



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département : Biologie et Ecologie Végétale

قسم : بيولوجيا و علم البيئة النباتية

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Gestion Durable des Écosystèmes et Protection de L'environnement

Intitulé :

***Marqueurs biochimiques des semis de Pin pignon soumis à la
contrainte hydrique***

Présenté et soutenu par : **KEROUACHE Khaoula**

Le : 19/06/2016

Jury d'évaluation :

Président du jury : **BAZRI Kamel Eddine**

(MCB- UFM Constantine)

Rapporteur : **ALATOU Djamel**

(Professeur- UFM Constantine)

Examineurs : **ARFA Azzedine Mohamed Touffik**

(MAA- UFM Constantine)

*Année universitaire
2015 - 2016*

DEDICACES

*A cœur vaillant rien d'impossible
A conscience tranquille tout est accessible
Quand il y a la soif d'apprendre
Tout vient à point à qui sait attendre
Quand il y a le souci de réaliser un dessein
Tout devient facile pour arriver à nos fins
Malgré les obstacles qui s'opposent
En dépit des difficultés qui s'interposent
Les études sont avant tout
Notre unique et seul atout
Ils représentent la lumière de notre existence
L'étoile brillante de notre réjouissance
Comme un vol de gerfauts hors du charnier natal
Nous partons ivres d'un rêve héroïque et brutal
Espérant des lendemains épiques
Un avenir glorieux et magique
Souhaitant que le fruit de nos efforts fournis
Jour et nuit, nous mènera vers le bonheur fleuri.*



Je dédie ce travail à ...

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

A mes sœurs et mon frère, mes bien aimés !

A mes tantes, oncles, cousins et cousines

A mes amis et camarades de la promotion

A tous ceux que j'aurais oublié de citer mais qui existent au fond de mon cœur et de ma pensée.

Khaoula

Remerciement

Avant toute chose, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir éclairé et guidé mes traces sur le chemin de la science et du savoir, me donnant la force, la pertinence et la volonté dans mon travail.

J'adresse mes vifs remerciements à Mr Allatou Professeur à l'université des Frères Mentouri de Constantine, Je le remercie pour l'attention qu'il m'a accordée à la direction, à l'orientation et à la réalisation de mes travaux de recherches ; sa contribution à la rédaction du présent manuscrit, m'ont été d'une précieuse aide; qu'il trouve ici le témoignage de mon grand respect et de mon estime.

Je tiens à remercier Mr BAZRI. K.E.D (M.C.B), enseignant à l'Université des Frères Mentouri de Constantine d'avoir accepté de bien vouloir honorer de sa présence afin de présider mon jury et d'évaluer mon travail.

Je remercie mon examinateur Mr Arfa A (M.A.A), enseignant à l'Université des Frères Mentouri d'avoir accepté d'examiner mon travail. Veuillez trouver monsieur l'expression de ma reconnaissance et mes remerciements.

Je tiens à remercier Mlle Touaba Cheima pour ses conseils de grandes valeurs, sa disponibilité, et son aide à la réalisation des expériences et de la préparation de ce mémoire.

J'adresse mes remerciements à Mr HadeF A, Mr Gheroucha H, Mr Hamra-Kroua S, qui m'ont amplement aidé à réaliser ce travail.

Je remercie toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin à réalisé ce travail ; je dis merci !

Sommaire

Introduction	01
---------------------------	-----------

Synthèse bibliographique

1. Données générales sur le pin pignon (<i>Pinus pinea</i>)	02
1.1. Taxonomie.....	02
1.2. Caractères botaniques.....	03
1.3. Aire de répartition géographique.....	04
1.4. Aire de répartition en Algérie.....	05
1.5. Caractères écologiques.....	06
1.6. Sylviculture.....	06
1.7. Utilisation.....	07
1.8. Biologie du Pin pignon.....	07
1.8.1. Phénologie.....	07
1.8.2. Reproduction.....	08
1.8.3. Germination.....	09
1.8.4. Croissance.....	10
2. Le stress	11
2.1. Réponses des plantes aux stress hydrique.....	11
2.2. Processus biochimiques.....	12
2.2.1. La chlorophylle.....	12
2.2.2. La proline.....	12
2.2.3. Les sucres solubles	13

Matériels et méthodes

1. Matériel végétal.....	14
2. Matériels utilisés.....	14
2.1. SPAD.....	14
2.2. Taux de l'humidité relative.....	15
3. Le stress hydrique.....	16
4. Les paramètres biochimiques.....	17
4.1. Dosage de la Chlorophylle.....	17
4.2. Dosage de la proline.....	18
4.3. Dosage des sucres solubles.....	19

4.4. Analyse statistique.....	19
-------------------------------	----

Résultats et discussion

I. Résultats.....	20
1. Teneurs en chlorophylles.....	20
1.1. Chlorophylles (a et b)	20
1.2. Chlorophylle totale.....	22
1.3. Rapport ch.a / ch.b.....	24
1.4. Teneurs en chlorophylle par unité SPAD.....	25
2. Teneurs en proline.....	26
2.1. Teneurs en proline au niveau des aiguilles.....	26
2.2. Teneurs en proline au niveau des tiges.....	27
2.3. Teneurs en proline au niveau des racines.....	28
2.4. Variation de la teneur en proline au niveau de la plante.....	29
3. Teneurs en sucres solubles.....	31
3.1. Teneurs en sucres solubles au niveau des aiguilles.....	31
3.2. Teneurs en sucres solubles au niveau des tiges.....	32
3.3. Teneurs en sucres solubles au niveau des racines.....	33
3.4. Variation de la teneur en sucres solubles au niveau de la plante.....	34
4. Corrélation entre les variables étudiés.....	35
II. Discussion.....	37
Conclusion.....	39

Références bibliographiques

Liste des figures

- Figure 1. Air de répartition géographique du pin pignon dans le monde.....	04
- Figure 2. La superficie du pin pignon dans les 5 wilayas.....	05
- Figure 3. Répartition géographique des plantations du pin pignon en Algérie.....	05
- Figure 4. Les différents stades phénologiques des pins.....	08
- Figure 5. Processus de germination de la graine de Pin pignon.....	09
- Figure 6. Métabolismes de la proline dans la plantes.....	13
- Figure 7. Variations des teneurs en chlorophylle (a et b) des aiguilles de <i>Pinus pinea</i> soumis à différents niveaux de stress hydrique.....	21
- Figure 8. Variation du taux de la chlorophylle totale des aiguilles de <i>Pinus pinea</i> soumis à différents niveaux de stress hydrique.....	23
- Figure 9. Variation des taux du rapport ch.a /ch.b des aiguilles de <i>Pinus pinea</i> soumis à différents niveaux de stress hydrique.....	24
- Figure 10. Variations des teneurs en chlorophylle (Unité SPAD) des aiguilles de <i>Pinus pinea</i> soumis à différents niveaux de stress hydrique.....	25
niveaux de stress hydrique.....	26
- Figure 12. Variation des taux de proline des tiges de <i>Pinus pinea</i> soumis à différents niveaux de stress hydrique.....	27
- Figure 13. Variation des taux en proline des racines de <i>Pinus pinea</i> soumis aux différents niveaux de stress hydrique.....	28
- Figure 14. Variation des teneurs en proline au niveau des différents organes de semis de <i>Pinus pinea</i> soumis à différents niveaux de stress hydrique.....	30
- Figure 15. Variation des taux des sucres solubles des aiguilles de <i>Pinus pinea</i> soumis à différents niveaux de stress hydrique.....	31
- Figure 16. Variation de taux des sucres solubles des tiges de <i>Pinus pinea</i> soumis à différents niveaux de stress hydrique.....	32
- Figure 17. Variation des taux des sucres solubles des racines de <i>Pinus pinea</i> Soumis à différents niveaux de stress hydrique.....	33
- Figure 18. Variation des teneurs en sucres solubles au niveau des différents organes de semis de <i>Pinus pinea</i> soumis à différents niveaux de stress hydrique.....	34
- Figure 19. Corrélations entre les paramètres biochimiques de semis de <i>Pinus pinea</i>	36

Liste des tableaux

- Tableau 1 : Analyse de la variance de la chlorophylle (a).....	21
- Tableau 2 : Test de Newman et Keuls à 5%.....	21
- Tableau 3 : Analyse de la variance de la chlorophylle (b).....	22
- Tableau 4 : Test de Newman et Keuls à 5%.....	22
- Tableau 5 : Analyse de la variance.....	23
- Tableau 6 : Test de Newman et Keuls à 5%.....	23
- Tableau 7 : Analyse de la variance.....	24
- Tableau 8 : Test de Newman et Keuls à 5%.....	25
- Tableau 9 : Analyse de la variance.....	25
- Tableau 10 : Test de Newman et Keuls à 5%.....	26
- Tableau 11 : Analyse de la variance.....	27
- Tableau 12 : Test de Newman et Keuls à 5%.....	27
- Tableau 13 : Analyse de la variance.....	28
- Tableau 14 : Test de Newman et Keuls à 5%.....	28
- Tableau 15 : Analyse de la variance.....	29
- Tableau 16 : Test de Newman et Keuls à 5%.....	29
- Tableau 17 : Analyse de la variance.....	30
- Tableau 18 : Test de Newman et Keuls à 5%.....	30
- Tableau 19 : Analyse de la variance.....	31
- Tableau 20 : Test de Newman et Keuls à 5%.....	32
- Tableau 21 : Analyse de la variance	32
- Tableau 22 : Test de Newman et Keuls à 5%.....	33
- Tableau 23 : Analyse de la variance.....	34
- Tableau 24 : Test de Newman et Keuls à 5%.....	34
- Tableau 25 : Analyse de la variance.....	35
- Tableau 26 : Test de Newman et Keuls à 5%.....	35
- Tableau 27 : Matrice de corrélation des principaux paramètres physiologiques mesurés dans les semis de <i>Pinus pinea</i> après l'application des différents niveaux de stress hydrique....	35

Liste des photos

- **Photo1.** Arbre de pin pignon (région de Djebel Ouahch).....02
- **Photo2.** Caractères morphologiques.....03
- **Photo 3.** Chambre de culture : Semis de Pin pignon.....14
- **Photo 4.** Mesure de la chlorophylle par le SPAD.....15
- **Photo 5.** Thermo hygromètre à sonde métallique.....16
- **Photo 6.** Semis de Pin pignon stressé au niveau T3=35%.....17

INTRODUCTION

Introduction

Le climat algérien se caractérise par des épisodes de haute et basse température et du déficit hydrique qui peuvent apparaître, d'une façon progressive ou brutale au début, au milieu ou en fin de saison. Ces périodes sont parfois intenses fortes et, toujours imprévisibles et variables d'une année à l'autre.

Dans le domaine agronomique, une gestion efficace de l'environnement et des ressources agricoles exige une collecte d'informations fiables et précises sur l'état des cultures, et un suivi permanent de leur croissance. Le suivi de l'état physiologique des plantes sous un stress environnemental est essentiel pour une meilleure productivité des cultures. L'interprétation de la tolérance à un stress abiotique exige une certaine évaluation de ce stress par certains indices. Les études physiologiques et génétiques ont pu accélérer ce processus d'évaluation.

La physiologie et la productivité de la végétation forestière sont directement affectées par la température, la disponibilité des nutriments, le régime hydrique et indirectement par l'interaction interspécifique (Graumlich, 1993).

Le pin pignon, essence forestière monoïque de hauteur comprise entre 15 et 25 m pour un étalement de 10 à 15 m avec une croissance lente, adapté à la sécheresse mais, pas au calcaire. Présente en Algérie sous forme de reboisement, il intéresse les forestiers pour sa conservation et valorisation dans le massif de Djebel Ouahch à Constantine, en zone continentale à la limite du semi-aride. La régénération naturelle de cette espèce, comme d'autres espèces méditerranéennes, est confrontée à de sérieux problèmes et par conséquent, elle est difficile à atteindre (Calama et Montero, 2007). De cette idée il est intéressant d'approfondir son écologie qui reste peu connue des spécialistes.

C'est dans ce contexte, que notre étude se veut à la fois la connaissance du degré de tolérance de l'espèce et sa réaction éco-physiologique vis-à-vis du stress hydrique, tout en essayant de comprendre sa capacité d'adaptation par une quantification des marqueurs biochimiques (la proline, les sucres solubles et la chlorophylle) dans les différents organes des semis.

synthèse bibliographique

1 .Données générales sur le pin pignon (*Pinus pinea*)

Le Pin pignon ou Pin parasol (*Pinus pinea* L.) appartient à la famille des Pinaceae (sous famille des Pinoideae).

Le Pin pignon est un arbre à port typiquement “ en parasol ”. Il peut atteindre une hauteur de 30m et plus de 6m de circonférence (Tornatora, 1887). Son fût est cylindrique, rectiligne et se divise rapidement en branches presque d’égale importance. Les arbres perdent les branches les plus basses par élagage naturel (Benseghier et Khamed, 2014).

Sa longévité peut atteindre 200 à 250 ans et peut dépasser 400 ans selon (Gonzales, 1947 et Feinbrun, 1959).



