

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**Université Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie**

N° d'ordre :
N° de série :

MEMOIRE

**En vue de l'obtention du diplôme de magistère
en Ecologie et Environnement
Option : Ecologie végétale**

THEME

***Réponses écophysiologicals de trois
espèces forestières du genre
Acacia, Eucalyptus et Schinus
(A. cyanophylla, E. gomphocephala et S. mölle)
soumises à un stress salin***

Présenté par : M^{elle} LEMZERI Houria

Devant le jury :

Président :	Mr. ALATOU D.	Pr. Université Mentouri Constantine
Rapporteur :	Mr. RAHMOUNE C.	Pr. Université Mentouri Constantine
Examineurs:	Mr. TAHAR A.	Pr. Université Badji Mokhtar Annaba
	Mr. BENDERRADJI M.E.H.	Pr. Université Mentouri Constantine

2006/2007

DEDICACE

A la mémoire de mon père

A ma mère

A ma famille

A tous mes amis

A tous mes collègues

REMERCIEMENTS

Tous mes remerciements vont d'abord à Mr le Professeur C. RAHMOUNE, pour avoir accepté de diriger ce travail, qu'il trouve ici, l'expression de ma profonde et sincère reconnaissance, pour tous ses efforts, son savoir, ses critiques constructives, et sa confiance.

Mes sincères remerciements vont à Mr le Professeur Djamel Allatou Professeur à la Faculté des sciences de la Nature et de la Vie, Université Mentouri Constantine de m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury. Qu'il trouve ici tous les respects les plus sincères d'élève à son professeur.

Je remercie pleinement Mr M.H. Bendarradji Professeur à la Faculté des sciences de la Nature et de la Vie, Université Mentouri Constantine de m'avoir fait l'honneur de participer à ce jury. Je le remercie pleinement de tous les efforts qu'il a consacré pour notre formation et notre réussite.

Mes remerciements sont à adresser à Mr Tahar Ali, Professeur à la Faculté des Sciences à l'Université d'Annaba, pour avoir accepté de participer au jury. Je le remercie pour les efforts qu'il a consacré pour notre formation en statistiques. C'est avec sincérité que j'exprime ma pleine gratitude vue l'importance de ces instructions pour l'élaboration de ce travail.

Mes vifs remerciements vont également à Mr M'barek Ben Nacer, Professeur à l'Institut de Recherches Agronomiques de Tunis, responsable du laboratoire de Biotechnologie et Stress Salin, de m'avoir accordé la chance de travailler au sein de son laboratoire, parmi son équipe de recherche, et d'être bénéficiaire de son savoir, de son expérience, et de ses instructions constructives. Il m'est agréable de lui exprimer ma pleine gratitude pour sa simplicité et sa générosité, preuve de sa qualité humaine et de son honnêteté scientifique.

Il m'est agréable aussi d'exprimer mes remerciements à tous mes amis du laboratoire de biotechnologie et stress salin de Tunis, Cheikh'mhamed Hatem et Nadgiba, Je suis très sensible à leur accueil chaleureux, à leur générosité et à tous le confort qu'ils m'ont assuré pendant mon séjour à Tunis. J'exprime aussi ma reconnaissance à tout le personnel du laboratoire pour leur orientation et conseils.

Mes remerciements spéciaux vont à tout mes amis et collègues.

الملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير الملوحة على رد فعل شجرة الأقاتيا، (*Acacia cyanophylla*)، شجرة الكافور (*Eucalyptus gomphocephala*) و شجرة الفلفل رفيع الاوراق (*Schinus môle*) باستخلاص بعض المؤشرات المرفولوجية و الفيزيولوجية المتدخلة في قابلية النباتات لمقاومة الملوحة وذلك بعد معالجة مياه السقي بكلوريد الصوديوم ، تحت ظروف شبه نظامية. من أجل استعمال المياه المالحة لري المساحات الخضراء، الاختبارات ركزت على تحديد مستويات اليخضور أ و ب و اليخضور الكلي، مستوى الحمض الأميني برولين، مستوى السكريات الذائبة و أنزيمات الأكسدة بروكسيداز باستعمال مؤكسد عالمي هو (guaiacol).

أوضحت النتائج أن رد فعل هذه الأشجار كان مختلفا من صنف إلى آخر و كان متعلقا بشدة الملوحة. أوضحت النتائج أيضا أن هذه النباتات تتحمل الملوحة و هذا التحمل كان مصحوبا بتراكم معتبر للسكريات عند الاقافيا والكافوراما بالنسبة للبرولين فالصنفين يفقدان معدلات هامة. أما الفلفل رفيع الاوراق فالتحمل كان مصحوبا فقط بتراكم للبرولين. بالنسبة لمركب اليخضور فالتأثير كان واضحا من خلال تضم مستوياته في الأصناف الثلاثة فقد لاحظنا أن شجرة الفلفل رفيع الاوراق هي المحتوية على أكبر نسب. هذا المركب جد حساس اتجاه الملوحة. أما بالنسبة لنشاط الأنزيمات فكانت عند الأصناف الثلاثة تزداد شدتها مع ازدياد شدة الإجهاد إلا في حالة الإجهاد المكثف أين ثبتت هذه الفعالية. على مستوى النمو أوضحت النتائج أن الإجهاد يؤثر سلبا على هذا المؤشر و أحسن النتائج تحصلنا عليها كانت في حالة الإجهاد المتوسط. الجذور أكثر مقاومة لهذا الإجهاد بالنسبة للأصناف الثلاثة باعتبار نسب الطول و الكتلة للجذر و الجهاز الخضري. كخلاصة يمكننا القول أن هذه الأشجار تتحمل درجة عالية من الملوحة و تتأقلم في الأوساط الحضرية لكن ذلك يجب أن يكون مرتبطا بكيفية معالجتها في المشاتل،

الكلمات المفتاحية: الملوحة، الأقاتيا، الكافور ، الفلفل رفيع الاوراق، ، التشجير الحضري ، المساحات الخضراء، المعايير المورفوفيزيولوجية، البرولين، السكريات، الانزيمات، اليخضور، مساحة الاوراق.

