polluants tertiaires dont les PAN (Péroxyacétylnitrates), par réaction de radicaux peroxyacyles avec le NO_2 selon les réactions décrites ci-dessus (Ramade, 2005).

La stratosphère contient environ 90 % de l'ozone présent naturellement dans l'atmosphère et ce gaz y forme une couche qui nous préserve d'un excès de radiations solaires de courte longueur d'onde en provenance du soleil (Delmas et *al.*, 2005).

L'ozone de cette phase stratosphérique forme une couche que nous appelons « la couche d'ozone », qui subit actuellement un amincissement à cause des polluants atmosphériques et provoque ce qu'on appelle « le trou de la couche d'ozone »

2.2.1.1. Sources de l'ozone

2.2.1.1.1. Sources artificielles de l'ozone sont multiples, nous pouvons citer :

- Pollution urbaine

De nombreuses cités telles que Los Angeles, Athènes, le Caire, Mexico, présentent fréquemment des épisodes de pollution intense appelés smog photochimique (*smog = smoke + fog*). Un smog est caractérisé par de fortes concentrations en oxydants, principalement de l'ozone et de photooxydants comme le PAN.

Pour que se produise un smog photochimique, il faut avant tout une production locale intense d'hydrocarbures, de composés organiques volatiles (COV) et d'oxydes d'azote (Masclat, 2005).

En France, les zones urbaines mais aussi les zones au dessus des forêts sont riches en ozone. Les zones urbaines produisent des oxydes d'azote et des COV qui conduisent à la formation de NO₂, donc d'ozone par photolyse. Ce phénomène se produit à l'extérieur immédiat des villes car les réactions photochimiques et de photolyse ne sont pas immédiates et se développent dans les panaches urbains (Masclat, 2005).

- Polluants automobiles sont les principales sources de pollution

L'automobile est la principale source de pollution. La composition des émissions automobiles est la suivante : N₂ (78 %), CO₂ (12 %), H₂O (5 %), CO (2 %), H₂ (2 %), O₂ (1 %), Hydrocarbures (0,1 %) et les Oxydes d'azote (0,1 %).

Malgré le faible pourcentage d'oxydes d'azote (0,1 %) et d'hydrocarbures (0,1 %), ces émissions représentent néanmoins des millions de tonnes chaque année.

Dans le bilan des émissions véhiculaires, on doit aussi prendre en compte les COV émis lors du remplissage des réservoirs (Masclat, 2005).

- Polluants industriels : dans les polluants industriels on trouve

➤ Polluants provenant des combustions

Tout processus de combustion produit les 3 polluants suivants : SO₂, NO_x et poussières. La combustion du fioul et du charbon, riche en soufre, fournit surtout du SO₂ (Masclat, 2005).

➤ Peintures et solvants

Les industries automobiles (peintures) et les industries chimiques émettent de nombreux COV, notamment des alcools, des COV chlorés et des COV aromatiques souvent toxiques.

Les installations de raffinage, les industries des détergents, des peintures et des vernis et les usines où l'on utilise des dégraissants, sont aussi de forts pollueurs (Masclat, 2005).

➤ Polluants issus des incinérateurs

De nombreux composés sont émis par ce type d'installation. On retrouve surtout des composés COV chlorés et de l'acide chlorhydrique provenant des plastiques (Masclat, 2005).

- **Engrais et pesticides**

Les engrais sont des composés azotés ou phosphorés. Leur impact environnemental est plutôt lié à la pollution de l'eau. En revanche, les pesticides, notamment les insecticides, sont volatils et polluent l'atmosphère, car près de 70 % des quantités répandues sur les sols se revolatilisent. Les familles les plus abondantes sont les triazines, les composés azotés ou phosphorés et les composés chlorés tels que le lindane (ou hexachlorobenzène). Ce composé, théoriquement supprimé du fait de sa toxicité, est en fait encore très employé, surtout dans les pays émergents. On le retrouve d'ailleurs partout dans l'environnement et jusque dans les glaces polaires. Ces composés sont en général peu réactifs et on les appelle « composés semipersistants (POP) ». Ils sont toxiques et participent peu au bilan de l'ozone troposphérique (Masclat, 2005).

2.2.1.1.2. Sources naturelles de l'ozone

Les polluants gazeux anthropiques ne constituent pas la seule source d'ozone. Tous les COV, y compris les COV naturels, participent au bilan de ce gaz. Tout d'abord le méthane qui s'oxyde en CO puis en CO₂. Ce processus de combustion photochimique implique le NO₂ et les COV émis par les plantes et les arbres. Tels que l'isoprène. Il en résulte aussi une production d'ozone (Masclat, 2005).

- **Combustion de la biomasse**

Les combustions de bois et d'herbes conduisent à la formation d'ozone. Lors des feux de forêts et de savane, de grandes quantités d'hydrocarbures et d'oxydes d'azote sont émises. La formation d'ozone est donc importante. Elle est particulièrement forte en zone tropicale de savane où la lumière est intense. Mais elle est non négligeable lors des feux de forêts boréales qui couvrent parfois une grande superficie en été, notamment en Sibérie, aux USA et au Canada (Masclat, 2005).

- **Respiration des plantes**

La formation d'ozone en zone forestière paraît plus paradoxale. Elle est due au mixage des polluants en provenance des cités et des COV issus de la respiration de la forêt (monoterpènes et isoprène) (Masclat, 2005).

Les arbres respirent par leurs feuilles (Masclat, 2005). Les stomates des plantes permettent la pénétration du CO₂ ou de l'O₂, mais également de tous les autres gaz se trouvant dans l'air.

Ils rejettent de l'O₂ ou du CO₂, de la vapeur d'eau ainsi que des terpènes (Kohlmaier et al., 1983 ; Kreuzig et al., 1988 ; Jay et Steiglitz, 1989 ; Clément et al., 1990 in Ulrich et al., 2006).

Les arbres à feuilles caduques (chêne, hêtre, etc.) émettent de l'isoprène notamment en période de végétation. Les conifères émettent des monoterpènes (Masclat, 2005). Ces gaz comportent des doubles liaisons et sont donc très réactifs (Masclat, 2005). Ces terpènes, malgré leur concentration extrêmement faible, jouent le rôle de catalyseurs dans la production en chaîne des photo-oxydants (Becker et al., 1990 ; Jay et Steiglitz, 1989 ; Kohlmaier et al., 1983 ; Kotzias et al., 1991 ; Lopez et al., 1989 in Ulrich et al., 2006). La formation d'ozone est aisée, pour autant que la quantité d'oxydes d'azote ne soit pas négligeable (Masclat, 2005).

2.2.1.2. Sources anthropiques possibles de l'ozone dans le Parc National du Djurdjura

Selon l'annuaire statistique (2016) de la wilaya de Tizi-Ouzou, la population totale de la wilaya au 31/12/2016 est de 1 178 333.

Les entreprises industrielles de la wilaya sont au nombre 276 entreprises. C'est un chiffre considérable du point de vue activités et rejets dans l'environnement. Cela peut augmenter la pollution atmosphérique.

Il y'a 373 points de ventes de gaz butane au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou, avec une capacité de commercialisation de 60 682 bouteilles B13 avec un grand risque de fuites qui peuvent constituer des sources de COV.

La wilaya a une superficie agricole utile de 98 842 ha. Les agricultures utilisent probablement des pesticides qui sont l'une des sources de pollution à l'ozone.

La superficie forestière est de 112 180,65 ha. La forêt est l'une des sources naturelle de la formation de l'ozone, par la respiration des plantes et le dégagement de COV.

Pour le parc automobile de la wilaya de Tizi-Ouzou s'élève à 323 936 véhicules. Ces derniers sont des sources d'hydrocarbures et de NO_x qui sont des précurseurs de l'ozone.

Le chapitre environnement de l'annuaire statistique 2016 de la wilaya de Tizi-Ouzou indique que :

- La quantité de déchets générés est de 1 182,56 (Tonnes/j) ;
- Les décharges contrôlées sont au nombre de 3 ;

- Les décharges non contrôlées sont au nombre de 948 (source d'une très grande pollution) ;
- Le volume de déchets traités est de 23 448,42 (Tonne/J) ;
- Le nombre d'unités polluantes est de 1 631 unités ;
- Les espaces verts et jardins publics sont de 37.

Les sources anthropiques de pollution concernant le Parc National du Djurdjura ne se limitent, malheureusement, pas à celles de la wilaya de Tizi-Ouzou. Il y a également l'influence de celles des wilayas de Bouira et d'Alger dont nous ne disposons pas de données.

2.2.1. Causes biotiques possibles : Les Aphides

Bien qu'*Eulachnus tuberculostemmatum* (Theobald, 1915) ait une distribution méditerranéenne, sa présence n'avait jamais été signalée auparavant en Algérie et, c'est pour la première fois que nous l'avons rencontré dans le Parc National du Djurdjura. Cet Eulachnidae passe son cycle de vie principalement sur les aiguilles d'espèces de *Pinus*, caractéristiques de la région méditerranéenne: *Pinus halepensis* Miller (pin d'Alep), *Pinus pinea* L. (pin parasol ou pin pignon), *Pinus brutia* Ten. (pin de Calabre) et *Pinus pinaster* Ait. (pin maritime).

Il a été signalé pour la première fois en Égypte, en 1915, par Theobald sur des espèces de *Pinus*. Par la suite, sa présence a été observée au Moyen-Orient par Pintera en 1968 et Tremblay et Micieli de Biase en 1970.

Ce puceron a été signalé par Nieto Nafria, en 1972, dans les îles Canaries puis en 1975 en Espagne. En Italie, il a été signalé, en 1983, par Binazzi, sur *P. halepensis*, *P. pinaster* et *P. pinea*.

En 1996, Toros et al. ont signalé cette espèce sur des espèces de *Pinus* en Turquie. Selon Qiao et al. (2002), ce puceron a été introduit en Chine, dans la province du Yunnan, et trouvé sur *Pinus yunnanensis* (Pin du Yunnan = Pin à poils longs), *P. halepensis*, *P. canariensis* (pin des Canaries), *P. brutia* var. *eldarica*, *P. pinaster*, *P. pinea* et *P. nigra* (pin noir). Il a été, également, détecté en Grèce par Kavallieratos et al. en 2007 sur *P. pinea*, puis à Malte sur *P. halepensis* par Mifsud et al. en 2011 et récemment, au Tadjikistan où sa présence a été rapportée pour la première fois en 2014 sur *P. pinea* par Kanturski et al. (2015).

Theobald en 1915 a souligné le comportement imprévisible d'*Eulachnus tuberculostemmatum* notant sa capacité à évoluer rapidement.

La faune aphidienne d'Algérie est peu connue. Le faible nombre d'espèces enregistrées dans des études antérieures reflète probablement le manque d'études menées sur cette faune. Les données disponibles sont très fragmentées. L'Algérie est le plus grand pays du bassin méditerranéen, avec une flore très diversifiée comprenant 3139 espèces végétales (Quezel & Santa, 1962) et des conditions climatiques diverses. La faune des pucerons est donc probablement beaucoup plus riche que ne le suggèrent les publications précédentes (Laamari et al., 2009).

Benmalem et al. (2016) qui ont travaillé sur l'association tri-trophiques (parasitoïdes - pucerons - plantes) dans le milieu naturel de la région de kenchela, en particulier sur le cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica*), le chêne vert (*Quercus rotandifolia*) et le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), rapportent que les pucerons constituent un groupe d'insectes extrêmement répandu dans le monde et qui s'est diversifié parallèlement à celui des plantes à fleurs. Actuellement, ils sont devenus des ravageurs majeurs des forêts, des cultures et des plantes ornementales. Ils sont surtout connus pour leur développement rapide (Mohannad et al., 2011) et leur pouvoir de dispersion sur de longues distances (Benmalem et al., 2016).