Photo1. Arbre de pin pignon (région de Djebel Ouahch)

1.1. Taxonomie

La position taxonomique du pin pignon est la suivante :

Régne : *Plantae*

Division : *Pinophyta*

Classe : *Pinopsida*

Ordre : *Pinales*

Famille : *Pinaceae*

Sous-famille : *Pinoideae*

Genre : *Pinus*

Nom : *Pinus pinea*

1.2. Caractères botaniques

- **Catégorie** : C'est un conifère monoïque à l'écorce d'un gris brunâtre qui en vieillissant se fissure et se desquame en grandes plaques verticales laissant apparaître une écorce ocre rouge.
- **Port** : globulaire, compact, arrondi qui s'aplatit en parasol en prenant de l'âge
- **Feuillage** : persistant (se renouvelle tous les 3 ou 4 ans), vert franc, glauque. Longues et épaisses aiguilles (10 à 18 cm) rigides et piquantes réunies en faisceaux par 2 ou 3.
- **Floraison** : au printemps (avril-mai) unisexuée, châteaux mâles oblongs ocre jaune assez insignifiants mais fortement chargés de pollen, les femelles en petits cônes aux extrémités des rameaux.
- **Fruits** : à maturité tous les 3 ans, strobiles ovoïdes à globuleuses (pomme de piou pigne) de 8 à 15 cm d'un brun roux brillant, contenant des graines noirâtres à coque ligneuse renfermant des amandes ailées comestibles (pignons).
- **Croissance** : lente.
- **Hauteur** : 15-25 m pour un étalement de 10-15 m.
- **Entretien** : les jeunes sujets sont sensibles au gel. Adulte il est parfaitement adapté à la chaleur et à la sécheresse.(Ernest, 1987).



-A-



-B-



-C-



-D-

Photo2. Caractères morphologiques : **A** : Cône ; **B** : Rameau feuillé ; **C** : Pignon du pin ; **D** : Tronc

1.3. Air de répartition géographique

L'aire de répartition de *Pinus pinea* comprend la région méditerranéenne septentrionale, de la péninsule ibérique à l'Anatolie jusqu'aux côtes méridionales de la mer Noire. Cette essence a fait l'objet de boisements très anciens pour la production de ses graines comestibles.

En France, on le trouve principalement dans les plaines littorales et les collines méditerranéennes, en général à moins de 50 km des côtes et à moins de 600 m d'altitude.

La superficie totale couverte par le Pin pignon dans le monde est estimée à 600 000 ha (75 % en Espagne, 9 % au Portugal, 8 % en Turquie, 7 % en Italie, 0.5 % au Maroc et le reste en Grèce, Liban, Tunisie et en France). (Seigue, 1985).



Figure1. Air de répartition géographique du pin pignon dans le monde (Fady, 2004)

1.4. Répartition en Algérie

En Algérie les plantations de Pin pignon ont été réalisées entre 1935 et 1974 couvrant une superficie totale de 3506 ha. Les wilayas concernées sont : Constantine, Bouira, Mostaganem, Médéa et Annaba (Fig3)

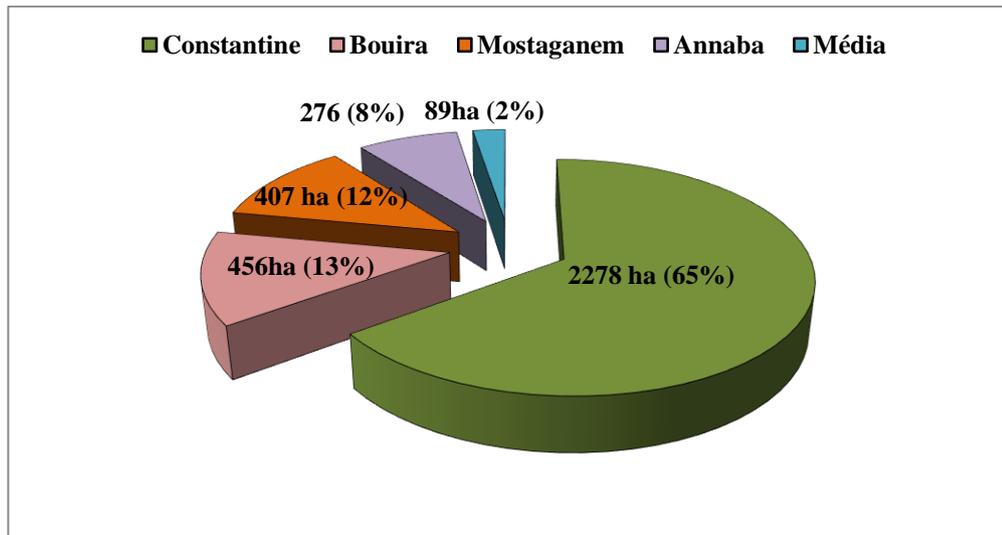


Figure 2. La superficie du pin pignon dans les 5 wilayas (DGF IFN 2008)

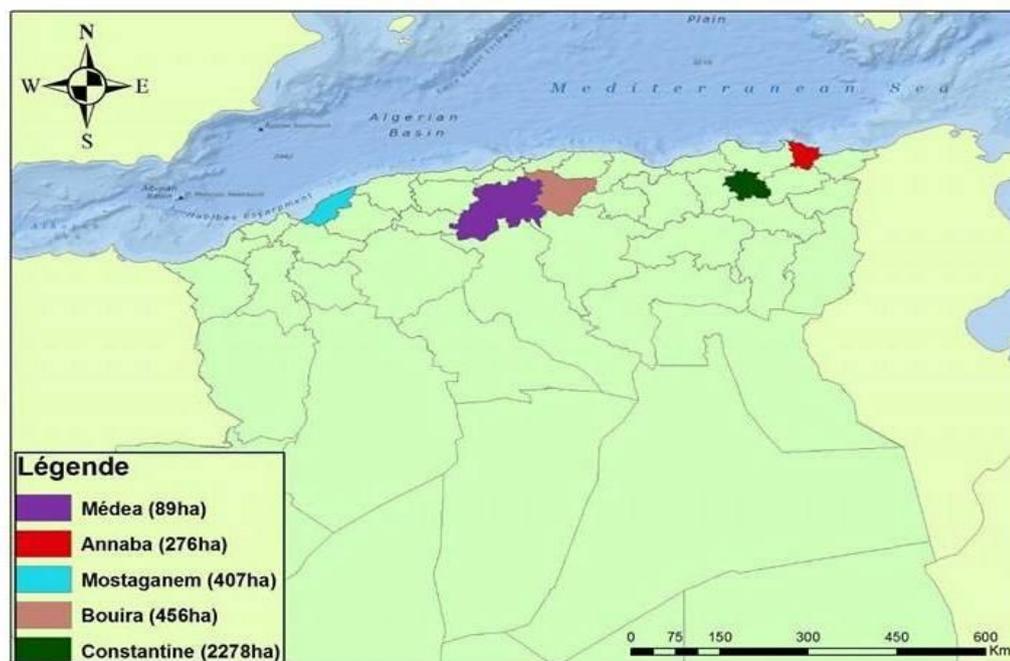


Figure 3. Répartition géographique des plantations du pin pignon en Algérie

1.5. Caractères écologiques

- **Comportement général** : assez plastique, héliophile et thermophile, le pin pignon s'accommode des sols relativement secs.
- **Température** : Le Pin pignon est une espèce thermophile, relativement xérophile, bien que ses exigences puissent être atténuées dans les peuplements irréguliers (De Philippis, 1957 ; Ciancio et al. 1986).
- **Précipitations** : Le pin pignon peut se développer dans des régions où les précipitations sont comprises entre 550 et 1500 mm/an au sens de Gaussen, cité par Labadie (1983).
- **Substrat** : Roche mère silicieuse ou calcaire ; indifférent au pH (entre 4 et 9) ; supporte jusqu'à 50% de calcaire total et 15% de calcaire actif. Pousse mal sur les sols lourds, compact, argileux ou marneux ; préfère les sols légers limono-sableux ; supporte les sols caillouteux et secs.

1.6. Sylviculture

- **Récolte des semences** : à la fin de l'été et pendant l'automne (Une bouteille de 1 litre contient environ 1000 graines non décortiquées et pèse 1.5 kg), la conservation est possible pendant 3 ans en milieu sec ; sa faculté germinative comprise entre 50 et 90%.
- **Semis direct** : s'effectue en automne en protégeant les graines contre les prédateurs avec la même technique que pour les glands.
- **Semis en pépinière** : se réalise en printemps en raison de la rapidité de la croissance ; en pleine terre, pour des plantations à racines nues, ou en conteneurs ; faire tremper les graines pendant 24 heures dans l'eau froide (4-5 °C) avant de semer.
- **Mise en place sur le terrain** : à l'automne suivant (6 mois) après un travail du sol si possible.
- **Entretien** : nécessaire pendant les 2 ou 3 premières années (désherbage et sarclage) ; élagages et éclaircies progressifs mais fréquents à partir de 15 ans ; sensible comme tous les pins aux herbicides de contact pendant la période de végétation. (Daniel, 1982)

1.7. Utilisation

- **Paysage** : esthétique à tous les âges, isolé ou en peuplement ; utilisé en Espagne, en Italie et récemment sur le littoral du Languedoc-Roussillon en France.
- **Protection des sols** : en zone sableuse littorale.
- **Protection contre l'incendie** : les peuplements denses éliminent la végétation combustible du sous-bois ; cependant l'accumulation de litière doit être évitée et les arbres doivent être élagués, même assez fortement.
- **Bois** : Très résineux et résistant à l'humidité, est utilisé en menuiserie et pour la production de cellulose (y compris des pâtes mécaniques). Qualité souvent supérieure à celle du pin sylvestre et du pin maritime (Daniel, 1982).
- **Graine** : apprécié en pâtisserie, La production en cône se situe en moyenne autour de 2 à 3t/ha/an (Mercurio , 1989, cité par Djaziri 1971).

1.8. Biologie du Pin Pignon

1.8.1. Phénologie

La phénologie désigne, au sens large, l'ensemble des particularités morphologiques du cycle de développement d'un végétal.

Il existe un nombre important de stades phénologiques chez les pins :

- a) bourgeons entièrement fermés (stade hivernal)
- b) bourgeons gonflés et en train de s'allonger, écailles non décollées
- c) bourgeons ouverts, montrant le bout des aiguilles ; le chapeau de l'écaillé est encore sur les aiguilles, les maintenant ensemble
- d) bourgeons déjà très longs et les aiguilles basses des nouvelles pousses sortent des écailles
- e) pousse courbée, les aiguilles et la pousse s'allongent fortement et sont entièrement libres.

(Differt, 2001)

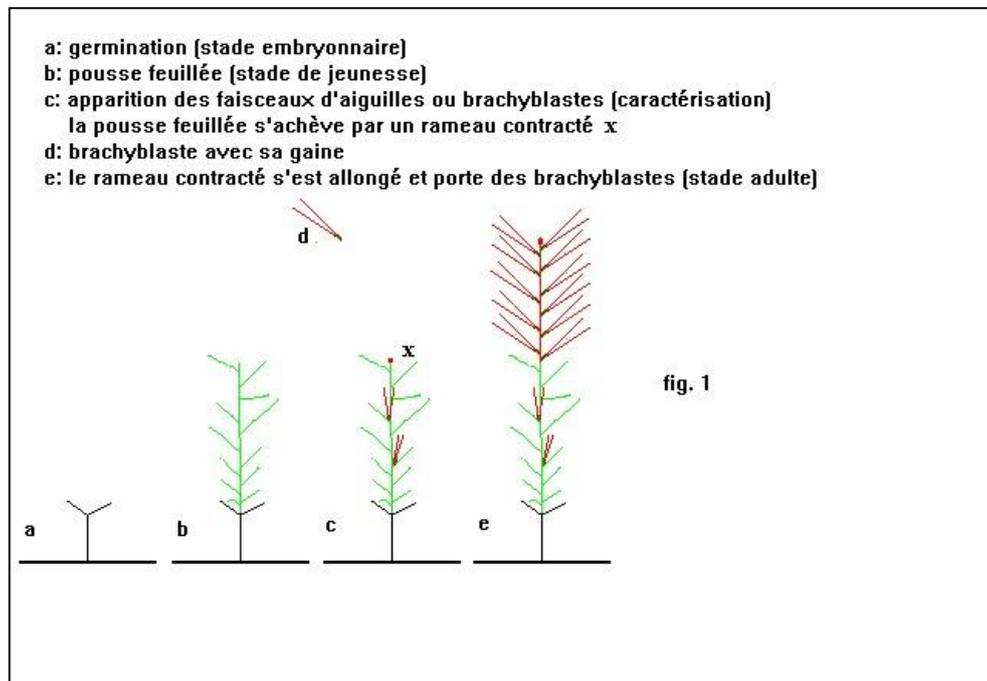


Figure 4. Les différents stades phénologiques des pins

1.8.2 Reproduction

La reproduction débute vers l'âge de 8 à 20 ans selon les peuplements (Veechi, 1980).

La fécondation a lieu en avril de la seconde année. La maturité du fruit, sa déhiscence et la chute des graines ont lieu en septembre de la troisième année. (Adili, 2012)

Ainsi il faut noter l'existence, sur la même branche, de cônes des trois générations (Khaldi, 2009). La majorité des pins présente un cycle de reproduction qui couvre trois années civiles (Sarvas 1962, Owens et Molder 1984, Owens et Blake 1986, Fletcher 1992, Philipson 1997).

Toutefois, le pin pignon a un cycle de quatre ans, contrairement aux pins noir, maritime et sylvestre.

La fructification commence dès l'âge de 15 à 20 ans, mais la production de graines n'est abondante que tous les 3 ou 4 ans seulement (parfois 5 ou 6).

1.8.3. Germination

Les premières plantules de Pin pignon apparaissent à la fin septembre, après les premières pluies automnales (figure5).

Le pouvoir germinatif des graines varie entre 70 et 90% et leur longévité est de 4 à 6 mois en moyenne et peut se prolonger plus d'un an lorsqu'elles sont conservées au froid sec.

La levée s'effectue entre 1 à 5 semaines après l'ensemencement effectué en septembre ou au printemps.

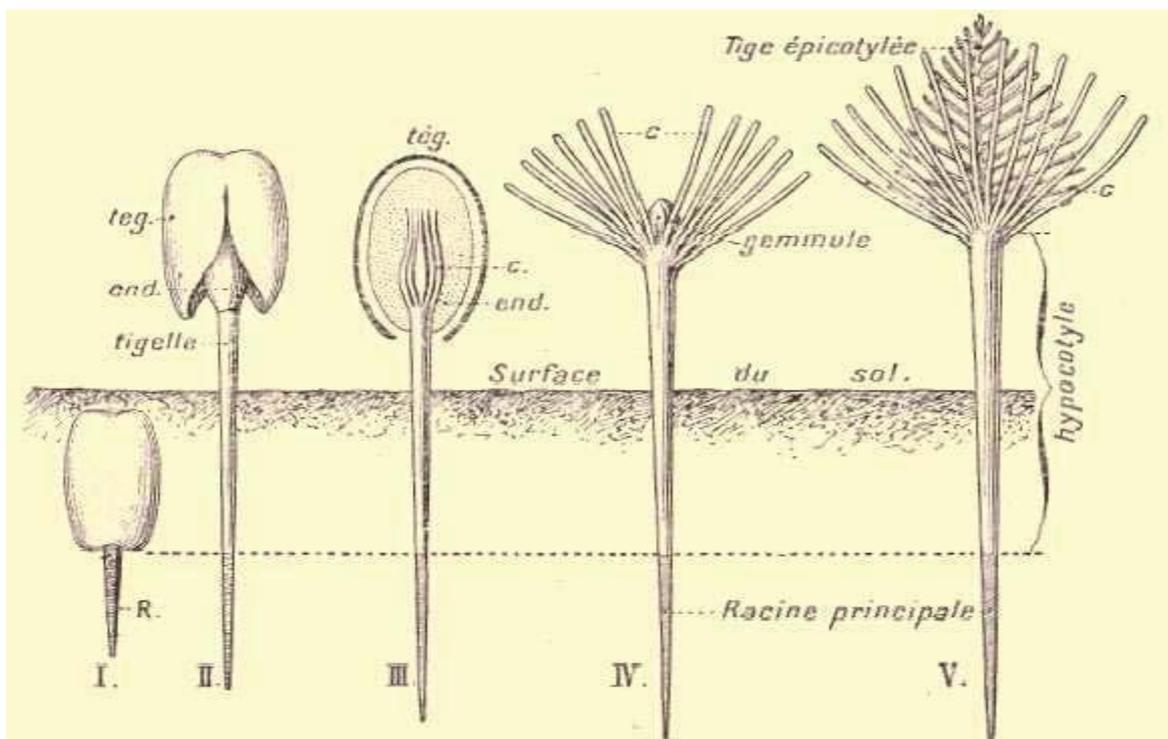


Figure 5. Processus de germination de la graine de Pin pignon

<http://www.cosmovisions.com/gymnospermesDeveloppemen.htm>

(R : radicules, end : endosperme, tég : téguments, c : cotylédon)

(1) : pénétration de l'eau par l'ancien micropyle de l'ovule, gonflement et éclatement de ses enveloppes. La radicule placée juste en face de cet orifice (micropyle) le franchit sous forma d'un petit axe qui s'allonge peu à peu verticalement dans le sol. (2) : la tigelle croit en sens inverse et arrive à s'élever au dessus du sol en entraînant avec elle tout le reste de la graine, enveloppes et endosperme. (3) : l'endosperme entourant le cotylédon à la façon d'un petit capuchon qui lui est intimement adjacent, et peu à peu digéré et passe directement dans ces cotylédons assurant la nutrition de la plantule. (4) : disparition complète de l'endosperme, les cotylédons s'étalent à l'air sous la forme d'une rosette de 10 à 12 feuilles ; tout ce qui reste de la graine (enveloppes et pellicule endospermique) tombe sur le sol. (5) : la tigelle cesse de s'allonger et le bourgeon terminal ou gemmule se développe et assure l'allongement de la tige (la tige hypocotylée provenant du développement de la tigelle et la tige épicotylée engendrée par la gemmule).

1.8.4. Croissance

Le pin pignon développe généralement un verticille par an. Il est très rare qu'il en développe plus à l'instar d'autres pins tels que *Pinus radiata* et *Pinus pinaster*.

L'allongement de la pousse survient principalement au printemps ; la croissance polycyclique est rare chez les arbres adultes et si elle est présente, la deuxième unité de croissance est toujours plus courte que la première (Mutke et coll, 2003). La 2ème vague de croissance est sous le contrôle des conditions climatiques.

Le caractère monocyclique de la croissance de *P. pinea* se traduit par la formation d'un seul cerne ligneux et d'un seul verticille de branches par an : la croissance en diamètre est prédominante en avril, l'allongement des pousses l'est en mai et celui des aiguilles en juin-juillet. L'activité du cambium se maintient pendant 8 mois (Cabanettes et Rapp, 1981).

2. Le stress

Le stress correspond à toute condition de l'environnement ou combinaison de conditions qui empêche la plante de réaliser l'expression de son potentiel génétique pour la croissance, le développement et la reproduction. Chez les plantes cultivées, la baisse du rendement due à ces conditions peut atteindre 50% (Jones et Qualset, 1984).

Les principaux stress peuvent être classés en deux catégories : biotique et abiotique (Orcutt et Nilsen, 2000).

Les plantes sont généralement soumises à des stress qui se traduisent par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance de la plante et de sa productivité (Wang *et al.*, 2001; Araus *et al.*, 2002).

2.1. Réponses des plantes aux stress hydrique

Le déficit hydrique est une contrainte permanente de la production agricole dans de nombreux pays au climat de type méditerranéen. Elle est à l'origine des pertes de production agricole dans de nombreuses régions. Les risques du manque d'eau sont et deviendront de plus en plus fréquents et persistants, à l'avenir, par suite des changements climatiques causés par l'effet de serre (Witcombe *et al.* 2009). Passioura (2004) définit le déficit hydrique comme étant les circonstances dans lesquelles les plantes accusent une réduction de croissance et de production suite à une alimentation hydrique insuffisante.

Tardieu (2005) mentionne que le statut hydrique de la plante passe progressivement par trois principales phases, selon le développement du stress hydrique. Au cours de la phase initiale, la transpiration et l'assimilation se déroulent comme si la plante dispose de l'eau à volonté. Cette phase se poursuit jusqu'au moment où le niveau d'absorption racinaire ne peut plus satisfaire la demande climatique que subit le feuillage. La réserve utile du sol est alors épuisée à 50 %. Après ce seuil, la plante entre dans la seconde phase, au cours de laquelle la transpiration et l'assimilation sont réduites relativement au potentiel.

La plante réagit de façon dynamique au cours de cette phase, pour rétablir l'équilibre entre la demande climatique et l'offre du sol, faisant intervenir des mécanismes qui lui sont propres dont le développement du système racinaire, la régulation stomatique et/ou l'ajustement osmotique. Quand le déficit hydrique devient plus intense, alors la plante entre

dans la troisième et dernière phase au cours de laquelle les stomates se ferment complètement, annulant toutes activités photosynthétiques. Toutes les pertes hydriques de la plante se font alors à travers les voies non stomatiques (cuticule). Il n'y a plus de gain de matière sèche, la respiration consomme les hydrates de carbone stockés et la plante passe au stade de survie. La période de survie dépend du rythme de la transpiration résiduelle et de la tolérance à la dessiccation des tissus vivants restants. Selon Kameli et Losel (1996) la croissance s'arrête avant qu'aucun abaissement notable ne soit perceptible dans le contenu relatif en eau. Le premier effet du déficit hydrique est de réduire la vitesse de croissance des cellules de la tige.

2.2. Processus biochimiques

2.2.1. La chlorophylle

La chlorophylle est un composé chimique indispensable à la photosynthèse. Elle est présente dans tous les organismes végétaux (Cereve, 1999). Chez les plantes supérieures, on la rencontre dans les cellules des feuilles et des tiges vertes (Kerbrat, 2001). Ce pigment, situé dans les chloroplastes des cellules végétales, absorbe la lumière utilisée par la photosynthèse, mécanisme de transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique.

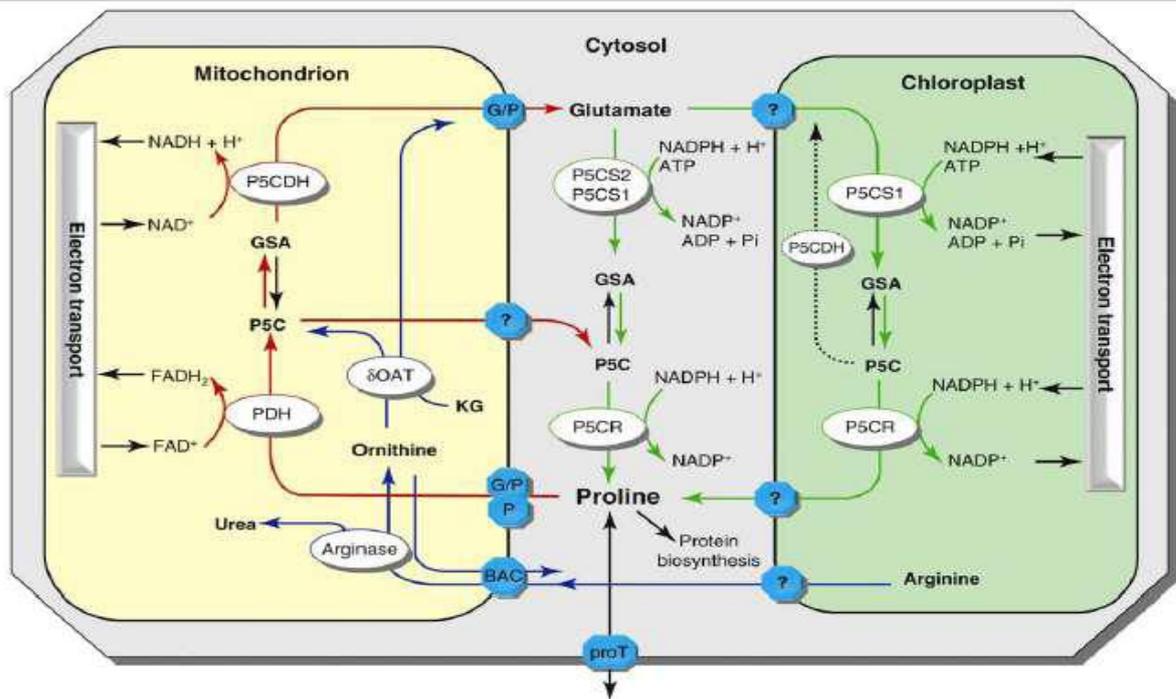
Les molécules de la chlorophylle, sont plutôt lipophiles, elles ne sont pas solubles dans l'eau, mais solubles dans des lipides et dans leurs solvants (alcool, benzène).

2.2.2. La proline

La proline est un marqueur de la résistance aux contraintes abiotiques (Belkhouja et Bidai, 2007). L'accumulation de cet acide aminé a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (hydrique, thermique) (Bellinger *et al.*, 1989; Dorfling et Askman, 1989; Blum et Ebercon, 1976).

L'augmentation de la concentration de proline cytoplasmique est consécutive à la stimulation de sa synthèse, résultant d'une élévation des quantités des messagers codant pour l'enzyme qui convertit le glutamate semi-aldéhyde en proline.

Il existe deux voies de biosynthèse de la proline chez les plantes, celle de L'ornithine et celle du glutamate. Cette dernière semble être prédominante sous conditions de stress.



TRENDS in Plant Science

Figure 6. Métabolismes de la proline dans la plantes (Hervé *et al.*, 2004)

2.2.3. Les sucres solubles

Les sucres solubles dans l'eau constituent une source glucidique rapidement métabolisable et couvrent les besoins immédiats de la plante .

Ce sont des intermédiaires métaboliques qui sont également une forme de transport et qui peuvent être, dans certains cas, considérés comme une forme de stockage ainsi, le saccharose, sucre soluble majoritaire de la plupart des espèces, contribue largement au stockage hivernal en s'accumulant dans les vacuoles (Hansen, 1967 ; Wallart, 1980).

MATERIELS ET METHODES

1. Matériel végétal

Notre étude est réalisée sur des semis de Pin pignon (*pinus pinea*) âgés de six mois élevés en pépinière de Dj-Ouahch (Constantine), Les plantes sont élevées dans les conditions naturelles, placées dans des sachets en plastique contenant de sol issu de cette pépinière puis transportés au laboratoire repiqués dans des pots en plastique remplis de terre végétale , Les pots sont placés en conditions semi-contrôlées, dans une chambre de culture à température (24°C le jour, 10 °C la nuit) et lumière (2160 Lux). En jours longs de 16H/24H sans un éclairage de 2160 Lux.



Photo 3. Chambre de culture : Semis de Pin pignon

2. Matériels utilisés

2.1. SPAD

Le taux de chlorophylle est mesuré à l'aide du chlorophylle-mètre (SPAD-502Plus) sur les aiguilles du plante, Chaque mesure est la moyenne de 3 échantillons (unité SPAD).