Benoufella-Kitous en 2005, qui a travaillé sur les agrumes dans la région d'Oued-Aissi (Tizi-Ouzou), considère que de tous les insectes ravageurs des agrumes, les pucerons constituent le groupe qui pose le plus de problèmes. Elle rapporte que, les particularités biologiques et éthologiques de ces insectes, notamment leur potentiel biotique prodigieux et leur extraordinaire adaptation à l'exploitation maximale du milieu par leur polymorphisme, en font des déprédateurs majeurs des cultures.

Selon le même auteur, les pucerons sont des insectes qui ont développé au cours de leur évolution, de remarquables capacités d'adaptation au milieu : fécondité élevée, mode de reproduction varié, alternance d'individus ailés et aptères, utilisation de plusieurs types de plantes. Ceci leur permet d'exploiter au mieux les plantes sur lesquelles ils vivent.

Sur les pins, les pucerons, passent l'hiver sur des aiguilles et des écorces sous forme de petits œufs ovales noirs. Des infestations importantes de pucerons, peuvent tuer de jeunes arbres ou des branches de gros arbres (Malinaski et Clement, 2003). Selon Benoufella-Kitous (2005), le dénombrement visuel des populations de pucerons installées sur le feuillage des agrumes, a

permis de mettre en relief deux périodes d'infestations : l'une en automne et l'autre au printemps. Ces infestations sont sous la dépendance des conditions de nutrition, des conditions climatiques et de l'action de la faune auxiliaire. Notre période d'échantillonnage sur le terrain correspond à l'une des deux périodes d'infestations qui est le printemps.

Les pucerons sont de petits insectes mous qui se nourrissent en suçant la sève des plantes. Grâce à des parties buccales spécialisées, notamment les stylets, les pièces buccales des hémiptères herbivores peuvent naviguer entre les cellules végétales pour atteindre les tubes criblés du phloème et se nourrir de la sève élaborée (Boulain, 2017).

Leur présence est signalée par la présence de miellat collant. Ce dernier est excrété par la cauda (Naessens, 2016). C'est un liquide visqueux qui peut être rejeté en très grande quantité par les pucerons (Stolte, 1996 ; Naessens, 2016). Il contient des quantités variables de sucres tirés de la plante hôte (Sabri et al., 2013). Ce miellat est l'une des causes des nombreux dégâts sur les plantes, car il favorise le développement de champignons phytopathogènes.

Selon Aroun (2015), les homoptères, comme les pucerons et les cochenilles, se nourrissent de la sève élaborée des plantes et excrètent l'excès de sucre dans des gouttes de miellat. Zoebelein (1955) in Aroun (2015) a recensé 246 espèces d'insectes qu'attire le miellat des pucerons dont 23 espèces de syrphes, 10 espèces de coccinelles et 59 de parasitoïdes hyménoptères.

Aroun (2015), rapporte que les pucerons entretiennent une relation de mutualisme avec les fourmis. Ces dernières protègent les pucerons en échange de nourriture fournie sous forme de miellat.

Laamari et al. (2015), travaillant sur une espèce d'arbre fruitier, le pêcher (*Prunus persica*), infecté par un puceron *Pterochloroides persicae* (Cholodkovsky) (Homoptera, Aphididae, Lachninae), ont observé que, sous l'effet d'un miellat très abondant, les pêchers sont devenus très brillants et facilement reconnaissables. Les feuilles de la base ainsi que les plantes herbacées qui se trouvaient en dessous de la frondaison étaient complètement couvertes d'une intense fumagine. Les mêmes auteurs rapportent qu'effectivement, le miellat et la fumagine peuvent rendre le feuillage noir, ce qui gêne la photosynthèse et provoque des brûlures en cas d'ensoleillement puissant.

La tête des pucerons est prolongée ventralement par un rostre (prolongement rigide qui contient les pièces buccales). Les mandibules et maxilles sont fortement modifiées en deux paires de stylets composés d'un canal alimentaire et d'un canal salivaire. Ces stylets permettent aux pucerons de s'alimenter de la sève élaborée contenue dans les vaisseaux du phloème. Sur les pins, les pucerons se nourrissent d'aiguilles (Malinaski et Clement, 2003), ce qui induit à une décoloration des aiguilles, correspondant au symptôme 3 que nous avons décrit. Ce symptôme peut être confondu avec les décolorations dues à la cochenille qui est également un insecte Homoptère qui se nourrit en suçant la sève des aiguilles et provoque leur jaunissement. Les dommages causés par les pucerons suceurs de phloème sont un facteur d'accélération de la sénescence des aiguilles, comme l'ont déjà observé Vollenweider et Günthardt-Goerg (2005). Comme cela a déjà été observé en 1980 par Barbagallo et Stroyan sur les aiguilles de *P. halepensis*, les dommages dus à *E. tuberculostemmatus* sont considérablement plus importants lorsque les infestations sont associées à celles de *Cinara palaestinensis* Hille Ris Lambers, 1948 (aphide de pin d'Alep). Selon Stolte (1996), ce même symptôme peut être confondu avec les symptômes dus à des facteurs abiotiques.

Benoufella-Kitous (2005), rapporte que les dommages occasionnés par les pucerons sont de deux types. Les dégâts directs, correspondant à de multitudes prises de nourriture, ce qui engendre un affaiblissement de la plante, un avortement des fleurs, un enroulement et une chute des feuilles réduisant la surface photosynthétique et un dessèchement des pousses. En Tunisie, des populations de puceron appelé *Brachycaudus schwartzi* Börner, ont été observées sur pêcher *Prunus persicae* depuis 2010 dans plusieurs jardins privés dans la région d'Akouada (Sousse, Tunisie). Ce puceron est présent à des niveaux d'infestations très élevées sur la face inférieure des feuilles provoquant leur enroulement en boucles et leur dessèchement (Ben Halima-Kamel et Karboul, 2014). Les dégâts indirects interviennent d'une part par le développement de nombreuses espèces de champignons saprophytes et d'autre part par la transmission de phytovirus. Les pucerons possèdent de nombreuses caractéristiques morphologiques et biologiques qui en font des redoutables vecteurs de virus, causant de graves maladies telles que la Tristeza, une virose difficile à éradiquer (Benoufella-Kitous, 2005).

Les virus des végétaux dépendent de vecteurs biologiques ou de transmissions mécaniques pour le transfert de plantes à plantes. À l'intérieur de la plante, ils se propagent du lieu d'infection aux parties distales à travers le tissu vasculaire (Steffen et al., 2015). Selon

Benoufella-Kitous (2015), ces virus sont transmis par la salive du puceron qui entre en contact direct avec la sève élaborée et circule ensuite dans la plante. Ces virus peuvent entraîner des pertes sévères chez des cultures économiquement importantes. Ils utilisent ces moyens de transport que sont les pucerons pour se maintenir dans la nature et se propager de plante à plante (Brault et *al.*, 2010). Le puceron vert du pêcher, *Myzus persicae*, par exemple est un agent vecteur de plus de 100 virus de plantes (Emden et *al.*, 1969). En outre, *B. schwartzi* est capable de transmettre le virus de la Sharka (Manachini et *al.*, 2004) et son rôle de vecteur ne doit pas être négligé (Ben Halima-Kamel et Karboul, 2014).

Steffen et *al.* (2015) rapportent qu'environ 1300 espèces de virus végétaux sont connues. Dans les légumes de plein champ, une synthèse faite par Tomlinson (1987 cité par Dedryver et *al.*, 2010 in Benoufella-Kitous, 2015) dans plus de 28 pays à climat tempéré a révélé que les cinq virus les plus importants économiquement sont transmis par les pucerons.

2.3. Étude des corrélations entre les différents symptômes par analyse en composantes principales (ACP)

La matrice des corrélations (Tab. V) a révélé qu'il y a une corrélation significative négative entre la décoloration sous forme de marbrures chlorotiques (DM) et le symptôme décoloration sous forme de points d'impacts marrons (DPIM). Cela signifie que lorsque DM augmente, DPIM diminue. Le taux de présence élevé de DM indique la présence d'une pollution à l'ozone, confirmée par le dosage de ce dernier (partie 1.2.1, p. 96) et l'étude anatomique des aiguilles (partie 1.1.2, p.93). Toutefois, des conditions climatiques sévères (froid, gèle et neige) peuvent être à l'origine de la décoloration sous forme de marbrures chlorotiques (Stolte, 1996). DPIM, supposé dû aux insectes ou aux champignons, est influencé négativement par l'ozone et le froid.

La matrice montre également, une autre corrélation significative négative entre la décoloration sous forme de bandes rouges-marrons (DBM) et le symptôme « aiguilles abimées à leurs extrémités » (AE). DBM est probablement dû à un champignon Ascomycète pathogène *Dothistroma septosporum* qui empêcherait l'installation d'autres champignons et insectes à l'origine de AE.

La matrice révèle par contre, une corrélation significative positive entre la décoloration sous forme de bandes transparentes (DBT) et le symptôme aiguilles entièrement ou partiellement

décolorées (aiguilles mortes) (AM). Elle révèle également une corrélation positive entre DBM et AM.

D'après cette matrice de corrélation, comme nous l'avons déjà supposé, les trois symptômes correspondent à des stades d'évolution d'une attaque de *Dothistroma septosporum* sur les aiguilles du pin noir du Djurdjura ; DBT constituerait le premier stade de l'attaque de ce champignon, suivi de DBM puis de l'AM qui représenterait le dernier stade de la maladie (Fig. 70). Par contre, les corrélations négatives, respectives, entre la décoloration sous forme de bandes jaunes (DBJ) et AM et entre DBJ et DBM indiquent que DBJ est probablement dû à un autre pathogène que *Dothistroma septosporum*, contrairement à ce que nous avons supposé précédemment.

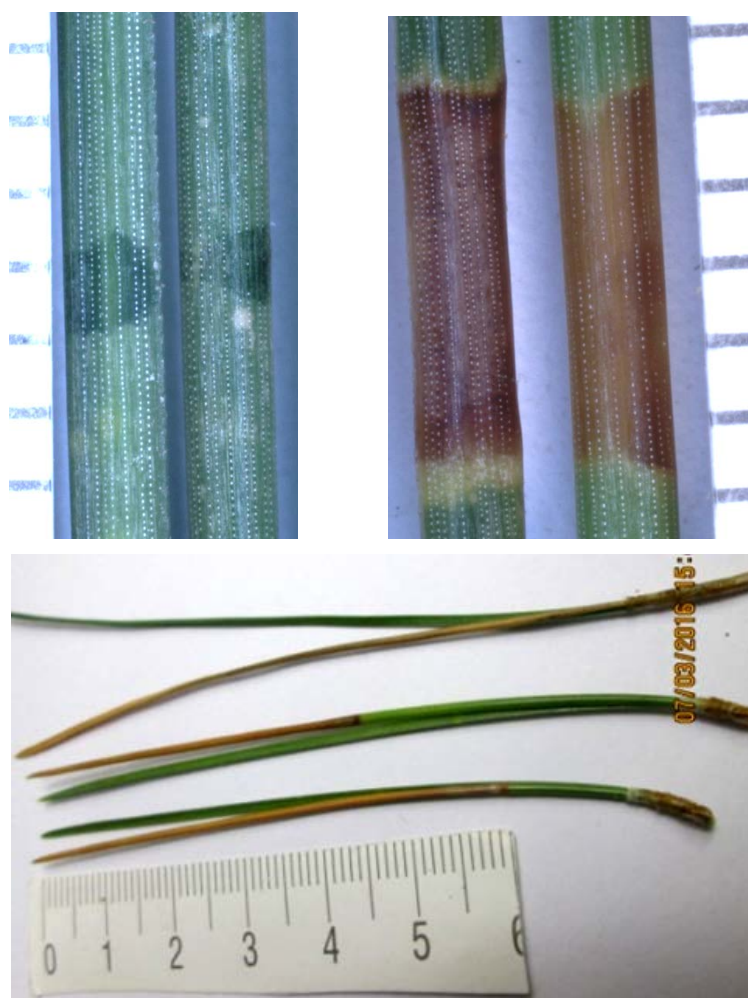


Figure 70 : stades d'évolution possibles d'une attaque de champignon « *Dothistroma septosporum* » sur les aiguilles du pin noir du Djurdjura ; 1 : DBT constituerait le premier stade de l'attaque, 2 : DBM, est le deuxième stade, 3 : AM, est le troisième stade (Hedjam, 2019).