L'appareil a la forme d'une pince que l'on tient dans la main ; il est compact et léger et entre dans n'importe quelle poche. Il mémorise jusqu'à 30 mesures, qui peuvent être affichées une à une.

Le chlorophylle-mètre est utilisé pour évaluer la teneur en azote des feuilles puisque la majeure partie de l'azote est contenue dans la chlorophylle. Il suffit de fermer la pince vide sur elle-même pour étalonner l'instrument. Il réalise des mesures rapides sans endommager les feuilles des plantes.



Photo 4. Mesure de la chlorophylle par le SPAD

2.2. Taux de l'humidité relative

Les mesures de taux de l'humidité relative sont effectuées à l'aide d'un thermo hygromètre à sonde métallique à deux niveaux de la plante (5 cm et 10 cm de profondeur).

Le thermo hygromètre est un appareil précis et à usage facile pour détecter l'humidité du sol, il nous montre l'humidité actuelle en pourcentage absolu (de 0% à 100%) ainsi que la température du sol (de -20°C à 125 °C).



Photo 5. Thermo hygromètre à sonde métallique

3. Le stress hydrique

Le stress hydrique est appliqué par l'arrêt de l'irrigation jusqu'à l'obtention des différents niveaux de stress hydrique (100%, 75%, 55% et 35%).

Les semis sont arrosés une fois jusqu'à la capacité aux champs (100%). Les niveaux hydriques sont déterminés régulièrement à l'aide d'une sonde hydro thermique.

Les niveaux retenus sont : **N0** (100%), **N1** (75%), **N2** (55%), **N3** (35%).



Photo 6. Semis de Pin pignon stressé au niveau T3= 35%

4. Les paramètres biochimiques

4.1. Dosage de la Chlorophylle

L'extraction est faite selon la méthode de Mac Kinney (1941) et Arnon (1949).

- Peser (100) mg de la matière fraîche (prélevés des aiguilles des semis du pin pignon)
- Ajouter 10 ml d'un mélange (75% d'acétone et 25% d'éthanol)
- Conserver l'ensemble dans des boites noires fermées (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière) pendant 48h à 30°C et à l'obscurité.
- La mesure de la densité optique se fait par un spectrophotomètre aux longueurs d'onde 663 et 645 nm respectivement pour les chlorophylles (a) et (b).
- La concentration de ces deux derniers est déterminée par les équations suivantes :

$$\text{Chl. (a) mg/g MF} = [12.7\text{DO (663)} - 2.69\text{DO (645)}] 0.1$$

$$\text{Chl. (b) mg/g MF} = [22.9\text{DO (645)} - 4.69\text{DO (663)}] 0.1$$

$$\text{Chl. total (mg/g)} = \text{Ch. (a)} + \text{Ch. (b)}$$

4.2. Dosage de la proline

La proline est dosé dans les différents organes des semis du pin pignon (feuilles, tige, racines). La méthode suivie est celle de Trolls et Lindsley, (1955), simplifiée et mise au point par Rasio et *al.* (1987).

- Peser un échantillon de 100 mg de matière fraîche (aiguilles, tige, racines).
- Déposés dans des tubes à essai.
- Ajouter 2 ml de méthanol à 40%.
- Les tubes sont ensuite fermés et chauffés au bain marie à 85°C pendant 1 heure.
- Après refroidissement : 1ml de l'extrait est prélevé auquel il faut ajouter 1ml d'acide acétique.
- Ajouter 1ml du mélange (120ml d'eau distillée, 300ml d'acide acétique et 80ml d'acide ortho phosphorique).
- Ajouter 25mg de ninhydrine.
- Bouillir le mélange à 100°C pendant 30 minutes, la couleur vire au rouge.
- Après refroidissement, ajouter 5ml du toluène (C₇ H₈) et agiter au vortex pendant quelques secondes, deux phases sont formées : une supérieure contenant la proline et l'autre inférieure, aqueuse sans proline.
- Après récupération de la phase supérieure, ajouter 5mg de sulfate de sodium oxydé (Na₂SO₄) pour la déshydratation.
- Lecture au spectrophotomètre à longueur d'onde ($\lambda = 528\text{nm}$).
- Les teneurs en proline sont obtenues par l'équation suivante :

$$0.62 \times \text{DO} (528\text{nm}) / \text{MS}$$

4.3. Dosage des sucres solubles

Les sucres solubles totaux sont dosés par la méthode au phénol de Dubois et *al*, (1956).

- Peser 100 mg de matière fraîche (aiguilles, tige, racines), placées dans des tubes à essais.
- Ajouter 3 ml d'éthanol à 80%, maintenir l'échantillon à température ambiante pendant 48h et à l'obscurité.
- Filtrer l'échantillon, ajouter 20 ml d'eau distillée à l'extrait (C'est la solution à analyser).
- Prélever 2ml de la solution à analyser dans des tubes à essais propres.
- Ajouter 1 ml de phénol à 5%, puis 5ml d'acide sulfurique à 1.8N, une solution jaune orange a obtenu
- Placer les tubes au bain-marie à 30°C pendant 10 à 20 minutes.
- La lecture de la densité optique est effectuée pour une longueur d'onde de 490 nm et le calcul de la concentration se fait par l'équation suivante:

$$1.65 \times DO (490nm) / MS$$

4.4 Analyse statistique

Les résultats sont soumis à une analyse de la variance à un ou deux facteurs fixes de classification, les histogrammes présentés, rejoignent des valeurs moyennes encadrées par leurs écart- type, les moyennes sont comparées selon la méthode de Newman et Keuls, basée sur la plus petite valeur significative, en plus des corrélations établies entre les différentes variables, utilisant le logiciel Excel Stat (version, 2015). On considère que les résultats sont significatifs quand $P \leq 0.05$.

RESULTATS ET DISCUSSION

I. Résultats

Les changements du climat peuvent être persistants, les ajustements en jeux impliquent des modifications plus ou moins rapides et durables de leur métabolisme, la sécheresse est une source de stress physiologique.

Les paramètres biochimiques : teneurs en proline, sucres solubles et chlorophylle sont mesurés dans les différents organes des semis de pin pignon (*pinus pinea*) soumis aux stress hydrique. Les variations observées sur ces paramètres sont illustrées dans les figures ci-dessous.

1. Teneurs en chlorophylles

La chlorophylle est un composé chimique indispensable à la photosynthèse. Elle est présente dans tous les organismes végétaux. Elle est très instable et se décompose facilement sous l'effet de la lumière et d'autres facteurs environnementaux comme la température.

1.1 Chlorophylles (a et b)

Les résultats obtenus de chlorophylles (a) et (b) dans les aiguilles du *Pin pignon* soumis aux stress hydrique sont illustrées dans la figure 7. Ces résultats montrent que la chlorophylle (a) présente des valeurs plus élevées par rapport à celles de la chlorophylle (b). Le témoin correspond à une valeur très forte à partir de 1.014mg/g MF pour la chlorophylle(a) et 0,707mg/g MF pour la chlorophylle (b) suivit par une diminution de -43.88% au dernier niveau atteint 0,569mg/g MF pour la chlorophylle (a). Concernant la chlorophylle (b), une légère augmentation au niveau (1), suivit par une diminution remarquable au niveau (2) atteint 0.297mg/g MF suite à une légère augmentation de 16.57% au niveau (3) soit 0.356mg/g MF.

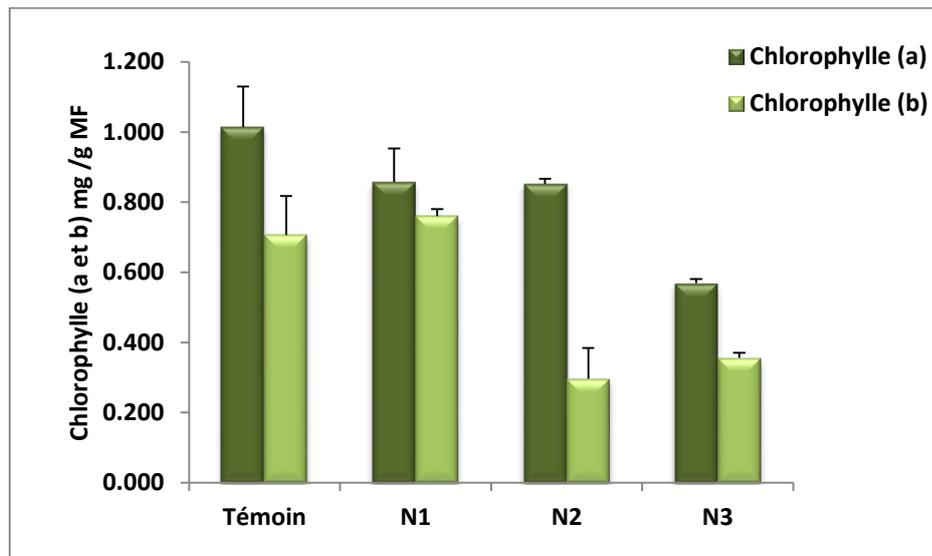


Figure 7. Variations des teneurs en chlorophylle (a et b) des aiguilles de *Pinus pinea* soumis à différents niveaux de stress hydrique

L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative ($p < 0,0001$) (tableau 1).

Tableau 1 : Analyse de la variance de la chlorophylle (a)

Source	DDL	SC	MC	F	Pr > F
Modèle	3	0,3091	0,1030	18,0026	0,0006**
Erreur	8	0,0458	0,0057		
Total corrigé	11	0,3549			

** : très significative

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5%, révèle l'existence de 2 groupes où le témoin, niveau (1) et le niveau (2) occupent le premier groupe (A), le second groupe réunit le niveau (3) (tableau 2).

Tableau 2 : Test de Newman et Keuls à 5%

Modalité	Moyennes	Groupes homogènes
Témoin	1,0140	A
N1	0,8577	
N2	0,8520	
N3	0,5690	B

L'analyse de la variance ($p < 0.0001$) montre une différence très significative entre les différents traitements (tableau 3).

Tableau 3 : Analyse de la variance de la chlorophylle (b)

Source	DDL	SC	MC	F	Pr > F
Modèle	3	0,5078	0,1693	32,9304	0,0001**
Erreur	8	0,0411	0,0051		
Total corrigé	11	0,5489			

** : très significative

A partir du test Newman et Keuls, La comparaison des moyennes fait sortir deux groupes, le premier groupe (A) rassemble le niveau (1) et le témoin, qui affiche une moyenne plus forte, le second groupe (B) est affecté au niveau (2) ,et (3) représentant les plus faibles moyennes (tableau 4).

Tableau 4 : Test de Newman et Keuls à 5%

Modalité	Moyennes	Groupes
N1	0,7603	A
Témoin	0,7067	
N3	0,3557	B
N2	0,2963	

1.2. Chlorophylle totale

Les teneurs en chlorophylle totale diminuent progressivement chez les aiguilles de Pin pignon (figure8) .Au cours du stress hydrique, les teneurs en chlorophylle totale obtenues au niveau des tissus photosynthétiques, sont inférieures à celles du témoin. De ce fait, la teneur la plus forte est affichée au niveau (1) soit 1.618mg/g MF ; alors que la plus faible quantité est enregistrée au niveau (3) soit 0.925mg/g MF.

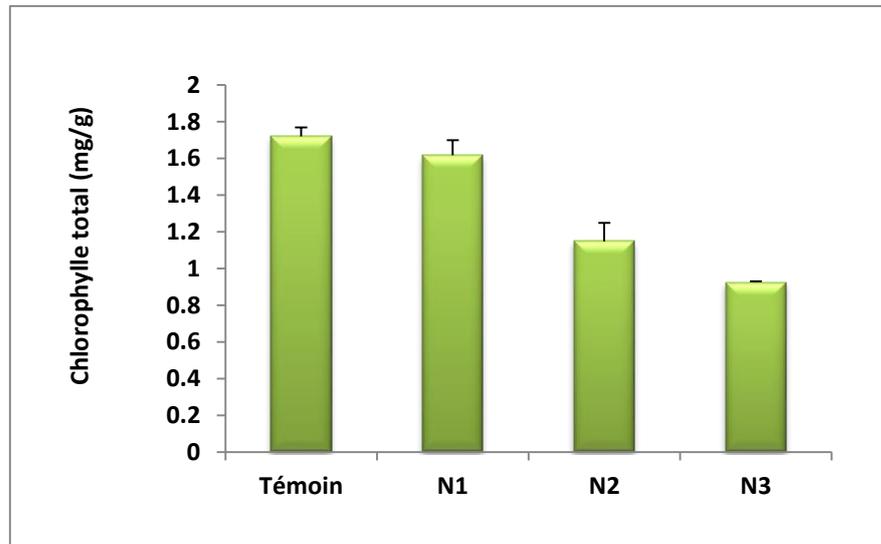


Figure 8. Variation du taux de la chlorophylle totale des aiguilles de *Pinus pinea* soumis à différents niveaux de stress hydrique

Les résultats de l'analyse de la variance à un seul critère, révèlent des différences très significatives entre les différents niveaux de stress (tableau 5).

Tableau 5 : Analyse de la variance

Source	DDL	SC	MC	F	Pr > F
Modèle	3	1.2919	0,4306	90.4913	0,0001**
Erreur	8	0,0381	0,0048		
Total corrigé	11	1.3299			

** : très significative

L'analyse statistique montre l'existence de trois groupes classés dans l'ordre décroissant à partir du témoin (100%) et du niveau 1 (75%), les moyennes les plus élevées, sont obtenues pour le témoin et le niveau 1 de stress hydrique.

Tableau 6 : Test de Newman et Keuls à 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
Témoin	1,7207	A
N1	1,6180	
N2	1,1487	B
N3	0,9247	C

1.3. Rapport ch.a / ch.b

Les résultats présentés sur la figure (9) montrent les variations du rapport chlorophylle a/b en fonction des niveaux de stress hydrique. Ce rapport est compris entre 1.472 pour le témoin et 1,601 pour le dernier niveau 3 avec une forte augmentation au niveau 2 de 51.24% soit : 3.019 mg/g MF.

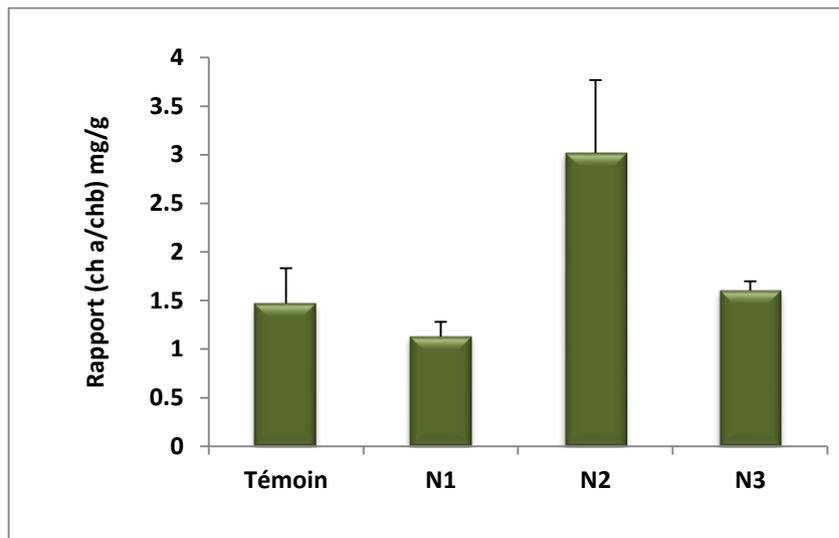


Figure 9. Variation des taux du rapport ch.a /ch.b des aiguilles de *Pinus pinea* soumis à différents niveaux de stress hydrique

L'analyse de la variance révèle qu'il existe des différences significatives entre les différents niveaux de stress ($P < 0.0029$), (tableau 7).

Tableau 7 : Analyse de la variance

Source	DDL	SC	MC	F	Pr > F
Modèle	3	6.2438	2.0813	11.4751	0,0029
Erreur	8	1.4510	0,1814		
Total corrigé	11	7.6947			

Les résultats de l'analyse statistique révèlent l'existence de deux groupes où le premier groupe (A) correspond au niveau 2 avec la plus forte moyenne, ensuite le témoin et les niveaux 1 et 3 qui comprennent le groupe (B) (tableau 8).

Tableau 8 : Test de Newman et Keuls à 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
N2	3,0193	A
N3	1,6013	B
Témoin	1,4727	
N1	1,1307	

1.4. Teneurs en chlorophylle par unité SPAD

Les teneurs en chlorophylle mesurées par le chlorophylle-mètre (SPAD) sont illustrés dans la figure 10.

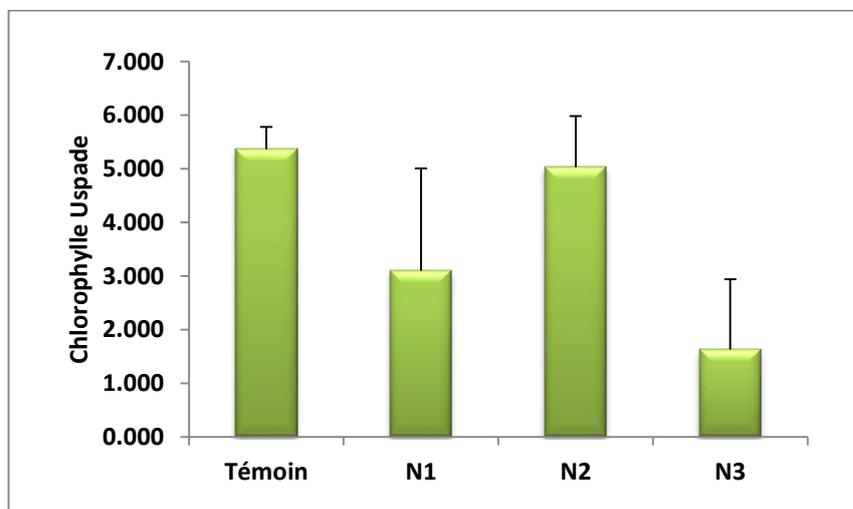


Figure 10. Variations des teneurs en chlorophylle (Unité SPAD) des aiguilles de *Pinus pinea* soumis à différents niveaux de stress hydrique

L'analyse de la variance révèle qu'il existe des différences significatives entre les différents niveaux de stress, (tableau 9).

Tableau 9 : Analyse de la variance

Source	DDL	SC	MC	F	Pr > F
Modèle	3	27.4767	9.1589	5.7154	0,0218
Erreur	8	12.8200	1.6025		
Total corrigé	11	40.2967			

Les résultats de l'analyse statistique révèlent l'existence de trois groupes où le premier groupe (A) correspond au témoin et au niveau 2 avec les plus fortes moyennes, ensuite le niveau 1 occupe le groupe (AB) et le niveau 3 occupe le groupe (B) (tableau 10).

Tableau 10: Test de Newman et Keuls à 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
Témoin	5,3667	A
N2	5,0333	
N1	3,1000	A B
N3	1,6333	B

2. Teneurs en proline

2.1. Teneurs en proline au niveau des aiguilles

Les résultats de la teneur en proline des semis du Pin pignon sont illustrés dans la figure (11), ces résultats indiquent qu'une évolution du contenu en proline dans les feuilles soumis aux stress hydrique durant une période de deux mois. Cette évolution est quatre fois plus importante dans les aiguilles de niveau 1 soit $39,904 \mu\text{mol}/\text{mg MS}$ par rapport au témoin de l'ordre 76.19%. Au niveau 2 l'accumulation de la proline présente une chute plus importante de l'ordre -60.08%, suivie par une nouvelle augmentation de 16.59% au niveau 3.

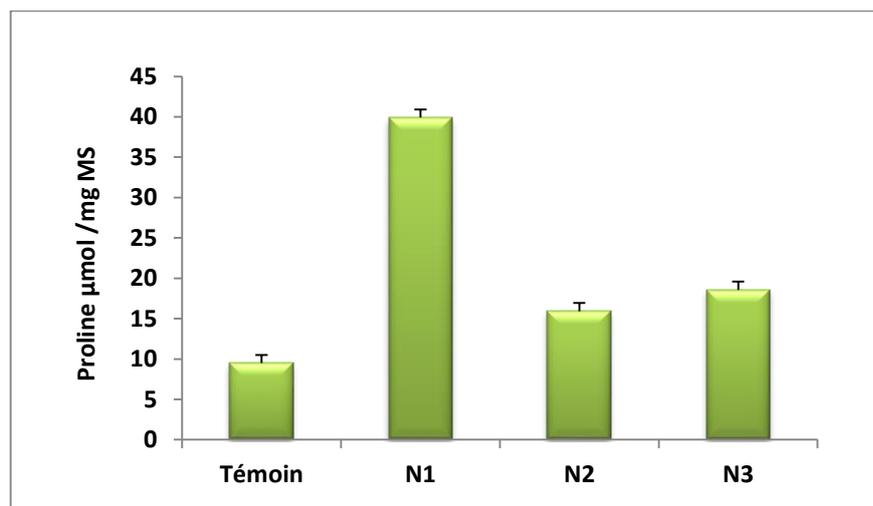


Figure 11. Variation de taux de proline des aiguilles de *Pinus pinea* soumis à différents niveaux de stress hydrique

L'analyse de la variance (tableau 11) montre une différence significative entre les différents niveaux de stress ($p < 0.0058$).

Tableau 11 : Analyse de la variance

Source	DDL	SC	MC	F	Pr > F
Modèle	3	1566.7494	522.2498	9.1522	0,0058
Erreur	8	456.5031	57,0629		
Total corrigé	11	2023.2524			

Le test de Newman et Keuls fait ressortir deux groupes, A et B, le premier correspond au niveau 1, le second au témoin, niveau 2 et 3 (tableau 12).

Tableau 12 : Test de Newman et Keuls à 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
N1	39,9041	A
N3	18,5719	B
N2	15,9290	
Témoin	9,4554	

Les semis de Pin pignon réagissent très vite au niveau du stress 1. Par la suite, les semis s'adaptent à celui-ci.

2.2. Teneurs en proline au niveau des tiges

Les tiges des semis de pin pignon présentent une augmentation de la proline varie entre $16.964\mu\text{mol}/\text{mg}$ et $11.102\mu\text{mol}/\text{mg}$ aux niveaux 2 et 3.(diminution de 50% par rapport à N1) figure (12).

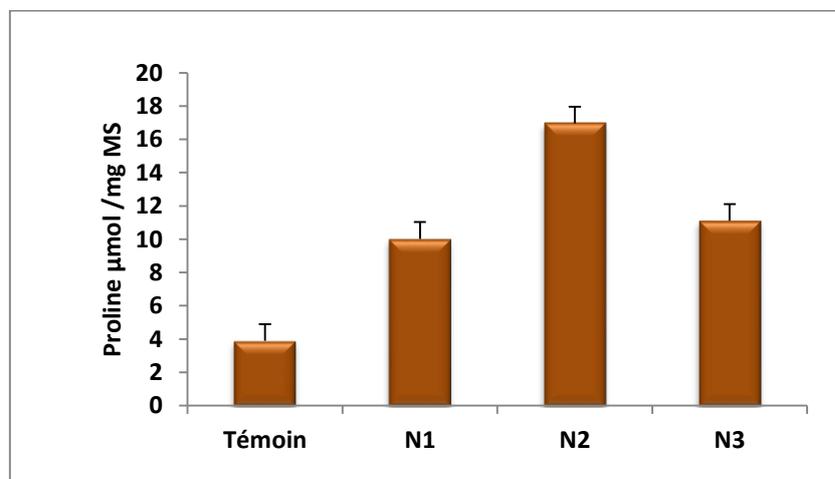


Figure 12. Variation des taux de proline des tiges de *Pinus pinea* soumis à différents niveaux de stress hydrique

L'analyse de la variance (tableau 13) montre qu'il existe une différence significative en fonction des différents niveaux de stress ($p < 0.0022$).

Tableau 13 : Analyse de la variance

Source	DDL	SC	MC	F	Pr > F
Modèle	3	258.3287	86.1096	12.5078	0,0022
Erreur	8	55.0759	6.8845		
Total corrigé	11	313.4046			

L'analyse statistique du tableau14, montre l'existence de trois groupes ; Le premier groupe correspond au niveau 2 avec la moyenne la plus élevée, le second groupe rassemble les niveaux 1 et 3, le troisième groupe comprend le témoin avec la plus faible moyenne.

Tableau 14 : Test de Newman et Keuls à 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
N2	16,9641	A
N3	11,1020	B
N1	10,0239	
Témoin	3,8867	C

2.3. Teneurs en proline au niveau des racines

Les racines des semis de pin pignon présentent une accumulation maximale de la proline de $23,335\mu\text{mol}/\text{mg}$ au niveau 1. Cependant, cette augmentation diminue à un niveau faible au niveau 2 de l'ordre -71.14% , suivie par une augmentation de nouveau de l'ordre 53.02% au niveau 3 (figure13).

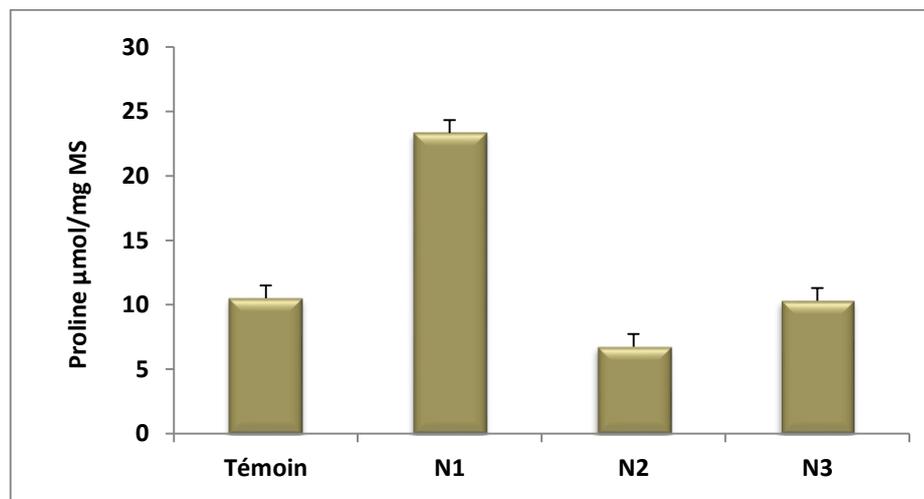


Figure 13. Variation des taux en proline des racines de *Pinus pinea* soumis aux différents niveaux de stress hydrique

L'analyse de la variance (tableau 15) montre qu'il existe une différence significative en fonction des différents niveaux de stress ($p < 0.0010$).