L'ACP, représentée dans la figure 58 (page 92), fait ressortir quatre groupes : un pour Tala-Rana, un pour Tikjda centre et deux groupes pour Tigounatine.

L'organisation des nuages des 28 arbres étudiés manifeste une opposition entre les stations de Tigounatine située à haute altitude (1450-1610m) (groupe A et B), Tikjda centre située à moyenne altitude (1450-1550 m) (groupe C) et Tala-Rana située à basse altitude (1280 m) (groupe D). Les 3 stations sont situées sur un gradient altitudinal selon l'axe vertical F2.

L'ACP révèle aussi que la majorité des symptômes se situent dans la station de Tigounatine. Cette dernière présente une différence entre les individus, liée à une diversité génétique, qui réagissent différemment aux diverses agressions (champignons, insectes, etc.) ; de plus le peuplement de Tigounatine est dans sa majorité très vieux ; les arbres sont affaiblis soit par les conditions climatiques rudes, soit par des actions anthropiques.

Tigounatine a une exposition nord, nord-ouest et sud avec la présence de petites stations à microclimats favorables à beaucoup de champignons et insectes contrairement aux deux autres stations qui ont une exposition sud. Ces différents facteurs peuvent être à l'origine de cette fragmentation en deux groupes.


Tigounatine se situe dans la plus haute altitude et subit les plus grandes pollutions. Ces dernières montent des basses altitudes et des milieux urbains. En effet, le Parc National du Djurdjura est entouré par les wilayas de Tizi-Ouzou, Bouira et même Alger, en plus de sa proximité avec la mer méditerranéenne (50 km à vol d'oiseau) qui porte elle aussi une certaine pollution avec les brises maritimes et toute la pollution originaire des ports.

La station de Tigounatine présente quelques symptômes aux basses altitudes (ceux qui sont en bas de l'axe 1) et d'autres symptômes à haute altitude (en haut de l'axe 1).

Dans le groupe C, se trouvent les individus des trois stations, parce que quelques individus de Tigounatine se trouvent à la même altitude que ceux de Tikjda centre et que les stations sont proches (1,5 km). L'individu de Tala-Rana est présent aussi dans ce même groupe. Miller (1986 *in* Asmani, 1993) rapporte que les arbres de la station de Tala-Rana sont issus d'un reboisement. L'origine des graines, d'après les ingénieurs forestiers du Parc National du Djurdjura, est le peuplement de Tigounatine.

Si nous superposons le plan des individus sur le plan des symptômes il ressort que :

- Les symptômes AM et DBM sont plus présent sur les individus Tga3, Tgs5, Tgs8 Tga4 et Tga7 ;
- Les symptômes DC et DPIM sont plus présent sur les individus Tga5, Tga10, Tga9, Tgs4, Tga1, Tgs6, Tr4 et Tr3 ;
- Le symptôme AE est plus présent sur les individus Tr1, Tc2, Tc3, Tgs2 et Tr2 ;
- Le symptôme AM est plus présent sur les individus Tgs3, Tgs1, Tc6, Tc5, Tgs7, Tga6 et Tgs8.



Conclusion Générale

Au terme de ce travail, nous pouvons dire que les résultats obtenus indiquent que l'état sanitaire des aiguilles de Pin noir (*Pinus nigra* Arnold ssp. *mauretanica* Maire et Peyer) du Parc National du Djurdjura est menacé d'après les neuf symptômes découverts et qui sont, par ordre décroissant d'importance:

1. symptôme 3 : décolorations jaunâtres (DC) avec 57,6% ;
2. symptôme 1 : décolorations sous forme de marbrures chlorotiques (*mottling*) (DM) avec 46,4% ;
3. symptôme 4 : décolorations sous forme de points d'impacts marrons (DPIM) avec 22,6% ;
4. symptôme 5 : aiguilles abîmées à leurs extrémité (AE) avec 20,1% ;
5. symptôme 6 : aiguilles à moitié ou totalement décolorées (aiguille morte) (AM) avec 7,4% ;
6. symptôme 7 : décolorations sous forme de bandes jaunes (DBJ) avec 7,4% ;
7. symptôme 8 : décolorations sous forme de bandes rouges-marrons (DBM) avec 7,4% ;
8. symptôme 9 : décolorations sous forme de bandes transparentes (DBT) avec 6% ;
9. symptôme 2 : aiguilles marrons d'un côté (AMC) avec 5,7%.

Les décolorations jaunâtres et celles sous forme de marbrures chlorotiques sont les plus présentes.

Ces symptômes varient en fonction de l'âge des aiguilles de *Pinus nigra* dans les trois stations d'études, Tigounatine, Tikjda centre et Tala-Rana. Ils varient en fonction de l'individu à Tigounatine mais ne varient pas en fonction de la hauteur et du type d'individus (semi et adulte).

Ces symptômes ne varient pas en fonction de l'exposition (Nord et Sud) dans les deux stations, Tikjda centre et Tala-Rana.

La décoloration sous forme de marbrures chlorotiques peut avoir plusieurs origines abiotiques, à savoir la pollution à l'ozone et/ou le froid hivernal. Des symptômes foliaires résultant d'agents biotiques peuvent apparaître sur les surfaces de l'aiguille, ce qui complique le diagnostic des symptômes. Les taches jaunâtres, chlorotiques et nécrotiques causées par les insectes suceurs, tels que les cochenilles et les Aphides (pucerons), peuvent parfois ressembler fortement à la marbrure chlorotique due à l'ozone.

Les résultats concernant l’ozone que nous avons dosé sur terrain révèlent la présence d’une pollution moyennement élevée. Du fait de la position géographique du Parc National du Djurdjura en altitude et à cheval sur les trois wilayas Tizi-Ouzou, Bouira et Alger ainsi que son exposition à la mer méditerranéenne, augmentent les précurseurs d’ozone et favorise la formation de ce dernier. Un axe routier (autoroute Est) accroît cette pollution qui remonte aux sommets du Djurdjura par inversion thermique.

Les observations microscopiques effectuées sur les aiguilles du pin noir de Djurdjura de la marbrure chlorotique ont révélé des altérations anatomiques et une dégradation de la chlorophylle du parenchyme chlorophyllien mais pas de l’épiderme, résultat spécifique à l’ozone. Cela confirme la présence d’une pollution à l’ozone dans le Parc National du Djurdjura.

Le froid hivernal présent dans les hautes altitudes où se trouve ce parc, avec la présence de basses températures, peut aussi agir sur la décoloration des aiguilles. Ainsi la décoloration des aiguilles peut-être liée à l’effet de l’ozone qui affaiblit l’arbre accentué par l’effet de froid hivernal.

Pour la décoloration jaunâtre, due à la cochenille, peut être confondue avec celles des aphides. Nous avons identifié dans le Parc National du Djurdjura, pour la première fois, une espèce d’aphide, nouvelle pour l’Algérie. Il s’agit d’*Eulachnus tuberculostemmatum* (Theobald, 1915).

Pour la décoloration sous forme de bandes jaunes et celle de bandes rouges-marrons supposées dues au champignon «*Dothistroma septosporum*», les symptômes morphologiques ne constituent toutefois pas un élément suffisant pour être affirmatif et attribuer un problème de décoloration jaune ou rouge-marron à la maladie des bandes rouges. Bon nombre de maladies, ravageurs ou causes physiologiques sont susceptibles de provoquer chez le pin un brunissement et une confusion de symptômes est dès lors toujours possible. Nous proposons de faire une culture des champignons et d’envisager une étude génétique pour l’identification exacte de l’espèce.

Pour terminer, nous pouvons donc dire que nous avons abordé ce problème de décoloration mais l’évaluation de ce paramètre présente des problèmes associés. Plusieurs questions importantes restent encore sans réponses. Par exemple, les symptômes visibles sont-ils un bon

indicateur des effets sur la vitalité des arbres: performance? Les relations doses-effets sont-elles similaires pour les semis et les arbres matures ?

Des études complémentaires en perspectives sont nécessaires pour :

- Analyser l'effet de ces symptômes sur la teneur en pigments chlorophylliens des aiguilles ;
- Réaliser d'autres études, telles que des expériences de fumigation contrôlée de l'ozone, dans des chambres de fumigation, pour caractériser les effets spécifiques de l'ozone ;
- Faire une surveillance des concentrations d'ozone dans le Parc National du Djurdjura, dans le but de protéger la faune et la flore naturelles existantes ;
- Réaliser des analyses de sol et des analyses foliaires, pour éliminer la possibilité d'une carence en éléments minéraux dont les symptômes ressembleraient aux marbrures chlorotiques ;
- Faire des analyses microbiologiques, dans le sol et les aiguilles ;
- Faire une étude cyto-histochimique pour détecter les différentes constitutions qui se mettent en place lors des différents stress biotiques et abiotiques;
- Étudier d'autres espèces de feuillus et de conifères comme par exemple le pin d'Alep, une espèce commune dans le pourtour Méditerranéen, reconnue comme sensible à l'ozone en Europe et bio-indicatrice de ce polluant ;
- Faire des études complémentaires visant à évaluer l'incidence réelle du ravageur phytophage *Eulachnus tuberculostemmatum*, et rechercher s'il a d'éventuelles associations avec d'autres insectes suceurs de phloème qui pourrait amplifier sa nocivité;
- Réaliser un inventaire des insectes ravageurs des aiguilles du pin noir du Djurdjura en utilisant d'autres méthodes de piégeages.



Références bibliographiques

1. **Abdelaziz C., 2012.** "Flore et Végétations Méditerranéennes." produit pédagogique. Institut Sylvo-Pastoral de Tabarka. Université Virtuelle de Tunis. 74p.
2. **Adjaoud D. et Aidrous N., 1992.** Contribution à l'étude bio systématique du *Pin* noir du Djurdjura (*Pinus nigra* Arn. Subsp. *mauretanica*). Mem. Ing. Agr. UMMTO. (Algérie) 121 p.
3. **Adjaoud D., 2005.** Étude de la variabilité morphologique et physiologique du Pin noir du Djurdjura *Pinus nigra* Arnold ssp. *mauretanica*. Mém. Mag. Agr. U.M.M.T.O. (Algérie). 101p.
4. **Ait Yahia A., Ait Ouada M., Hadjarab K., Belfendes R. et Sarni K., 1997.** Identification of chickpea stunt viruses in Algeria. EPPO Bulletin 27 : 265-268.
5. **Anonyme, 2018.** Les cochenilles, des ravageurs envahissants et nuisibles. Ministère de l'Agriculture. plan Ecophyto 2018. France. 2 p.
6. **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." Annales des Sciences Forestières 28(1) : 23-49.
7. **Aroun M.E.F., 2015.** Le complexe aphides et ennemis naturels en milieux cultivé et forestier en Algérie. Thèse de Doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique-El-Harrach-Alger. 169 p.
8. **Assmani A., 1988.** Étude biosystématique du pin noir du Djurdjura (*Pinus nigra* Arnold Subsp. *Clusiana* Clem. Var. *mauretanica* maire et peyer.). Thèse Ing. Agronome : Option foresterie. Instit. Agronomie, Tiz-Ouzou. Algérie. 96p.
9. **Asmani A., 1993.** "Exploration de la variabilité chez le Pin noir de la forêt de Tigountine (Djurdjura - Algérie) en comparaison avec quelques provenances de pins noirs méditerranéens. Thèse de Magister, UMMTO. Algérie. 156 p.
10. **Barbagallo S. et Stroyan HLG., 1980.** Osservazioni biologiche, ecologiche e tassonomiche sull'afidofauna della Sicilia. Frustula Entomologica 3, 1-182.
11. **Barnes I., Crous P.W., Wingfield B.D., Wingfield M.J., 2004.** Multigene phylogenies reveal that red band needle blight of *Pinus* is caused by two distinct species of *Dothistroma*, *D. septosporum* and *D. pini*. Studies in Mycology 50 : 551-566.
12. **Bednářová M., Palovčíková D., Jankovský L., 2006.** The host spectrum of *Dothistroma* needle blight *Mycosphaerella pini* E. Rostrup—new hosts of *Dothistroma* needle blight observed in the Czech Republic. Journal of Forest Science 52 : 30-36.