Tableau 15 : Analyse de la variance

Source	DDL	SC	MC	F	Pr > F
Modèle	3	477.8257	159.2752	15.7363	0,0010
Erreur	8	80.9719	10.1215		
Total corrigé	11	558.7976			

Le test de Newman et Keuls fait ressortir deux groupes, A et B, le premier correspond au niveau 1 avec la plus forte moyenne ($23.335\mu\text{mol/mg MS}$), le second correspond au témoin, niveau 3 et 2 par une très faible moyenne ($6.7351\mu\text{mol/mg MS}$) (tableau16).

Tableau 16 : Test de Newman et Keuls à 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
N1	23,3355	A
Témoin	10,4977	B
N3	10,3056	
N2	6,7351	

2.4. Variation de la teneur en proline au niveau de la plante

Les résultats de la figure (14) montrent que les teneurs les plus importantes en proline sont retrouvées dans les aiguilles, comparativement aux racines et aux tiges. Les augmentations de la proline dans les aiguilles et les tiges des semis de Pin pignon caractérisent les niveaux 1 et 2. Au niveau des racines l'accumulation de la proline est observée au niveau 1 et 3.

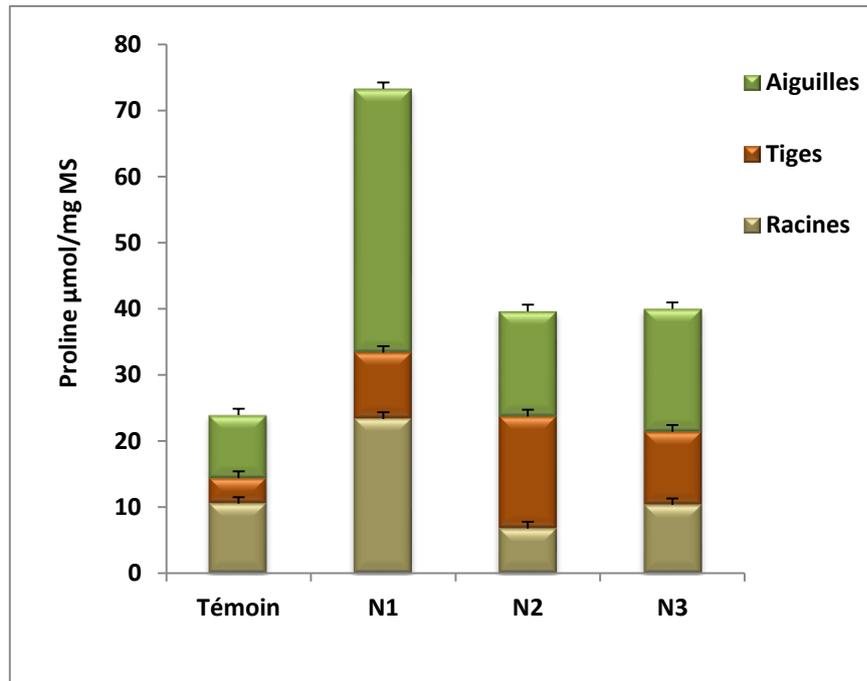


Figure 14. Variation des teneurs en proline au niveau des différents organes de semis de *Pinus pinea* soumis à différents niveaux de stress hydrique

L'analyse de la variance à deux critères de classification montre qu'il existe des différences significatives ($p < 0.0024$) entre les organes et entre les niveaux de stress hydrique appliquées (tableau 17)

Tableau 17 : Analyse de la variance

Source	DDL	SC	MC	F	Pr > F
Modèle	3	1297.9373	432.6458	5.9473	0,0024
Erreur	32	2327.8999	72.7469		
Total corrigé	35	3625.8372			

L'analyse statistique des résultats obtenus montre l'existence de deux groupes, le niveau 1 représente le groupe (A) avec la moyenne la plus élevée, le niveau 3, 2 et le témoin forment le groupe (B) (tableau 18).

Tableau 18 : Test de Newman et Keuls à 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
N1	24,4212	A
N3	13,3265	B
N2	13,2094	
Témoin	7,9466	

3. Teneurs en sucres solubles

3.1. Teneurs en sucres solubles au niveau des aiguilles

Les résultats des teneurs en sucres solubles des aiguilles de *Pinus pinea* sont illustrés dans la figure(15). Les différents niveaux de stress appliqués sur les semis, induisent une augmentation au niveau 2 avec une valeur de 105.478 μ mol/mg MS, et une diminution au niveau 3 avec une valeur de 43.071 μ mol/mg MS.

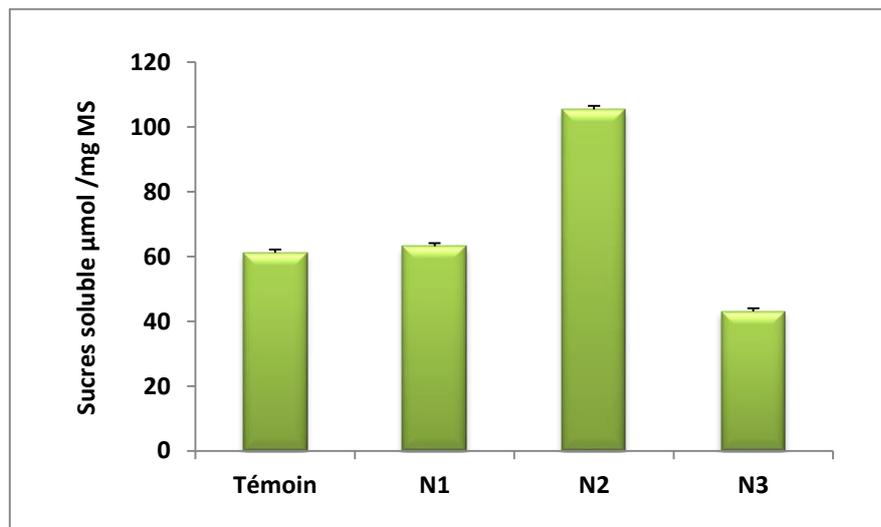


Figure 15. Variation des taux des sucres solubles des aiguilles de *Pinus pinea* soumis à différents niveaux de stress hydrique

L'analyse de la variance (tableau 19) montre une différence significative entre les différents niveaux de stress ($p < 0.0017$)

Tableau 19 : Analyse de la variance

Source	DDL	SC	MC	F	Pr > F
Modèle	3	6288.9501	2096.3167	13.5528	0,0017
Erreur	8	1237.4256	154.6782		
Total corrigé	11	7526.3756			

L'analyse statistique des résultats obtenus indique l'existence de deux groupes homogènes, (A), (B), où le premier comprend le niveau 2 avec la moyenne la plus élevée, le second groupe occupe le témoin et le niveau 1 et le niveau 3 avec des moyennes faibles (Tableau 20).

Tableau 20 : Test de Newman et Keuls à 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
N2	105,4781	A
N1	63,1795	B
Témoin	61,1299	
N3	43,0709	

3.2. Teneurs en sucres solubles au niveau des tiges

Les tiges des semis de Pin pignon présentent une accumulation de la proline allant de (49,111 μ mol/mg) au niveau 2 près de la moyenne du niveau 3 (46,162 μ mol/mg MS) (figure 16).

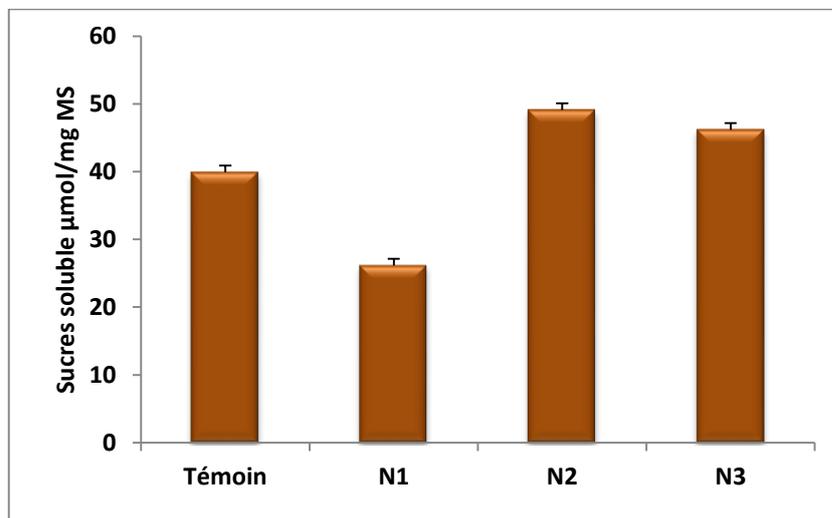


Figure 16. Variation de taux des sucres solubles des tiges de *Pinus pinea* soumis à différents niveaux de stress hydrique.

L'analyse de la variance (tableau 21) montre une existence entre les différents niveaux de stress ($p < 0.0049$).

Tableau 21: Analyse de la variance

Source	DDL	SC	MC	F	Pr > F
Modèle	3	937.3580	312.4527	9.6450	0,0049
Erreur	8	259.1617	32.3952		
Total corrigé	11	1196.5196			

L'analyse statistique du tableau (22), montre l'existence de deux groupes, Le premier groupe (A) correspond au niveau 2, niveau 3 et le témoin avec les moyennes les plus élevées, le deuxième groupe (B) comprend le niveau 1 avec la plus faible moyenne (26.1471 μ mol/mg MS).

Tableau 22: Test de Newman et Keuls à 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
N2	49,1107	A
N3	46,1618	
Témoin	39,8970	
N1	26,1471	B

3.3. Teneurs en sucres solubles au niveau des racines

Les résultats des teneurs en sucres solubles chez les racines des semis de Pin pignon sont illustrés dans la figure (17). Une augmentation très élevée est obtenue par au niveau 2 de l'ordre 67.63%, suivie par une diminution marquée au niveau 3 de l'ordre -55.81%.

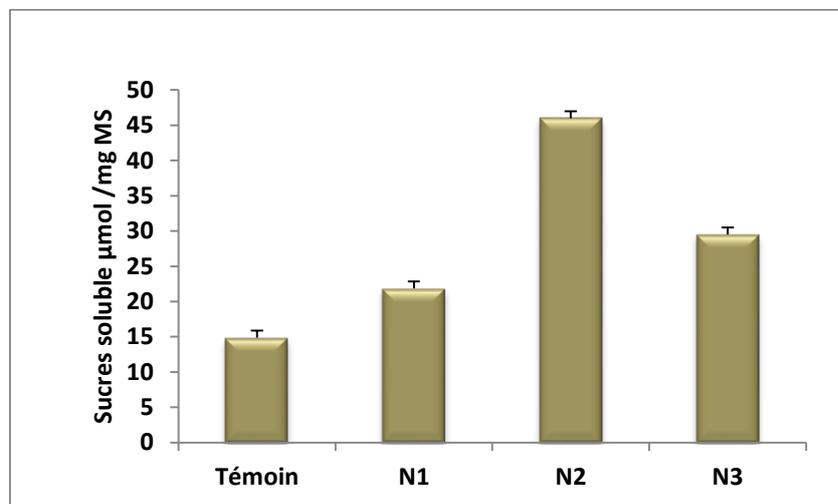


Figure 17. Variation des taux des sucres solubles des racines de *Pinus pinea* Soumis à différents niveaux de stress hydrique.

L'analyse de la variance à deux critères de classification montre qu'il existe des différences très significatives ($p < 0.0001$) entre les traitements appliqués.

Tableau 23 : Analyse de la variance

Source	DDL	SC	MC	F	Pr > F
Modèle	3	1606.0433	535.3478	37.1122	0,0001*
Erreur	8	115.4009	14.4251		
Total corrigé	11	1721.4442			

L'analyse statistique des résultats obtenus indique l'existence de trois groupes dont le niveau 2 occupe le groupe (A) avec la moyenne la plus élevée, le niveau 3 occupe le groupe (B); vient ensuite le groupe (C) qui caractérise le niveau 1 et le témoin avec les moyennes les plus faibles (tableau 24).

Tableau 24 : Test de Newman et Keuls à 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
N2	45,9823	A
N3	29,5114	B
N1	21,8579	C
Témoin	14,8856	

3.4. Variation de la teneur en sucres solubles au niveau de la plante

Les résultats de la figure (18) montrent que les teneurs en sucres sont observées beaucoup plus dans les aiguilles pour tous les niveaux et au niveau 2 pour la plante entière.

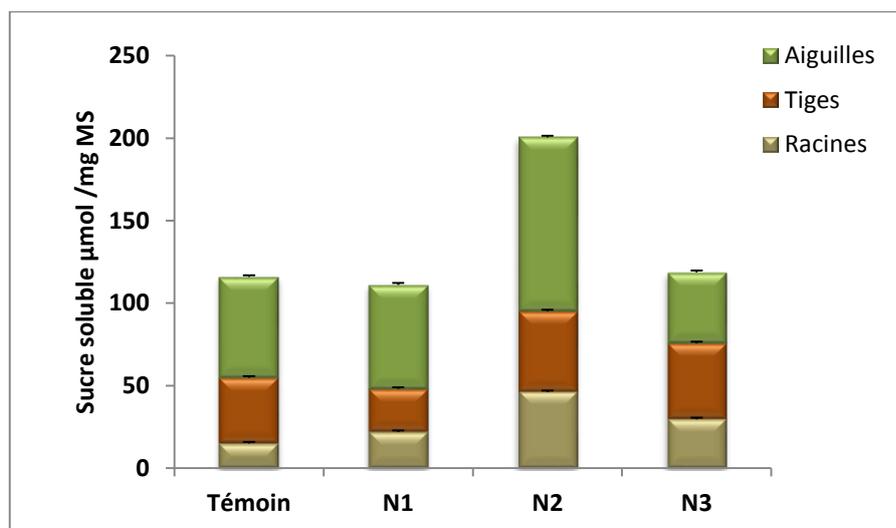


Figure 18. Variation des teneurs en sucres solubles au niveau des différents organes de semis de *Pinus pinea* soumis à différents niveaux de stress hydrique

L'analyse de la variance à deux critères de classification montre qu'il existe des différences très significatives ($p < 0.0001$) entre les organes et entre les différents niveaux de stress (tableau 25).