13. **Ben Halima-Kamel M. et Karboul H., 2014.** *Brachycaudus schwartzi* Börner, un nouveau ravageur sur pêcher et prunier en Tunisie. EPPO Bulletin 44 : 57–59.
14. **Benmalem R.Y., Bellal M., Nouani A., 2016.** Associations tri-trophiques (parasitoïdes-pucerons-plantes) notées dans le milieu naturel de la région de kenchela (Est-Algérien). Nature et Technology : B. 15 : 2 – 8.
15. **Benmoufflok A., 1994.** Approche écopedologique dans les formations à *Cedrus atlantica* cas du massif du Djurdjura. Annales de la recherche forestiere du Maroc. 27 : 205-217
16. **Benoufella-Kitous K., 2005.** Les pucerons des agrumes et leurs ennemis naturels à Oued-Aïssi (Tizi-Ouzou). Thèse de Magistère en Agronomie. Ecole Nationale d'Agronomie El-Harrach-Alger. 222 p.
17. **Benoufella-Kitous K., 2015.** Bioécologie des pucerons de différentes cultures et de leurs ennemis naturels à Oued-Aïssi et Draâ Ben Khedda (Tizi-Ouzou). Thèse de Doctorat. E.N.S.A. El Harrach, Alger. 334 p.
18. **Berryman A.A., 2013.** Dynamics of forest insect populations : patterns, causes, implications : Springer Science et Business Media, LLC. Washington State University. Pullman, Washington. 608 p.
19. **Binazzi A., 1983.** Contributi alla conoscenza degli afidi delle conifere. V. I Lacnidi del pino d'Aleppo con la descrizione di tre sottospecie nuove. (Homoptera Aphidoidea Lachnidae). Redia 66, 97–130.
20. **Boulain Hln., 2017.** Diversité, caractéristiques évolutives et rôles des effecteurs salivaires du puceron du pois dans l'interaction avec ses plantes hôtes Rennes, Agrocampus Ouest. 156 p.
21. **Boulila M., Briard P. et Ravelonandro M., 2004.** Outbreak of plum pox virus in Tunisia. Journal of Plant Pathology Edizioni ETS Pisa 86, 197–201.
22. **Boutamine R., 1987.** Étude structurale et dynamique des peuplements de pin noir du Djurdjura. Mém.D.E.S. Fac. Sci. Univ. H. Boumediene, Alger. 64p.
23. **Blum O., Bytnerowicz A., Manning W., Popovicheva L., 1997.** Ambient tropospheric ozone in the Ukrainian Carpathian Mountains and Kiev region : detection with passive samplers and bioindicator plants. Environmental Pollution 98 : 299-304.
24. **Bradshaw R., 2004.** Dothistroma (red-band) needle blight of pines and the dothistromin toxin: a review. Forest Pathology 34 : 163-185.
25. **Brault V., Uzest M., Monsion B., Jacquot E. et Blanc S., 2010.** Aphids as transport devices for plant viruses. C. R. Biologies, 333 : 524 – 538.

26. **Brown A., Webber J., 2008.** Red band needle blight of conifers in Britain : Forestry Commission. 1- 8.
27. **Brown A., Rose D. et Webber J., 2003.** Red band needle blight of Pine. Forestry Commission. 1- 6.
28. **Bull, K., 1996.** Workshop summary. In: Karenlampi, L., Skarby, L. (Eds.), Critical Levels for Ozone in Europe: Testing and Finalizing the Concepts (UN-ECE Workshop Report). University of Kuopio, Department of Ecology and Environmental Science, Finland, pp. 7–8.
29. **Bytnerowicz A., Arbaugh M., Schilling S., Frączek W., Alexander D., 2008.** Ozone distribution and phytotoxic potential in mixed conifer forests of the San Bernardino Mountains, southern California. *Environmental Pollution* 155 : 398-408.
30. **Bytnerowicz A., Godzik B., Grodzińska K., Frączek W., Musselman R., Manning W., Badea O., Popescu F., Fleischer P., 2004.** Ambient ozone in forests of the Central and Eastern European mountains. *Environmental Pollution* 130 : 5-16.
31. **Bytnerowicz A., Godzik B., Frączek W., Grodzińska K., Krywult M., Badea O., Barančok P., Blum O., Černý M., Godzik S., 2002.** Distribution of ozone and other air pollutants in forests of the Carpathian Mountains in central Europe. *Environmental Pollution* 116 : 3-25.
32. **Chalabi B., 1980.** Etude écologique, dendrologique et dendrométrique du Pin noir Algérien (*Pinus nigra* arn. Ssp *clusiana* Maire et Peyer) à Tikjda : Djurdjura. Mém. Ing. Agr. INA. El Harrach Algérie. 87 p.
33. **Chandelier S.S.A., 2009.** La maladie des bandes rouges, une menace pour les pineraies wallonnes. forêt wallonne n° 99. 23 - 27.
34. **Cronquist, A. 1988.** The Evolution and Classification of Flowering Plants. (https://fr.wikipedia.org/wiki/Classification_de_Cronquist ou <http://www.quelleestcetteplante.fr/especes.php?genre=Pinus&variete=nigra>).
35. **Dagnelie P., 1975.** Théorie et méthodes statistiques. Vol. 2. les presses agronomiques de gembloux, A.S.B.L. Gembloux (Belgique). 463 p.
36. **Dajoz R., 1972.** Précis d'écologie. Ed. Dunod. Paris, 434 p.
37. **Dalstein L., Teton S., Cotiereau C., Vas N., 2001.** Niveaux d'ozone et endommagement foliaire sur quelques essences méditerranéennes. 2268-3798.
38. **Dalstein L., Vollenweider P., Vas N., Günthardt-Goerg M.S., 2002.** L'ozone et les coniferes du Sud-Est de la France. Forêt méditerranéenne 23 : 105-116.

- 39. Dalstein L., Vas N., Ulrich E., Cecchini S., 2004.** Dégradation de la forêt française en relation avec l'ozone: Première approche. *Environnement et technique* : 42-44.
- 40. Dalstein L., Vas N., 2005a.** Ozone concentrations and ozone-induced symptoms on coastal and alpine mediterranean pines in southern France. *Water Air and Soil Pollution* 160 : 181-195.
- 41. Dalstein L., Vas N., Tagliaferro F., Ferrara A-M., Spaziani F., 2005b.** Effets de l'ozone sur la forêt et la végétation dans les Alpes franco-italiennes. *Forêt méditerranéenne* 26 : 149-156.
- 42. Dalstein L., Ulrich E., Vas N., Cecchini S., 2008.** Effets de l'ozone sur quelques peuplements forestiers du réseau RENECOFOR (Office National des Forêts). *Forêt méditerranéenne* 29 : 329-336.
- 43. De Bauer MdL., Hernández-Tejeda T., 2007.** A review of ozone-induced effects on the forests of central Mexico. *Environmental Pollution* 147 : 446-453.
- 44. 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.
- 45. Delevoy G., 1949.** "A propos de la systématique de *Pinus nigra* Arnold." *Travaux Station de Recherches, Série B* 12. 48 p.
- 46. Delmas R., Megie G. et Peuch V.-H., 2005.** *Physique et chimie de l'atmosphère*. Ed. Belin. 639 p.
- 47. Derridj A., 1990.** Etude des populations de *Cedrus atlantica* M. en Algérie. Thèse Doc. U.P.S. Toulouse. 288 p.
- 48. Díaz-de-Quijano M., Penuelas J., Ribas A., 2009.** Increasing interannual and altitudinal ozone mixing ratios in the Catalan Pyrenees. *Atmospheric Environment* 43 : 6049-6057.
- 49. Douglas S.M., 2010.** Canavirgella Needlecast of White Pine. New Haven, Connecticut : Connecticut Agricultural Experiment Station. Available from : www.ct.gov/caes/lib/caes/documents/publications/fact_sheets/plant_pathology_andecology/canavirgella_needlecast_of_white_pine. 1- 6.
- 50. Eldridge R., Dowden H., Lind P., 1980.** Susceptibility of five provenances of ponderosa pine to *Dothistroma* needle blight. *Plant Disease* 64 : 400-401.
- 51. Emberger L., 1952.** Le quotient pluviothermique. *Compt. Rend. Acad. Sci. Paris*. 234, PP : 2508 – 2511.
- 52. Emden H.F.V., Eastop V.F., Hughes R.D. et Way M.J., 1969.** The Ecology of *Myzus persicae*. *Ann. Rev. Entomol.*, 14 (1) : 197 - 270.

- 53. EPPO., 2015.** European and Mediterranean Plant Protection Organization. *Lecanosticta acicola* (formerly *Mycosphaerella dearnessii*), *Dothistroma septosporum* (formerly *Mycosphaerella pini*) and *Dothistroma pini*. PM 7/46 (3). 1- 29.
- 54. FAO., 2013.** Food and Agriculture Organisation. Forestry Département (2013) State of Mediterranean Forests in 2013. ISBN 978-92-5-107984-3, 173 p.
- 55. Faurie C., Ferace C. et Medori P., 1978.** Ecologie. Ed. J.B. Bailliere, Paris, 147 p.
- 56. Ferret J., 1946.** Étude anatomique des aiguilles de *Pinus nigra*. D.E.S. Fac. Sci de Toulouse. 89p.
- 57. Flandrin J., 1952.** Chaîne du Djurdjura, département d'Alger. Service de la carte géologique de l'Algérie. 29 p.
- 58. Foldi I., 1988.** Les Cochenilles: des insectes mal connus mais passionnants. *Biologie des espèces. Insectes. n°70-3. 4-7.*
- 59. Foldi I., 2003.** Les cochenilles. 1 ere partie. Insectes. n ° 1 2 9 - (2). 3-7.
- 60. Fontan J., 2003.** Les pollutions de l'air : les connaître pour les combattre. Ed. Vuibert 198 p.
- 61. Fuhrer J., 1996.** The critical level for effects of ozone on crops, and the transfer to mapping. In: Karenlampi, L., Ska' rby, L. (Eds.), Critical Levels for Ozone in Europe : Testing and Finalizing the Concepts (UN-ECE Workshop Report). University of Kuopio, Department of Ecology and Environmental Science, Finland, pp. 27–43.
- 62. Gadgil P., 1970.** Survival of *Dothistroma pini* on fallen needles of *Pinus radiata*. New Zealand Journal of Botany 8 : 303-309.
- 63. Gausson H., leroy J.F. et Ozenda P., 1982.** Précis de botanique. Tome II. Les végétaux supérieurs. Edit. Masson, Paris. 355 p.
- 64. Gerber S., 1989.** Chimiotaxinomie et hybridation inter- raciale chez les Pins noirs. Mém. Ing. Agr. I.N.A. Paris-Grignon. 63 p.
- 65. Germinara G.S., De Cristofaro A., Speranza S. et Papparatti B., 2009.** Electroantennographic responses of *Dryocosmus kuriphilus* to *Castanea sativa* leaf volatiles. Acta Horticulturae. ISHS 844, 387–393.
- 66. Guingnard J.-L., 1983.** Abrégé de Botanique. Edit. Masson, Paris. 260 P.
- 67. Günthardt-Goerg M.S., McQuattie C., Maurer S., Frey B., 2000.** Visible and microscopic injury in leaves of five deciduous tree species related to current critical ozone levels. Environmental Pollution 109 : 489-500.

- 68. Günthardt-Goerg M.S., Vollenweider P., 2006.** Linking stress with macroscopic and microscopic leaf response in trees: new diagnostic perspectives. *Environmental Pollution* 147 : 467-488.
- 69. Hanso M., Drenkhan R., 2008.** First observations of *Mycosphaerella pini* in Estonia. *Plant Pathology* 57 : 1177-1177.
- 70. 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 *mauretunica* Maire et Peyser) 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. 137 p.
- 71. Inclán R., Elvira S., Gil J., Velissariou D., Gimeno B., Davison A., 1993.** Interacción entre la contaminación atmosférica y los factores ambientales en la fisiología del pino carrasco. Resultados preliminares. Congresos-CARGA FINAL.
- 72. Inclán R., Gimeno B.S., Penuelas J., Gerant D., Quejido A., 2011.** Carbon Isotope Composition, Macronutrient Concentrations, and Carboxylating Enzymes in Relation to the Growth of *Pinus halepensis* Mill. When Subject to Ozone Stress. *Water Air and Soil Pollution* 214 : 587-598.
- 73. 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.
- 74. Ivković M., Baltunis B., Gapare W., Wharton T., Elms S., Sasse J., Dutkowski G., Powell M., McRae T., Wu H., 2009.** Breeding radiata pine to maximise profits by incorporating risk traits. Forest & Wood Products Australia. Project Number : PNC069-0708. 78 p.
- 75. Kanturski M., Karcz J. et Wiczorek K., 2015.** Morphology of the European species of the aphid genus *Eulachnus* (Hemiptera : Aphididae : Lachninae) – A SEM comparative and integrative study. *Micron* 76, 23–36.
- 76. Kavallieratos N. G., Tomanović Ž., Sarlis G. P., Vayias B. J., Žikić V. et Emmanouel N. E., 2007.** Aphids (Hemiptera : Aphidoidea) on cultivated and self-sown plants in Greece. *Biologia*, 62, 335-344.
- 77. Khelil M.A., 1995.** *Abrégé d'entomologie*. Ed. Offi. publ. univ. (O.P.U), Alger, 103 p.
- 78. Kirisits T., Cech T., 2006.** Entwickelt sich die Dothistroma-Nadelbräune zueinem Forstschutzproblem in Österreich. *Forstschutz Aktuell* 36 : 20-26.

- 79. Koukol O., Pusz W., Minter D., 2015.** A new species of Lophodermium on needles of mountain pine (*Pinus mugo*) from the Giant Mountains in Poland. *Mycological Progress* 14 : 23 p.
- 80. Kreiter P., 2011.** AFPP–Les cochenilles : ravageur principal ou secondaire montpellier– 25 octobre 2011. 10 p.
- 81. Krouchi F., 2010.** Etude de la diversité de l'organisation reproductive et de la structure génétique du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en peuplement naturel (Tala-guilef, Djurdjura nord-ouest, Algérie. Thèse de Doctorat d'État, UMMTO. Algérie : 154.
- 82. Laamari M., Jouselin E. et Cœur d'acier A., 2009.** Assessment of aphid diversity (Hemiptera: Aphididae) in Algeria: a fourteen-year investigation. *Entomologie faunistique-Faunistic entomology*. 73- 87.
- 83. Laamari M., Coeur d'Acier A. et Jouselin E., 2015.** Première observation du puceron brun *Pterochloroides persicae* (Cholodkovsky) (Homoptera, Aphididae, Lachninae) sur pêcher en Algérie. *EPPO Bulletin* 45 : 106–107 .
- 84. Lapie G., 1909.** Étude phytogéographique de la Kabylie du Djurdjura. C.R. des séances de l'Académie des Sciences, 148 p. 1536 - 1538. Paris. Note du 7 juin 1909.
- 85. Lee Chen Hui., 1968.** Response of Different European Black Pine Provenances to Nitrogen Fertilization. 122-123.
- 86. Malinaski Mary kay et Clement David L., 2003.** IMP série. Pine. University of Maryland Extension, Specialists. Home and Garden Information Center. website at www.extension.umd.edu. HG 54. 1-9.
- 87. Manachini B., Casati P., Aliverti I. et Cinanni L., 2004.** Transmission of PPV-M to *Prunus persica* by *Brachycaudus schwartzi* and *Phorodon humuli* (Hem., Aphididae). *JEN* 128, 9 – 10.
- 88. Martin N., 2008.** La pollution par l'ozone et la climatologie dans un espace méditerranéen: les Alpes-Maritimes. thèse de Doctorat. Université Nice Sophia Antipolis. France. 291 p.
- 89. Masclet P., 2005.** Environnement : Pollution atmosphérique. Ed. Ellipses. 213 p.
- 90. Matyssek R., Gunthardt-Goerg, M., Saurer, M., Keller, T., 1995.** Nighttime exposure to ozone reduces whole-plant production in *Betula pendula*. *Tree Physiol.* 15, 159–165.
- 91. Meddour R., 2010.** Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie. Exemple des groupements forestiers et préforestiers de la Kabylie Djurdjuréenne. Thèse de Doctorat d'État. Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou. 397 p.

- 92. Messaoudène M., Loukkas A., Janin G., Tafer M., Dilem A. et Gonzalez J., 2004.** Propriétés physiques du bois d'éclaircie des cèdres (*Cedrus atlantica*), contenant du bois de compression, provenant de l'Atlas du Djurdjura (Algérie). Ann. For. Sci., 61, 589-595.
- 93. Mifsud D. et Pérez Hidalgo N., 2011.** The grapevine aphid *Aphis illinoisensis*: a good example of recent invasion and rapid colonization by aphids. EPPO Bulletin 41, 183–184
- 94. Miller P.R. et Evans L., 1974.** Histopathology of oxidant injury and winter fleck injury on needles of western pines. Phytopathology. 64 : 801 - 806.
- 95. Mohammad I., 2011.** Plasticité de la réponse à l'exposition au froid chez *Aphidius ervi* dans le cadre des processus de stockage utilisés en lutte biologique. Thèse de Doctorat en Biologie. Université Rennes 1, France. 189 p.
- 96. Mullett M.S., 2014.** The Epidemiology of *Dothistroma* Needle Blight in Britain. thèse de Doctorat. Imperial College London. 296 p.
- 97. Muir P.S. et Armentano T.V., 1988.** Evaluating oxidant injury to foliage of *Pinus ponderosa*: a comparison of methods. Canadian journal of forest research 18 : 498 - 505.
- 98. Murray J., Batko S., 1962.** *Dothistroma pini* Hulbary: A new disease on pine in Britain. Forestry: An International Journal of Forest Research 34 : 57 - 65.
- 99. Naessens El., 2016.** Rôle des cytokines MIF dans l'interaction entre le puceron et sa plante hôte. Université Nice Sophia-Antipolis, Côte d'Azur. 133 p.
- 100. Neiryneck J., Van Ranst E., Roskams P., Lust N., 2002.** Impact of decreasing throughfall deposition on soil solution chemistry at coniferous monitoring sites in northern Belgium. Forest Ecology and Management 160 : 127 - 142.
- 101. Nieto Nafria J.M., 1972.** Recopilación de la Citas de Pulgones (Aphidinea) de España (Hem. Homoptera). Graellsia, XXVIII, 45 – 102.
- 102. OFEFP., 1996.** Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage – Information sur le smog estival, Contre l'ozone, Une action durable. 6e édition. Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement. 30 p.
- 103. Padgett P.E., Parry S.D., Bytnerowicz A., Heath R.L., 2009.** Image analysis of epicuticular damage to foliage caused by dry deposition of the air pollutant nitric acid. Journal of environmental monitoring 11 : 63 - 74.
- 104. Paoletti E., Manning W.J., 2007.** Toward a biologically significant and usable standard for ozone that will also protect plants. Environmental Pollution 150 : 85 - 95.
- 105. P.N.D., 2002.** Rapport du Parc National de Djurdjura "Données Générales sur le Parc National de DJurdjura". 68 p.

- 106. Parc National du Djurdjura, 2013.** "Evaluation des palns de gestion I, II, III, Elaboration du Plan de Gestion IV." Direction Générale des Forêts : 115 p.
- 107. Pesson P., 1980.** La pollution des eaux continentales. Ed. Gauthier-Villars, Paris, 345 p.
- 108. Peters J., Gonzalez-Rodriguez A., Jiménez M., Morales D., Wieser G., 2008.** Influence of canopy position, needle age and season on the foliar gas exchange of *Pinus canariensis*. European journal of forest research 127 : 293 - 299.
- 109. Pihan G., Majzoubi D., Haudenschild C., Trier J.S. et Szabo S., 1986.** Early microcirculatory stasis in acute gastric mucosal injury in the rat and prevention by 16, 16-dimethyl prostaglandin E2 or sodium thiosulfate. Gastroenterology 91 : 1415 - 1426.
- 110. Pell E.J., Schlagnhauser C.D., Arteca R.N., 1997.** Ozone-induced oxidative stress: mechanisms of action and reaction. Physiologia Plantarum 100 : 264 - 273.
- 111. Pellinen R., Palva T., Kangasja Èrvi J., 1999.** Subcellular localization of ozone-induced hydrogen peroxide production in birch (*Betula pendula*) leaf cells. The Plant Journal 20 : 349 - 356.
- 112. Qiao G. X., Zhang G. X. et Cao Y., 2002.** A Study on *Eulachnus del Guercio* from China, with description of one new species (Homoptera : Aphidoidea, Lachnidae). Acta Entomologica Sinica 45, 102 – 108.
- 113. Quezel P. et Santa S., 1962.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. CNRS éd., Paris, vol. 1, 565 p.
- 114. Quezel P., 1976.** Les forêts du pourtour méditerranéen. In: Forêt et maquis méditerranéens : écologie, conservation et aménagement. Note Technique du MAB2, UNESCO, 9 - 33.
- 115. Quezel P. et Bonin G., 1980.** Les forêts feuillus du pourtour méditerranéen. Constitution, écologie, situation actuelle et perspectives. Rev. For. Fr., 32 (3): 253 - 268.
- 116. Quezel P. et Medail F., 2003.** Ecologie et Biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Ed. EI SEVIER. Nancy. 408 p.
- 117. Ramade F., 1984.** Elément d'écologie, écologie fondamentale. Ed. McGraw-Hill, Paris, 397 p.
- 118. Ramade F., 2003.** Éléments d'écologie fondamentale, Ed. Dunod, Paris, 689 p.
- 119. Ramade F., 2005.** Éléments d'écologie. Ecologie appliquée. 6e édit. Ed. DUNOD, Paris. 864 p.
- 120. Santolamazza-Carbone S., Pestaña M., Vega J.A., 2011.** Post-fire attractiveness of maritime pines (*Pinus pinaster* Ait.) to xylophagous insects. Journal of pest science 84 : 343 - 353.