Tableau 25 : Analyse de la variance

Source	DDL	SC	MC	F	Pr > F
Modèle	3	5485.0601	1828.3534	3.8691	0,0181
Erreur	32	15121.6666	472.5521		
Total corrigé	35	20606.7267			

L'analyse statistique des résultats obtenus montre l'existence de deux groupes homogènes. Le niveau 2 occupe le groupe (A) avec la moyenne la plus élevée et les niveaux 3, 1 et le témoin occupent le groupe (B) avec les moyennes les plus faibles (tableau 26).

Tableau 26 : Test de Newman et Keuls à 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
N2	66,8570	A
N3	39,5814	B
Témoin	38,6375	
N1	37,0615	

4. Corrélation entre les variables étudiés

L'étude des différentes corrélations a pour objet de déterminer d'éventuelles relations entre les différents paramètres physiologiques (figure 19, tableau 27).

Tableau 27 : Matrice de corrélation des principaux paramètres physiologiques mesurés dans les semis de *Pinus pinea* après l'application des différents niveaux de stress hydrique

Variable	Chl.a	Chl.b	Chl (a+b)	ch.a/ch.b	Proline	Sucres
Chl.a	1	0.601	0.866	0.000	-0.167	0.065
Chl.b		1	0.920	-0.778	0.330	-0.700
Chl (a+b)			1	-0.488	0.125	-0.407
ch.a/ch.b				1	-0.337	0.986
Proline					1	-0.200
Sucre						1

Chl .a: Chlorophylle a ; **Chl .b:** Chlorophylle b ; **Chl (a+b):** Chlorophylle totale ; **ch.a/ch.b :** rapport.

Au seuil de 5%, les teneurs en sucres solubles sont positivement corrélées avec celles du rapport ch.a/ch.b ($r = 0.986$), et négativement corrélées avec celles de la chlorophylle b ($r = -0.700$). A l'exception de la proline (pas de corrélation),

Les taux de chlorophylle totale sont positivement corrélés avec les teneurs en chlorophylle a ($r = 0.866$) et avec la chlorophylle b ($r = 0.920$) ; alors que le rapport a/b est négativement corrélé avec la teneur en chlorophylle (b) ($r = -0.778$), tandis que ce dernier est positivement corrélé avec la quantité en chlorophylle (a) ($r = 0.601$).

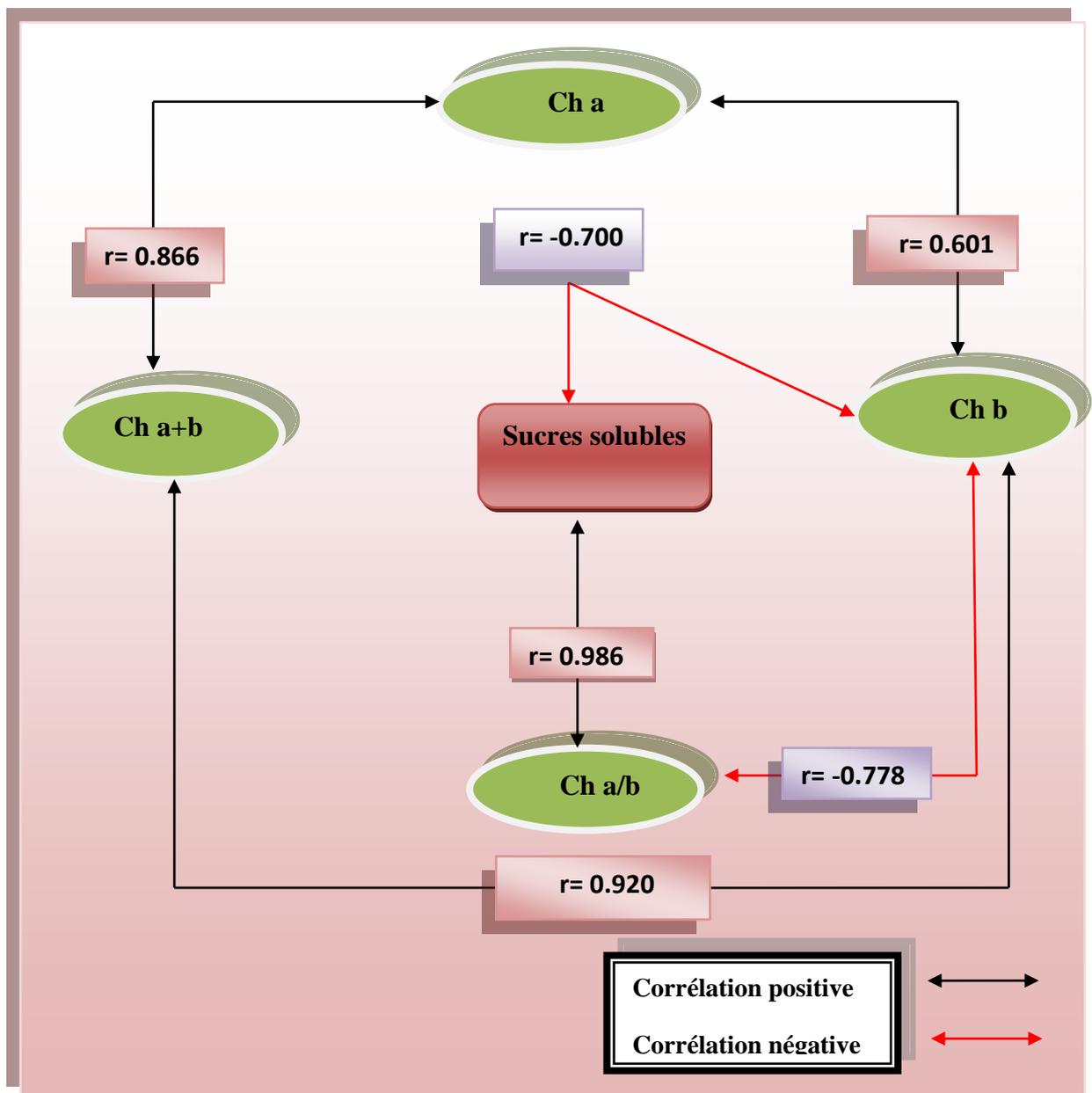


Figure 19. Corrélations entre les paramètres biochimiques de semis de *Pinus pinea*

II. Discussion

Plusieurs études ont montré que, lors d'une contrainte hydrique, les plantes adoptent des stratégies d'adaptation qui diffèrent d'une espèce à une autre et qui font intervenir une large combinaison de facteurs morphologiques, physiologiques et biochimiques (Monneveux et Belhassen, 1997). De ce fait, ces changements imposent la réflexion sur les stratégies à entreprendre pour comprendre les mécanismes mis en jeu par les plantes afin de s'adapter aux nouvelles conditions de l'environnement et de maintenir leur croissance et leur productivité (Belkhodja et Bidai, 2007; Trinchant et *al.* 2004).

Les résultats obtenus, à partir de l'étude des marqueurs biochimiques de résistance chez les semis de *Pinus pinea* soumis aux conditions naturelles et par l'application des traitements hydriques, ont montré que la réponse de cette espèce dépend de deux facteurs : organe et intensité du stress.

Dans notre expérience, les teneurs en proline soumis au stress hydrique manifestent des variations selon le niveau de stress. En effet, elles sont faibles dans les conditions normales mais elles augmentent avec le manque d'eau. Ces résultats sont en accord avec ceux de Monneveux et Nemmar (1986) qui concluent que cette accumulation est très étroitement liée au manque d'eau et aux hautes températures. cette accumulation augmente au début de la période de la contrainte hydrique pour diminuer après quelques jours (Ali Dib et *al.*, 1992).

Nos résultats indiquent que l'accumulation de la proline est plus marquée au niveau des aiguilles et tige, avec une diminution au dernier niveau du stress au niveau des tiges, par contre au niveau des aiguilles et des racines, la diminution est observée au niveau 2 suivie par une légère augmentation au dernier niveau (N3).

Une diminution importante de la chlorophylle a et b est observé durant l'application du stress. Des résultats similaires ont été rapportés chez une clémentine (*Citrus reticulat*) par (Beniken et *al.*, 2013) qui ont noté que la teneur en chlorophylle diminue avec l'intensité du stress hydrique imposé. Pour les teneurs en chlorophylle totale, les résultats obtenus montrent une diminution de l'ordre -46.25% par rapport au témoin, ceci est en accord avec les travaux de Mouellef (2010) qui a travaillé sur la tolérance du blé dur au stress hydrique, qui montre que le taux de la chlorophylle total diminue corrélativement au cours du degré de stress hydrique chez les différents génotypes étudiés. Laala (2009) et Haichour (2009) ont aussi signalé une baisse en teneurs en chlorophylle totale à des températures élevées (44°C).

La chute des teneurs en chlorophylle totale est la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates visant à limiter les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance à l'entrée de CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (Bousba et *al.*, 2009). Tandis que le rapport ch.a/ch.b présente une forte augmentation au niveau 2 de -51.24% suivie par légère diminution au dernier niveau du stress.

Les résultats obtenus avec le SPAD-502Plus qui mesure la teneur de la chlorophylle en Unité Spad, correspondant à une richesse en Azote a donné de mauvais résultats sur le Pin pignon suite à la mauvaise adaptation de la pince sur les aiguilles.

En conditions de stress hydrique, le maintien d'une turgescence élevée au niveau foliaire est souvent lié à la capacité d'ajustement osmotique de la plante (Morgan, 1980).

Nos résultats montrent que les sucres solubles des semis de Pin pignon sont généralement plus présents dans les aiguilles, tige et racines précisément au niveau 2. Cependant, cette teneur diminue à mesure le stress croit et elle est plus marquée au niveau des aiguilles (-59.16%) que les racines (-35.82 %) et les tiges (-6 %).

Un exemple frappant a été observé sur les feuilles de *Craterostigma plantagineum* où le sucre majeur (2-octulose) dans les tissus bien hydratés (représentant 90% des sucres présents) se transforme en saccharose lors d'un stress hydrique. Le saccharose représente alors 40% du poids sec (Bianchi et *al.*, 1991).

Depuis longtemps, il est connu que le taux des sucres augmente considérablement chez des plantes soumises aux différents types de stress ; en effet, cela a été vérifié par Chunyang (2013) chez des arbres d'*Eucalyptus microtheca* sous différents stress hydriques. Les principaux sucres solubles accumulés sous stress sont : le glucose, fructose et le saccharose (Hare et *al.*, 1998) et ces derniers semblent jouer un rôle très important dans le maintien d'une pression de turgescence qui est à la base des différents processus contrôlant la vie d'une plante. L'augmentation de l'accumulation en sucres solubles pourrait avoir un rôle de protection des membranes. La présence de ces sucres solubles en période de chaleur et de sécheresse protégerait les hyaloïdes de l'altération irréversible des membranes et exercerait une action favorable sur la résistance protoplasmique à la sécheresse. (Marguery, 1992) affirme que la température associée à l'insolation, pourrait être un facteur déterminant pour l'accumulation des sucres.

CONCLUSION

Conclusion

Notre travail de recherche a porté sur l'identification de quelques marqueurs biochimiques chez *Pinus pinea*, arbre forestier utilisé depuis l'antiquité en raison de son importante économique, principalement production de bois et de pignons. Cette approche a permis de préciser les variations biochimiques sous la contrainte hydrique par la quantification des teneurs en chlorophylle, en sucres solubles et en proline.

L'effet du stress hydrique est hautement significatif pour ces marqueurs. Nos résultats montrent que les semis de Pin pignon sont aptes à accumuler les différents paramètres biochimiques.

L'accumulation de la proline a été bien marquée au niveau des aiguilles et racines, le niveau 1 indique la réponse rapide et la capacité de résistance de Pin pignon vis-à-vis la contrainte hydrique alors que les tiges marquent une accumulation de la proline au niveau 1 et 2.

Les sucres solubles ont aussi connu une augmentation de leur concentration en réponse au stress hydrique. Cette augmentation est observée au niveau des aiguilles, des racines aux niveaux 1 et 2 et au niveau des tiges pour le niveau 2. Cependant on remarque une diminution pour tous les organes au dernier niveau de stress.

Les teneurs en chlorophylle totale ont révélées des taux de diminution au fur et à mesure que le stress devient sévère. Le rapport ch.a/ch.b augmente au niveau 2.

En conclusion, nous avons constaté que le *Pinus pinea* manifeste effectivement des traits d'adaptation biochimique en réponse au stress hydrique tels que la proline avec une réponse rapide au niveau 1, et les sucres solubles au niveau 2.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

Adili B. (2012). Croissance, fructification et régénération naturelle des peuplements artificiels de pin pignon (*Pinus pinea* L) au Nord de la Tunisie. Thèse de doctorat. Physiologie et génétique moléculaire. Université Carthage, 50p.

Ali Dib T., Monneveux P. et Araus J.L. (1992). Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. Caractères physiologiques d'adaptation. Edit. Agron. Vol. 12, p 381-393.