- 121. Sabri A., Vandermoten S., Leroy P.D., Haubruge E., Hance T., Thonart P., De Pauw E., Francis F., 2013.** Proteomic investigation of aphid honeydew reveals an unexpected diversity of proteins. *PloS one* 8 : e74656.
- 122. Sanz MJ, Calatayud V, Calvo E. 2000.** Spatial pattern of ozone injury in Aleppo pine related to air pollution dynamics in a coastal-mountain region of eastern Spain. *Environmental Pollution* 108 : 239 - 247.
- 123. Sanz M., Sanchez G., Calatayud V., Minaya M., Cerverò J., 2001.** La contaminación atmosférica en los bosques : guía para la identificación de danos visibles causados por ozono. Organismo Autonomo de Parques Nacionales, Madrid : 163 p.
- 124. Seigie A., 1985.** The circummediterranean forest and its problems. Edi. Maison la neuve et Larose. Paris (Ve). 496 p.
- 125. Seltzer P., 1946.** Le climat de l'Algérie. Trav. Inst. Météorol. Phys. Globe, Alger, 1 vol. 219.+ cart h.t.
- 126. Sicard P., De Marco A., Dalstein-Richier L., Tagliaferro F., Renou C., Paoletti E., 2016.** An epidemiological assessment of stomatal ozone flux-based critical levels for visible ozone injury in Southern European forests. *Science of the Total Environment* 541 : 729 - 741.
- 127. Sicard P., Vas N., Calatayud V., Garcia-Breijo F.j., Reig-Armiñana J., Sanz M.j., Dalstein-Richier L., 2010.** Dommages forestiers et pollution à l'ozone dans les réserves naturelles: le cas de l'arolle dans le sud-est de la France. *Forêt méditerranéenne* 31 : 273 -286.
- 128. Skärby L., Karlsson P.E., 1996.** Critical levels for ozone to protect forest trees—best available knowledge from the Nordic countries and the rest of Europe. *In* : Karenlampi, L., Skärby, L. (Eds.), *Critical Levels for Ozone in Europe: Testing and Finalizing the Concepts* (UN-ECE Workshop Report). University of Kuopio, Department of Ecology and Environmental Science, Finland, pp. 72 – 85.
- 129. Soda C., Bussotti F., Grossoni P., Barnes J., Mori B., Tani C., 2000.** Impacts of urban levels of ozone on *Pinus halepensis* foliage. *Environ Exp Bot* 44 : 69 - 82.
- 130. Speranza S. et Sannino L., 2012.** The current status of *Tuta absoluta* in Italy. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* 42, 328 – 332.
- 131. Speranza S., Stacchiotti M. et Paparatti B., 2009.** Endemic parasitoids of *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera, Cynipidae) in Central Italy. *Acta Horticulturae ISHS* 844, 421 – 423.
- 132. Steffen K., Grousset F., Schrader G., Petter F. et Suffert M., 2015.** Identification of pests and pathogens recorded in Europe with relation to fruit imports. *EPPO Bulletin* 45, 223 – 239.

- 133. Stewart P., 1969.** Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, Alger 59 (1 – 4) : 23 – 37.
- 134. Stolte K., 1996.** Symptomology of ozone injury to pine foliage. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-155 .12 - 18.
- 135. Submaual-ICP :** Le manuel européen du PIC-Forêts (International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution on Forests).
- 136. Takemoto B.K., Bytnerowicz A., Fenn M.E., 2001.** Current and future effects of ozone and atmospheric nitrogen deposition on California's mixed conifer forests. Forest Ecology and Management 144 : 159 - 173.
- 137. Theobald F.V., 1915.** African Aphididae - Part II. Bulletin of Entomological Research 6, 103 – 153.
- 138. Toros S., Yasar B., Özgökçe M.S. et Kasap I., 1996.** Studies on determination of Aphidoidea species in Van province. In: Proceedings of IV Turkish National Entomological Congress (Ankara, Turkey), 549 – 556.
- 139. Ulrich E., Dalstein L., Cünthardt-Goerg M.S., Vollenweider P., Cecchini S., Vas N., Sjöberg K., Skarman T. et Karlsson G.P., 2006.** RENECOFOR - Effets de l'ozone sur la végétation, concentration d'ozone (2000-2002) et symptômes d'ozone sur la végétation forestière (2001-2003). Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique, Département Recherche ISBN 2-84207-300-2, 126 p.
- 140. Velissariou D., Davison A., Barnes J., Pffirmann T., Maclean D., Holevas C., 1992.** Effects of air pollution on *Pinus halepensis* (Mill.): pollution levels in Attica, Greece. Atmospheric Environment. Part A. General Topics 26 : 373 - 380.
- 141. Verma V., Ravindran P., Kumar P.P., 2016.** Plant hormone-mediated regulation of stress responses. BMC plant biology 16 : 86.
- 142. Vollenweider P., Fenn M.E., Menard T., Günthardt-Goerg M.S., Bytnerowicz A., 2013.** Structural injury underlying mottling in ponderosa pine needles exposed to ambient ozone concentrations in the San Bernardino Mountains near Los Angeles, California. Trees 27 : 895 - 911.
- 143. Vollenweider P. et Günthardt-Goerg M.S., 2005.** Diagnosis of abiotic and biotic stress factors using the visible symptoms in foliage. *Environmental Pollution*, 137, 455 - 465.
- 144. Vollenweider P., Menard T., Günthardt-Goerg M.S., 2011.** Compartmentation of metals in foliage of *Populus tremula* grown on soils with mixed contamination. I. From the tree crown to leaf cell level. *Environmental Pollution* 159 : 324 - 336.

- 145. Wieser G., 1999.** Evaluation and impact of ozone on conifers in the Alps - a case study on spruce, pine and larch in the Austrian Alps. *Phyton (Horn, Austria)* 39, 241 – 252.
- 146. Wieser G., Havranek W.M., 1993.** Ozone uptake in the sun and shade crown of spruce: quantifying the physiological effects of ozone exposure. *Trees* 7, 227 – 232.
- 147. Wieser G., Havranek W.M., 1995.** Environmental control of ozone uptake in *Larix decidua* Mill.: a comparison between different altitudes. *Tree Physiol.* 15, 253 – 258.
- 148. Wieser G., Häsler R., Götz B., Koch W., Havranek W., 2000.** Role of climate, crown position, tree age and altitude in calculated ozone flux into needles of *Picea abies* and *Pinus cembra*: a synthesis. *Environmental Pollution* 109 : 415 - 422.



Annexes

Annexe 1

Tableau 1 : Variation mensuelles des températures moyennes, minimas et des maximas des stations d'étude Tigounatine et Tikjda centre année 1996-2016

	Janv	Fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	annuelle
Min	-0,4	-0,7	1,3	3,5	7,2	13,4	15,1	15,2	12,3	8,6	3,6	0,7	6,6
Max	7,9	8,4	12,1	15,3	20,2	26,4	30,0	29,7	24,4	20,0	12,9	8,5	18,5
Moy	3,4	3,5	6,4	9,1	13,3	18,4	22,2	22,3	18,0	13,9	7,9	4,3	11,9

Tableau 2 : Variation mensuelles des températures moyennes, minimas et des maximas de la station d'étude Tala-Rana année 1996-2016.

Année	Jan	Fev	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	annuelle
Min	0,5	0,2	2,2	4,5	8,1	12,1	16,1	16,1	12,9	9,0	4,2	1,4	7,3
Max	9,6	10,0	13,7	17,0	21,8	28,1	31,6	31,3	26,0	21,6	14,6	10,6	19,7
Moy	4,7	4,8	7,7	10,4	14,6	19,0	23,5	23,6	19,3	15,2	9,2	5,6	13,2

Annexe 2

Tableau 3 : Moyenne mensuelle de la pluviométrie durant 21 ans (période 1996 à 2016) Stations: Tigounatine et Tikjda Centre

	Jan	Fev	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Annuel
Moyen (mm)	169,3	146,2	121,2	125,5	103,0	34,8	7,3	25,8	77,4	93,1	148,1	165,9	1217,7

Tableau 4 : Moyenne mensuelle de la pluviométrie durant 21 ans (période 1996 à 2016) Stations: Tala-Rana

	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Annuel
pluviométrie Moyen (mm)	148,3	128,0	106,5	110,4	90,1	30,4	6,4	22,7	67,8	81,5	129,9	145,6	1067,5

First report of *Eulachnus tuberculostemmatus* (Theobald, 1915) on *Pinus nigra* subsp. *mauretanica* stands in Algeria

H. Hedjam¹, F. Marniche², S.-E. Doumandji³, M. Contarini⁴, B. Papparatti⁴, S. Speranza⁴, F. Krouchi¹ and A. Derridj¹

¹Faculty of Biological Sciences and Agronomic Sciences, Mouloud Mammeri University, Tizi-Ouzou, 15000 (Algeria)

²Superior National Veterinary School of Algiers, Issad Abbes Street, Oued Smar (Algeria)

³Zoology Department, National Institute of Agronomic, Avenue Hassan Badi, El-Harrache, Algiers (ENASA) (Algeria)

⁴Department of Agriculture and Forestry Sciences (DAFNE), Tuscia University, Via S. Camillo de Lellis snc, 01100, Viterbo (Italy); e-mail: speranza@unitus.it

Pinus nigra (black pine) is a Mediterranean taxonomic complex (including different subspecies), with a discontinuous distribution. The southernmost part of its range is in North Africa, in Morocco and Algeria, where it is present as *P. nigra* subsp. *mauretanica*. Currently, an extremely limited number of trees of this subspecies still persist within its natural range, giving this taxon an outstanding ecological importance. These residual stands are threatened by many biotic and abiotic factors, putting at risk the survival of this subspecies in its natural habitat. This paper reports for the first time the presence of *Eulachnus tuberculostemmatus* (Hemiptera: Aphididae: Lachninae) in Algeria, and its infestation on *P. nigra* subsp. *mauretanica*. This insect was detected in three sites of the Djurdjura National Park in May 2012 and identified in February 2016. The aphid seems to be responsible for needle discoloration and premature senescence, symptoms observed since spring 2008 on the infested pines. These clusters of *P. nigra* subsp. *mauretanica* trees are protected by park regulations, and given their conservation status further investigations into this pest species, and other biotic and abiotic factors that may threaten this important tree, are required.

Introduction

Pinus nigra Arn (black pine) is a taxonomic complex including various pines which together occupy a vast area in the Mediterranean region (Fig. 1). *Pinus nigra* populations have a discontinuous distribution from the Pyrenees in the west to the Crimean Peninsula and Asia Minor in the east and from Austria in the north to Algeria and Morocco in the south. This fragmentation has fostered the emergence of particular forms, often considered separate species (Delevoy, 1949).

Pinus nigra subsp. *mauretanica* (Maire et Peyerimh.) is the southernmost subspecies of black pine, and is endemic along the Western Moroccan Rif and the Algerian Tell Atlas (Liber *et al.*, 2003; Quézel & Médail, 2003). Currently, an extremely limited number of plants still persist within the natural range (Médail & Diadema, 2009), giving this taxon an outstanding ecological importance (Arbez & Millier, 1971; Seigue, 1985).

This subspecies was first reported in Algeria in 1926 (Maire, 1927), and since 23 November 1993 it has been protected by Executive Decree No. 93-285, which established a list of non-cultivated plant species to be preserved. In Algeria, the most important clusters of *P. nigra* subsp. *mauretanica* are located in the Djurdjura

National Park which was established by Presidential Decree No. 83-460 of 23 July 1983, and encompasses an area of 18 550 hectares. The park is located in the north part of Algeria, in the Kabylie region, 140 km south-east of Algiers and 50 km from the Mediterranean Sea. On 15 December 1997, the Djurdjura National Park was included in the UNESCO World Biosphere Reserve (UNESCO, 1997). The very small number of remaining *P. nigra* subsp. *mauretanica* trees, including trees in 2 sites which constitute residual clusters, are protected by park regulations. However, these stands of pine are still exposed to serious risk so investigations aimed at their preservation are continuing (Hedjam, 2010). In fact, this subspecies is threatened by many factors, including fires (Meddour-Sahar, 2014), grazing and tourism, which have negative effects on plant regeneration. Needle discoloration has been observed since 2008, followed by premature senescence, and it was noted that this may be due to biotic and abiotic factors (Hedjam, 2010). All these factors are causing problems for regeneration and are putting at risk the survival of this subspecies in its natural habitat (Asmani, 1993; Adjaoud *et al.*, 2011).

In May 2012, when investigating during field surveys the possible causes for needle discoloration and premature senescence on this important host, the authors detected an



Fig. 1 Geographical range of black pine (*Pinus nigra*) in the Mediterranean region. The black circle represents the Djurdjura National Park (Algeria) in which the most important clusters of *Pinus nigra* subsp. *mauretanica* are located (from Quezel & Medail, 2003, partially modified).

aphid which had not previously been reported on this subspecies or in Algeria.

Materials and methods

Study sites

The study was conducted in three stands of *P. nigra* subsp. *mauretanica*, namely Tigounatine, Tikjda-center and Tala-Rana, all located on the southern slope of the Djurdjura mountain range in Djurdjura National Park. At Tigounatine (36°27'N, 4°06'E) and Tikjda-center (36°26'N, 4°07'E), natural populations of the subspecies are found in mixed stands with *Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti ex Carrière, situated between 1450 and 1610 m above sea level (a.s.l.) with a south-western to northern aspect for Tigounatine and a southern aspect for Tikjda-center. At Tala-Rana (36°25'N, 4°13'E) the black pine has been planted in a degraded holm oak domain at 1280 m. a.s.l. with a southern aspect. Stands are composed of fewer than 500 plants (saplings to mature trees) at Tigounatine (Deridj, 2011) and 10 and 30 mature trees at Tikjda-center and Tala-Rana, respectively.

Sampling methods

Surveys were conducted in 2012 over 6 months, from May to October in the middle of each month (the 14th or 15th). Aphids were collected from pine needles in each station, shaking them out onto an entomological umbrella to harvest

the insects clinging to the needles and branches. Samples were taken, from each site once a month, on ten trees with needle discoloration and by beating four branches per tree selected on the quadrants of the canopy, with up to 10 shakes per branch. Aphids were preserved in 75% ethanol for identification.

Results

Twenty-two aphids that were collected were identified as *Eulachnus tuberculostemmatus* (Theobald) (Hemiptera: Aphididae: Lachninae) by A. Binazzi (CREA, Rome) and deposited in the insects collection of Binazzi, Rome.

The presence of the insect has been recorded in all three stands of Djurdjura National Park. All specimens of *E. tuberculostemmatus* collected were apterous viviparous females. Amphigonic females and males were not observed during the surveys. Aphids were detected in all the three *P. nigra* sites during the entire period surveyed; however, a low level of damage directly caused by *E. tuberculostemmatus* was observed. During the surveys, other species of aphids were detected, which are still under investigation, infesting the same trees.

Bioecology of *E. tuberculostemmatus*

There is not much information available about the biology of this aphid: Theobald (1915), described this aphid for the first time, and highlighted its elusive behaviour, noting its ability to walk quickly.

Although *E. tuberculostemmatus* has a Mediterranean distribution, its presence has never previously been reported in Algeria. This Eulachnidae undergoes its life cycle mainly on needles of *Pinus* species, characteristic of the Mediterranean area: *Pinus halepensis* Miller, *Pinus pinea* L., *Pinus brutia* Ten. and *Pinus pinaster* Ait. It was reported for the first time from Egypt (Theobald, 1915) on *Pinus* species. Subsequently its presence has been observed in the Middle East (Pintera, 1968; Tremblay & Micieli de Biase, 1970). In the 1970s the aphid was reported from the Canary Islands (Nieto Nafria, 1972) and mainland Spain (Nieto Nafria, 1975), then Italy on *P. halepensis*, *P. pinaster* and *P. pinea* (Binazzi, 1983) and on *Pinus* species in Turkey (Toros *et al.*, 1996). Since the 2000s, this aphid has also been introduced to China (Qiao *et al.*, 2002), in Yunnan Province, and found on *Pinus yunnensis*, *P. halepensis*, *Pinus canariensis*, *Pinus eldarica*, *P. pinaster*, *P. pinea* and *P. nigra*, and it was also detected in Greece (Kavallieratos *et al.*, 2007), in association with *P. pinea*, in Malta on *P. halepensis* (Mifsud *et al.*, 2011), and recently in Tajikistan where its presence has been reported for the first time in 2014 on *P. pinea* (Kanturski *et al.*, 2015).

Conclusion

The authors report for the first time both the presence of *E. tuberculostemmatus* in Algeria and its infestation on *P. nigra* subsp. *mauretanica*. The infestations are probably linked to discoloration of the needles and premature senescence of leaves. In fact, damage caused by phloem-sucking aphids is a co-factor of acceleration of needle senescence, as already been observed by Vollenweider & Günthardt-Goerg (2005). As already observed in Italy on needles of *P. halepensis*, damage due to *E. tuberculostemmatus* is considerably higher when infestations occur in conjunction with those of *Cinara palaestinensis* (Barbagallo & Stroyan, 1980). Further studies and observations will aim to assess the actual incidence of this phytophagous pest and the possible association with other phloem suckers, which as mentioned previously may amplify the harmfulness of the aphid. Although it has not been possible to determine the *E. tuberculostemmatus* population dynamics in the field, the presence of this phytophagous species in a new environment highlights the risk to which the residual stands of *P. nigra* subsp. *mauretanica* are exposed. Improvement of our knowledge of newly introduced invasive pests and awareness of population increases of pests normally present in an area are the best strategies to avoid damage not only in agricultural ecosystems (Germinara *et al.*, 2009; Speranza *et al.*, 2009, 2014; Speranza & San-nino, 2012) but also in forest environments of ecological importance, which is the case for Djurdjura National Park.

Acknowledgements

The authors are very grateful to A. Binazzi for the aphid identification, to B. Schirone and to the personnel of

‘Valutazione e Conservazione della Biodiversità Forestale’ laboratory (Tuscia University) for their support of this work, the Director and staff of the Djurdjura National Park for their help and to G. Murru for his kind cooperation.

Premier signalement d'*Eulachnus tuberculostemmatus* (Theobald, 1915) dans un peuplement forestier de *Pinus nigra* subsp. *mauretanica* en Algérie

Pinus nigra (pin noir) est un complexe méditerranéen, incluant différentes sous-espèces et ayant une répartition discontinue. La partie la plus méridionale de son aire de répartition est l’Afrique du Nord, le Maroc et l’Algérie, où se trouve la sous-espèce *P. nigra* subsp. *mauretanica*. Actuellement, un nombre extrêmement réduit d’arbres de cette sous-espèce persistent toujours dans son aire de répartition naturelle, donnant à ce taxon une importance écologique exceptionnelle. Ces peuplements résiduels sont menacés par de nombreux facteurs biotiques et abiotiques, mettant en péril la survie de cette sous-espèce dans son habitat naturel. Cet article signale pour la première fois la présence d’*Eulachnus tuberculostemmatus* (Hemiptera: Aphididae: Lachninae) en Algérie et son infestation sur *Pinus nigra* subsp. *mauretanica*. Cet insecte a été détecté dans trois sites du Parc National de Djurdjura, en mai 2012 et identifié en février 2016. Ce puceron semble être responsable de la décoloration et de la sénescence des aiguilles, symptômes observés depuis le printemps 2008 sur les pins infestés. Ces groupes de *P. nigra* subsp. *mauretanica* sont protégés par la réglementation afférente aux parcs naturels, étant donné que cette sous-espèce est menacée, des recherches plus poussées sur ce ravageur et sur d’autres facteurs biotiques et abiotiques susceptibles de menacer cet arbre important sont nécessaires.

Первое сообщение об *Eulachnus tuberculostemmatus* (Theobald, 1915) на *Pinus nigra* subsp. *mauretanica* в Алжире

Pinus nigra (черная сосна) представляет собой комплекс средиземноморских видов с прерывистым распространением. Наиболее южная часть ареала находится в Северной Африке, в Марокко и в Алжире, где присутствует *Pinus nigra* subsp. *mauretanica*. В настоящее время очень небольшое число деревьев этого подвида еще сохраняется в пределах его естественного ареала, что придает этому таксону исключительное экологическое значение. Этим остаточным насаждениям угрожает целый ряд биотических и абиотических факторов, ставящих под угрозу выживание подвида в естественной среде обитания. В статье впервые сообщается о присутствии в Алжире тли *Eulachnus tuberculostemmatus* (Hemiptera: Aphididae: Lachninae), и о заражении ею *Pinus nigra* subsp. *mauretanica*. Это насекомое было обнаружено в трех точках

Национального парка Джурджура в мае 2012 г. и идентифицировано в феврале 2016 г. Авторам представляется, что именно эта тля приводит к обесцвечиванию и старению игл, причем эти симптомы с весны 2008 г. наблюдаются на зараженных соснах. Кластеры *P. nigra* subsp. *mauretanicus* защищены регламентом Парка и, принимая во внимание статус их сохранности, необходимы дальнейшие исследования этого вида вредителя, а также других биотических и абиотических факторов, которые могут угрожать этому виду сосны, имеющему большое экологическое значение.