Araus J.L., Slafer G.A., Reynolds M.P and Royo C. (2002). Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for? *Ann. Bot.*, p 925-940.

Belkhdja M et Bidai Y. (2007). Analyse de la proline pour l'étude de la résistance d'une halophyte *Atriplex halimus* L à la salinité. Laboratoire de Physiologie Végétale. Université d'Oran Algérie, 5p.

Bellinger Y., Bensaoud A et Lahrer P. (1989). Physiological accumulation: a trait of use to breeding for stress tolerance. In ACEVEDO, CONESA, MONNEVEUX & SRIVASTAVA (Eds): Physiology breeding of winter cereals for stressed Mediterranean environments. Colloque n55. Montpellier, France, p 449-458.

BENSEGHIER K et KHAMED O. (2014). Huiles Alimentaire de graines *Pinus pinea* Extraction et Caractérisation physique-chimique. Université Kasdi Merbah. Ouargla Algérie.

Beniken et al. (2013). Evaluation de l'effet du stress hydrique et du porte-greffe sur la clémentine *Citrus reticulata* Swingle var (Sidi Aissa). *Journal of applied Biosciences* 71 : p 5692-5704.

Bianchi G., Gamba A., Murelli C., Salamini F et Bartels D. (1991). Novel carbohydrate metabolism in the resurrection plant *Craterostigma plantagineum*. *Plant J.*, 1 : p 355-365.

Blum A et Ebercon A. (1976). Genotypic responses in sorghum to drought stress. III. Free proline accumulation and drought resistance. *Crop Science*, 428-431.

Bousba R., Ykhlef N et Djekoun A. (2009). Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf). *World journal of Agricultural Sciences* 5.5 : p 609-616.

- Cabanettes A., Rapp M. (1981).** Biomasse, minéralomasse et productivité d'un écosystème à Pins pignons (*Pinus pinea* L.) du littoral méditerranéen. 3. Croissance. *Acta Oecologica*, p 121-136.
- Calama R., Montero G. (2007).** Cone and seed production from stone pin (*Pinus pinea* L.) Stands in Central Range (Spain). *European Journal of Forest Research* 126 : p 23-35.
- Cereve P. (1999).** Mesure de la chlorophylle par fluorimétrie, 60p.
- Chunyang L. (2013).** Differences in drought reponses of three contrasting *Eucalyptus microtheca* F. Muell. populations. Uni of Helsinki. Finland . *Forest Ecology and Management*. 379, p 377-385.
- Ciancio O., Cutini A., Mercurio R., Veracini A. (1986).** Sulla struttura della pineta di pino domestico di Alberese. *Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Arezzo*. 17, p 169-236.
- Coll L. (2003).** Competition for water between beech seedlings and surrounding vegetation in different light and vegetation composition conditions. *Annals of Forest Science*, p593-600.
- Daniel A. (1982).** Forêt méditerranéenne. Université de droit, d'économie et des sciences d'Aix-Marseille, Laboratoire de botanique et écologie méditerranéenne.
- De Philippis A. (1957-58).** Pinete di pino domestico. In *Lezioni di Selvicoltura speciale*. Università di Firenze, p186-197.
- Differt J. (2001).** Phénologie des espèces arborées. Synthèse bibliographique Analyse des données du Réseau National de Suivi à long terme des Ecosystèmes Forestiers.
- Djaziri A. (1971).** Étude stationnelle du Pin pignon en Italie. I.N.R.F., Tunisie. *Variété scientifique*, 94p.
- Dorffling K et Askman A. (1989).** Relationship between frost tolerance and formation of proline, abscisic acid and specific proteins in cold hardned winter wheat (*Triticum aestivum*) varieties. XII Eucarpia Congress, 20p.
- Ernest S. (1987).** Arbres, Arbustes et Arbrisseaux en Algérie. Office des publications Universitaires -Alger, Ed 586, 23p.

- Fady B. (2004).** Euforgen Technical guidelines for genetic conservation and use for Italian stone pine (*Pinus pinea*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 6p.
- Feinbrun N. (1959).** Spontaneous Pineta in the Lebanon. Bulletin of Resources Council of Israel 7: p 132-153.
- Fletcher, A.M. (1992).** Flower, fruit and seed development and morphology. In seed manual for forest trees, A.G.Gordon (ed), London, Forestry Commission, bulletin 83: p 59-70.
- Gonzales-Vasquez E. (1947).** Selvicultura. Libro primero: Fundamentos naturales y especies forestales. Los bosques ibericos. Segunda edic. Editorial Dossat, S. A. Madrid.
- Graumlich L.J. (1993).** Response of tree growth to climatic variation in the mixed conifer and deciduous forests of the upper Great Lakes region. Revue canadienne de recherche foresterie 23 : p 133-143.
- Haichour R. (2009).** Stress thermique et limite écologique du chêne vert en Algérie. Mémoire de Magistère. Université de Constantine, 180p.
- Hansen P. (1967).** 14C-Studies on apple trees. I. The effect of the fruit on the translocation and distribution of photosynthates. *Physiol Plant* ; 20 : p 720-5.
- Hare P.D., Cress W.A et Van Staden J. (1998).** Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant Cell Environ.*, 21 : p535-553.
- Hervé JC., Plaisance I., Loncarek J., Duthe F., Sarrouilhe D. (2004).**
- I.F.N (2008).** Caractéristiques générales de pin pignon. Inventaire forestier national.
- Jones J.R., Qualset C.O. (1984).** Breeding crops for environmental stress tolerance in applications of genetic engineering to trop improvement. Eds. Collins G B. and Petolino J G. Martinus Nijhoff, Junks publishers, p 305-340.
- Kameli A., DM. Losel. (1996).** Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. *New Phytol.*, 132: p 57-62.
- Kerbrat Y. (2001).** Pour quoi les plantes sont –elles vertes ? Article Internet.
- Khaldi A. (2009).** Etude de la croissance et des productions du Pin pignon (*Pinus pinea* L.) en relation avec les facteurs écologiques, sylvicoles et génétiques en Tunisie. Thèse de doctorat. Sciences Agronomiques. Université Carthage.

- Laala A. (2009).** Comportement des soumis de pin d'Alep sous contrainte thermique. Thèse de Magistère, Université de Constantine, 192p.
- Labadie J. (1983).** Étude des exigences écologiques du Pin pignon en région méditerranéenne française. Mémoire 3ème année E.N.I.T.E.F., CEMAGREF. Aix-en Provence.
- Marguery P. (1992).** Contribution à l'étude et à l'amélioration de la croissance du fruit chez le pommier (*Malus domestica* Dork. Cv Golden delicious). Thèse de doctorat. Université d'Amiens, 177p.
- Mercurio R. (1989).** Notes sur la sylviculture du Pin pignon (*Pinus pinea* L.) en Italie. Reunion sobre Selvicultura, Mejora y Produccion de *Pinus pinea*. Session on "Sylvicultural practices on *Pinus pinea* stands. INIA-CEE. Madrid.
- Monneveux P., Belhassen E. (1997).** The siversity of drought adaptation in the wide. *Plant Growth Regulation* 20 : p 85-92.
- Monneveux P., Nemmar M. (1986).** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tender *Triticum aestivum* L. ET chez le blé dur *Triticum durum*, Desf. : Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développemnt. *Agronomie*, p 583-590.
- Mouellef A. (2010).** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Thèse de Magistère. Université de Constantine.
- Mutke S., Gordo J., Climent J., Gil L. (2003).** Shoot growth and phenology modelling of grafted Stone pine (*Pinus pinea* L.) in inner Spain. *Annals of Forest Science* 60: p527-537.
- Orcutt D. M et Nilsen E. (2000).** The physiology of plants under stress. New-York, John Wiley and Sons, Inc, 128p.
- Owens J.N., Molder M. (1984).** The reproductive cycle of lodgepole pine. Province of British Columbia, Ministry of Forests, Inf. Serv. Br., Victoria, 29p.
- Owens J.N., Blake M.D. (1986).** Production de semences forestières. Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forest Service, Information Report. PI-X653F, 177p.
- Passioura J. (2004).** Increasing crop productivity when water is scarce: from breeding to field management. *In proceedings of the 4th International Crop Science Congress "New directions for a diverse planet" Brisbane, Australia.* 12p.

Philipson J.J. (1997). Predicting cone crop potential in conifers by assessment of developing cone buds and cones. *Forestry* 70: p87-90.

Sarvas, R. (1962). Investigations on the flowering and seed crop of *Pinus silvestris* Commun. Institute of For Fenn 53:198 p.

Seigue A. (1985). La forêt Circum méditerranéenne. Technique agricole et production méditerranéenne. Édition maison neuve et la rose 15, rue victor.cousin Paris v.485p.

Tardieu F. (2005). Plant tolerance to water deficit: Physical limits and possibilities for progress. *Geo Sci.*, 337: p 57-67.

Tornatora R. (1887). “Il patrio pino” da sentiment Calabresi in “Rocco Tornatora (1831-1915)”. 1972 Carograf.Reggiocala.

Trinchant JC., Boscari A., Spennato G., Van de Sype G., Le Rudulier D. (2004). Proline Betaine Accumulation and Metabolism in Alfalfa Plants under NaCl Stress. Exploring Its Compartmentalization in Nodules Plant Physiology, Vol. 135: p 1583-94.

Veechi, A. (1980). Les cultures des bois comustibles, les fruits du bouid. 147p.

Wang W.X., Vinocur B., Shaseyov O and Altman A. (2001). Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. *Acta Hort.*, 560: p 285-292.

Witcombe JR., PA. Hollington, CJ. Howarth, S. Reader, KA. Steel. (2009).Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 363: p 703-716.

www.cosmovisions.com/gymnospermesDeveloppemen.htm

RESUME

Résumé

Notre travail consiste à tester le comportement des semis de Pin pignon en conditions de stress hydrique. Quatre niveaux de stress hydrique ont été identifiés correspondant à **100%, 75%, 55%, 35%**.

L'évolution des métabolites biochimiques évalués au niveau des différents organes des semis (Aiguilles, tige, racines) est différente d'un organe à un autre et d'un niveau à un autre.

La proline réagit rapidement au stress hydrique au premier niveau (**75%**), tandis que les sucres solubles réagissent au niveau deux (**55%**), alors que la chlorophylle diminue progressivement au cours du stress.

Les semis de Pin pignon ont montré un dessèchement au niveau des aiguilles par le bas au troisième niveau (**35%**).

Mot clés : Pin pignon, semis, stress, marqueurs biochimiques.

Summary

Our job is to test the behavior of seedlings of Stone pine under water stress conditions. Four water stress levels were identified corresponding to **100 %**, **75 %**, **55%**, **35%**.

The evolution of biochemical metabolites measured at different sowing organs (leaves, stem, root) is different from one organ to another and from one level to another.

Proline reacts quickly to water stress at the first level (**75%**), while the soluble sugars react to two level (**55%**), while the chlorophyll gradually decreases during stress.

Sowing of Stone pine showed a dryness level of the needles from the bottom to the third level (**35%**).

Key words: Stone pine, seedlings, stress, biochemical markers.

الملخص

مهمتنا هي اختبار سلوك شتلات الصنوبر الثمري في ظل ظروف الإجهاد المائي. وقد تم تحديد أربعة مستويات الإجهاد المائي الموافقة 100%، 75%، 55%، 35%. تطور الأيض الكيميائي الحيوي في مختلف أعضاء شتلات الصنوبر الثمري (الإبر ، الجذع والجذور) يختلف عن جهاز إلى آخر ومن مستوى إلى آخر . البرولين يتفاعل بسرعة في الإجهاد المائي في المستوى الأول (75 %) ، في حين تتفاعل السكريات القابلة للذوبان في مستوى الثاني (55 %) ، و تقل كمية الكلوروفيل تدريجيا أثناء الإجهاد . أظهرت بذور الصنوبر الثمري جفاف على مستوى الإبر من أسفل في المستوى الثالث (35 %).

الكلمات المفتاحية: شجرة الصنوبر الثمري ، الشتلات ، الإجهاد ، وعلامات البيوكيميائية.

Année universitaire : 2015/2016

Présenté par : KEROUACHE
Khaoula

MARQUEURS BIOCHIMIQUES DES SEMIS DE PIN PIGNON SOUMIS À LA CONTRAINTÉ HYDRIQUE

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en **Gestion Durable des
Écosystèmes et Protection de L'environnement**

Résumé :

Notre travail consiste à tester le comportement des semis de Pin pignon en conditions de stress hydrique. Quatre niveaux de stress hydrique ont été identifiés correspondant à **100%, 75%, 55%, 35%**.

L'évolution des métabolites biochimiques évalués au niveau des différents organes des semis (Aiguilles, tige, racines) est différente d'un organe à un autre et d'un niveau à un autre.

La proline réagit rapidement au stress hydrique au premier niveau (**75%**), tandis que les sucres solubles réagissent au niveau deux (**55%**), alors que la chlorophylle diminue progressivement au cours du stress.

Les semis de Pin pignon ont montré un dessèchement au niveau des aiguilles par le bas au troisième niveau (**35%**).

Mots clés : Pin pignon, semis, stress, marqueurs biochimiques.

Laboratoire de recherche : Développement et Valorisation des Ressources Phytogénétiques

Jury d'évaluation :

Président du jury : *BAZRI Kamel Eddine* (MCB- UFM Constantine),
Rapporteur : *ALATOU Djamel* (Professeur - UFM Constantine),
Examineur : *ARFA Azzedine Mohamed Touffik* (MAA - UFM Constantine).

Date de soutenance : 19/06/2016