References

- Adjaoud D, Akkouche E, Guettal R, Krouchi F & Derridj A (2011) Low seed efficiency among individuals of the narrow ranged *Pinus nigra* ssp *mauretanicus* in Algeria. In: *Proceedings of 4th International Conference on Mediterranean Pines (INRA)*, pp. 162. Avignon (FR).
- Arbez M & 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. *Annales Des Sciences Forestières* **28**, 23–49.
- Asmani A (1993) *Exploitation de la variabilité chez le Pin noir de la forêt de Tigountine (Djurdjura - Algérie) en comparaison avec quelques provenances de pins noirs méditerranéens*. 156. UMMTO, Tizi-Ouzou, Algérie (DZ).
- Barbagallo S & Stroyan HLG (1980) Osservazioni biologiche, ecologiche e tassonomiche sull'afidofauna della Sicilia. *Frustrula Entomologica* **3**, 1–182.
- Binazzi A (1983) Contributi alla conoscenza degli afidi delle conifere. V. I Lacinidi del pino d'Aleppo con la descrizione di tre sottospecie nuove. (*Homoptera Aphidoidea Lachnidae*). *Redia* **66**, 97–130.
- Delevoy G (1949) A propos de la systématique de *Pinus nigra* Arnold. Travaux Station de Recherches, Série B, 12.
- Derridj A (2011) *La Biodiversité en Algérie face aux impacts anthropiques et aux risques biotiques et abiotiques*. MISTRALS International Workshop, La Valette (MT).
- Germinara GS, De Cristofaro A, Speranza S & Paparatti B (2009) Stacchiotti M & Rotundo G (2009) Electroantennographic responses of *Dryocosmus kuriphilus* to *Castanea sativa* leaf volatiles. *Acta Horticulturae*. ISHS **844**, 387–393.
- 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 mauretanicus Maire et Peyer) et le Pin d'Alep (Pinus halepensis Miller) dans les forêts de: Bainem (Alger), Harouza (Tizi-Ouzou), Tikjda et Tigomatine (Parc National du Djurdjura)*. Mémoire de Magister, USTHB, Alger (DZ), pp. 137.
- Kanturski M, Karcz J & Wieczorek K (2015) Morphology of the European species of the aphid genus *Eulachnus* (Homoptera: Aphididae:Lachninae) – A SEM comparative and integrative study. *Micron* **76**, 23–36.
- Kavallieratos NG, Tomanović Ž, Sarlis GP, Vayias BJ, Žikić V & Emmanouel NE (2007) Aphids (Homoptera: Aphidoidea) on cultivated and self-sown plants in Greece. *Biologia* **62**, 335–344.
- Liber Z, Nikolić T, Mitić B & Šatović Z (2003) RAPD markers and black pine (*Pinus nigra* Arnold) intraspecific taxonomy-Evidence from the study of nine populations. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* **72**, 249–257.
- Maire R (1927) Contributions a l'étude de la flore de l'Afrique du Nord. *Mémoires de la Société des Sciences Naturelles du Maroc* **15**, 1–58.
- Médail F & Diadema K (2009) Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin. *Journal of Biogeography* **36**, 1333–1345.
- Meddour-Sahar O (2014) Les feux de forêts en Algérie: Analyse du risque, étude des causes, évaluation du dispositif de défense et des politiques de gestion. PhD Thesis. Université Mouloud Maameri de Tizi Ouzou.
- Mifsud D, Mangion M, Azzopardi E, Espadaler X, Cuesta-Segura D, Watson GW *et al.* (2011) Aphids associated with shrubs, herbaceous plants and crops in the Maltese Archipelago (Homoptera, Aphidoidea). *Bulletin of the Entomological Society of Malta* **4**, 5–53.
- Nieto Nafria JM (1972) Recopilación de la Citas de Pulgones (Aphidinea) de España (Hem. Homoptera). *Graellsia*, **XXVIII**, 45–102.
- Nieto Nafria JM (1975) Algunas adiciones al catalogo afidológico español. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Biología)* **73**, 57–64.
- Pintera A (1968) Aphids from the Subtribe Schizolachnina (Aphidoidea, Lachnidae) in Middle Europe. *Acta Entomologica Bohemoslovaca* **65**, 100–111.
- Qiao GX, Zhang GX & Cao Y (2002) A Study on *Eulachnus* del Guercio from China, with description of one new species (Homoptera: Aphidoidea, Lachnidae). *Acta Entomologica Sinica* **45**, 102–108.
- Quézel P & Médail F (2003) *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier (Collection Environnement), Paris (FR).
- Seigue A (1985) *La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes*. éditions Maisonneuve et Larose, Paris (FR).
- Speranza S, Colonnelli E, Garonna AP & Laudonia S (2014) First records of *Anthonomus eugenii* Cano y Alcacio in Italy. *Florida Entomologist* **97**, 844–845.
- Speranza S & Sannino L (2012) The current status of *Tuta absoluta* in Italy. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* **42**, 328–332.
- Speranza S, Stacchiotti M & Paparatti B (2009) Endemic parasitoids of *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera, Cynipidae) in Central Italy. *Acta Horticulturae ISHS* **844**, 421–423.
- Theobald FV (1915) African Aphididae - Part II. *Bulletin of Entomological Research* **6**, 103–153.
- Toros S, Yaşar B, Özgökçe MS & Kasap I (1996) Studies on determination of Aphidoidea species in Van province. In: *Proceedings of IV Turkish National Entomological Congress (Ankara, Turkey)*, 549–556.
- Tremblay E & Micieli de Biase L (1970) Notulae aphidologicae, II. Notizie sugli Afidi del *Pinus nigra* Arn. *Bollettino del Laboratorio di Entomologia Agraria Filippo Silvestri, Portici* **28**, 204–223.
- UNESCO (1997). MAB-Biosphere Reserves Directory link: <http://www.unesco.org/mabdb/brdir/directory/biores.asp?mode=all&code=ALG+03> [accessed on 26 January 2017]
- Vollenweider P & Günthardt-Goerg MS (2005) Diagnosis of abiotic and biotic stress factors using the visible symptoms in foliage. *Environmental Pollution* **137**, 455–465.

Riassunto

Il pino nero (*Pinus nigra* Arnold ssp *mauretanica* Maire e Peyser) è una specie sub endemica del Parco Nazionale Djurdjuran. Questa specie ha manifestato sintomi di alterazione del colore dell'ago. L'obiettivo dello studio è di caratterizzare questi sintomi di decolorazione al fine di salvaguardare la specie. I risultati ottenuti indicano la presenza di 9 tipologie di decolorazione principali : 1. decolorazioni sotto forma di chiazze clorotiche (DM) (46,4%), 2. aghi con colorazione marrone solo su un lato (AMC) (5,7%), 3 . decolorazioni dovute ad attacchi di cocciniglia (CD) (57,6%), 4. macchie marroni nei punti di attacco (DIMP) (22,6%), 5. aghi danneggiati nella zona terminale (AE) (20,1%), 6. aghi per metà o completamente decolorati (ago morto) (AM) (7,4%), 7. decolorazioni sotto forma di banda gialla (DBJ) (7,4%), 8. decolorazioni sotto forma di bande marroni (DBM) (7,4%), 9. decolorazioni sotto forma di bande trasparenti (DBT) (6%). Cause possibili di queste differenti decolorazioni possono essere biotiche, come la cocciniglia o gli Afidi (afidi) e tra questi ultimi è stata identificata una nuova specie per l'Algeria: *Eulachnus tuberculostemmatum* (Theobald, 1915), e abiotiche quali l'ozono atmosferico.

Parole chiave: *Pinus nigra* Arnold ssp *mauretanica*, scolorimento, aghi, l'inquinamento, ozono, *Eulachnus tuberculostemmatum*, Parco Nazionale Djurdjuran.

ملخص:

يعدّ الصنوبر الأسود "موريتانكا" من الأنواع الفرعية التي تنتشر بصفة خاصة في الحاضرة الوطنية بجرجرة. نجد من أهم أعراضه تغيير لون أوراقه التي تتخذ شكل الإبرة، وهو ما تنطلق منه دراستنا في وصف الأعراض المرافقة لهذا التغيير بغرض حماية هذا النوع وضمان إنتاجيته، وتكشف النتائج التي توصلنا إليها تسعة أعراض رئيسية كالاتي: 1. التغيير التدريجي في لون الورقة الإبرية من الأصفر إلى البني (حسب عمر الورقة) (46,4%). 2. تحوّل لون الورقة إلى البني في الجهة المقابلة للشمس (5,7%). 3. تغيير لون الأوراق الإبرية بسبب امتصاص يخضورها من طرف الحشرات (57,6%). 4. ظهور بقع بنية على الأوراق الإبرية (22,6%). 5. تآكل الورقة الإبرية من نهايتها (20,1%). 6. التلف الجزئي أو الكلي للورقة يؤدي إلى موتها (7,4%). 7. تغيير لون الورقة في أحد أجزائها على شكل شريط أصفر (7,4%). 8. تغيير لون الورقة في أحد أجزائها على شكل شريط بني يميل إلى الاحمرار (7,4%). 9. تغيير لون الورقة في أحد أجزائها على شكل شريط شفاف (6%). ونجد خلف هذه الأعراض سببين رئيسيين، يرتبط أولهما بالجانب البيولوجي مثل الحشرات (القرمزية/ القشرية) والمن، التي تمكنا من العثور على نوع جديد منها في الجزائر وهو *Eulachnus tuberculostemmatus* (Theobald, 1915). أما السبب الثاني فيتعلق بمعطيات غير بيولوجية كانتشار الأوزون في الغلاف الجوي.

الكلمات المفتاحية:

الصنوبر الأسود نوع فرعي موريتانكا - تغيير اللون - الأوراق الإبرية - التلوث - الأوزون - *Eulachnus tuberculostemmatus* - الحاضرة الوطنية لجرجرة.

Agzul :

Tayda : (tazumbit) (*Pinus nigra* Arnold ssp *mauretanica* Maire d Peyer) d yiwet n cetla i nettaf kan deg Ananar A\$elnaw n Oreora Cetla-agi tettban-d s ugzar I d-igellun s uncal n yiferrawen-is igan am tsegnit. Iswi n tezrawt-agi d asebgan n wayen I d-yettaken ancal i waken ad nesseêbiber \$ef cetla-agi. Agemmuv i \$er newwev ikcef-d \$ef téa (9) n yigzaren igejdanen d: 1. Ancal igan am teqcert chlorotique (DM) (46,4%), 2. iferrawen iqehwiyen si tama-nni iqublen îij (AMC) (5,7%), 3. Ancal I d-yekkan seg unîag n yibeââac \$ur-sen (DC) (57,6%), 4. Ancal yesâan tineqqivin d tiqehwiyin (DPIM) (22,6%), 5. iferrawen i yettujegêen si tama n ufella (AE) (20,1%), 6. Iferrawen I yu\$alen akk d iqehwiyen ne\$ nnefs-nsen kan (iferrayemmuten) (AM) (7,4%), 7. Ancal I d-yezzen d imezzi awra\$ (DBJ) (7,4%), 8. Ancal I d-yezzen d imezzi aqehwi (DBM) (7,4%), 9. Ancal igan d imezzi afrawan (DBT) (6%). Gar timentiliyin I nezmer ad d-naf d tid I d-yeooan ancal-agi d : timentiliyin tudersanin am yibeââac d yikurdan anda I d-nufa cetla tamaynut I tmurt n Lezzayer I yettusemman *Eulachnus tuberculostemmatus* (Theobald, 1915), timentaliyin ur ncudd ara \$er tudersent am wammus s l uzun n tagnawt .

Awalen: *Pinus nigra* Arnold ssp *mauretanica*, ancal, iferrawen igan am tsegnit, ammus (alu\$u), uzun, *Eulachnus tuberculustemmtus*, Ananar A\$elnaw n Oreora.

Résumé

Le pin noir (*Pinus nigra* Arnold ssp. *mauretunica* Maire et Peyer) est une sous espèce endémique au Parc National du Djurdjura. Cette espèce présente des symptômes de décolorations des aiguilles. L'objectif de cette étude est de caractériser ces symptômes de décoloration afin de protéger cette espèce. Les résultats obtenus révèlent la présence de 9 symptômes principaux qui sont: 1. décolorations sous forme de marbrures chlorotiques (DM) (46,4%), 2. aiguilles marron d'un côté (AMC) (5,7%), 3. décolorations jaunâtres (DC) (57,6%), 4. décolorations sous forme de points d'impacts marron (DPIM) (22,6%), 5. aiguille abîmée à son extrémité (AE) (20,1%), 6. aiguille à moitié ou totalement décolorée (aiguille morte) (AM) (7,4%), 7. décolorations sous forme de bande jaune (DBJ) (7,4%), 8. décolorations sous forme de bande marron (DBM) (7,4%), 9. décolorations sous forme de bande transparente (DBT) (6%). Parmi les causes possibles de cette décoloration nous avons des causes biotiques telles que les cochenilles et les Aphides (pucerons) où nous avons pu identifier une nouvelle espèce pour l'Algérie qui est *Eulachnus tuberculostemmatum* (Theobald, 1915), et des causes abiotiques tel que l'ozone atmosphérique.

Mots clés : *Pinus nigra* Arnold ssp. *mauretunica*, décoloration, aiguilles, pollution, ozone, *Eulachnus tuberculostemmatum*, Parc National du Djurdjura.

Summary

The black pine (*Pinus nigra* Arnold subsp. *mauretunica* Maire and Peyer) is an endemic subspecies in the Djurdjura National Park. This species has symptoms of needle discoloration. The objective of this study is to characterize these symptoms of discoloration to protect this species. The results obtained reveal the presence of 9 main symptoms which are: 1. discolourations in the form of chlorotic mottling (DM) (46.4%), 2. brown needles on one side (AMC) (5.7%), 3. yellowish discolouration (DC) (57.6%), 4. discolourations in the form of brown impact points (DPIM) (22.6%), 5. needle damaged at the tip (AE) (20, 1%), 6. half or fully discolored needle (dead needle) (AM) (7.4%), 7. discolouration in the form of yellow band (DBJ) (7.4%), 8. discolourations in the form of brown band (DBM) (7.4%), 9. discolourations as transparent band (DBT) (6%). Among the possible causes of this discoloration we have biotic causes such as scale and aphids where we can identify a new species for Algeria which is *Eulachnus tuberculostemmatum* (Theobald, 1915) and abiotic causes such as atmospheric ozone.

Key world: *Pinus nigra* Arnold subsp. *mauretunica*, discoloration, needles, pollution, ozone, *Eulachnus tuberculostemmatum*, Djurdjura National Park.