Résumé

Les mécanismes de réponse aux stress, font intervenir un certain nombre de réactions au sein de ce processus physiologique. Chez les plantes, ces différentes étapes correspondent à la perception et la reconnaissance du stress, la transduction du signal qui en résulte à l'intérieur de la cellule, l'amplification de ce signal, la modification de l'expression de certains gènes et la production de molécules impliquées dans le rétablissement de l'homeostasie cellulaire. La chlorophylle, les molécules d'osmorégulation et les enzymes impliquées dans cette cascade de réactions peuvent être considérées comme des marqueurs de la réponse au stress salin.

Pour mettre en évidence les potentialités d'adaptation de *Schinus molle*, *Acacia cyanophylla*, et *Eucalyptus gomphocephala* en milieu urbain perturbé par une contrainte saline, un stress salin était induit par l'application de différentes doses de NaCl en phase de croissance (témoin, 4g/l, 8g/l, 12g/l et 16g/l), en conditions semi-contrôlées.

La tolérance de ces espèces a été étudiée par la capacité de développement. En effet, la hauteur moyenne des tiges, la longueur racinaire, la biomasse sèche aérienne et racinaire, leurs rapports respectives et la surface foliaire à la fin de l'expérience varient en fonction du niveau de stress salin. Nos résultats montrent que la partie aérienne est plus sensible à l'effet de stress salin que la partie racinaire.

Nos résultats ont montré aussi que sous une contrainte saline il y a une réponse d'enzymes antioxydantes initiée par les peroxydases. Cela indiquerait l'installation d'un état de stress oxydatif induit par le (NaCl) chez les plantes testées au niveau des différents organes. Si nous comparons l'ampleur du stress oxydatif dans les différents organes nous remarquons qu'elle est plus importante au niveau du système racinaire qu'au niveau des organes aériens. L'accumulation des osmorégulateurs varie d'une espèce à l'autre. À savoir la proline libre et les sucres solubles. La dégradation des pigments chlorophylliens est corrélée à l'intensité du stress et à la nature de chaque espèce; *Schinus molle* présente les teneurs les plus élevées. Le comportement de ces espèces en milieu salin est satisfaisant, en milieu urbain cela dépendrait de leur acclimatation en pépinières.

Mots clés : Salinité, *Schinus molle*, *Acacia cyanophylla*, *Eucalyptus gomphocephala*, longueur tige, longueur racine, biomasse, surface foliaire, Chlorophylle, proline, sucres solubles, peroxydases, foresterie urbaine

ABSTRACT

The essential of this research was about the survey of the existing possibilities to improve the management of water thanks to an efficient use of resources in salt water, before this situation, the mobilization of the saline waters imposes the identification of the plants imperatively capable to valorize these waters in urban forestry. To identify molecular markers of stress response induced by salt, five treatment were administered (0, 4g/l, 8g/l, 12g/l, and 16g/l NaCl) during the vegetative period. A comparative analysis of salt responses in the *Schinus mölle*, *Acacia cyanophylla* and *Eucalyptus gomphocephala* were investigated for better understanding strategies of salt tolerance. Plant growth was affected by the highest NaCl concentration. Significant differences ion terms of reductions in dry weight, length and area of leaves.

The root were the less affected compared with the vegetative part. Free praline was more specific to the sensitive species. Soluble sugars content increase over control indicating their osmo-protective role and a decrease of their chlorophyll pigments content. The plants have a considerable genetic potential for the tolerance of the environmental stress but with different degrees of sensitivity, it is this variability for tolerance to the stress that permits to consider the choice of the cash opposite the conditions of the surroundings. In this context, our choice has been carried on three gases: *Acacia cyanophylla*, *Eucalyptus gomphocephala* and *Schinus mölle*. Which have an acceptable resistance of salt stress, by the action of there anti oxydative enzyme system, nerveless it has a reduction in there growth and the increase of organic solutes (proline, soluble sugar).

Key words : Salt stress, urban forestry, proline, soluble sugar, peroxydase, chlorophyll, *Acacia cyanophylla*, *Eucalyptus gomphocephala*, *Schinus mölle*, Urban forestry.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Plantations d'arbres à objectifs multiples: caractéristiques principales à considérer

Tableau 2 : Qualités souhaitables pour un arbre d'alignement: deux points de vue opposés

Tableau 3 : Conditions de site communes aux environnements urbains et qualités correspondantes des arbres à y planter

Tableau 4 : Estimations de la tolérance à la salinité des plantes d'alignements et de jardins.

Tableau 5 : Analyses chimiques des parties vertes de *l'Acacia cyanophylla*

Tableau 6 : Production de *l'Acacia cyanophylla*

Tableau 7 : Comportement de quelques espèces d'Eucalyptus dans l'Oranie en étage semi-aride froid.

Tableau 8: Classification des sols salins et sodiques

Tableau 9 : Les composés osmoprotecteurs accumulés chez les plantes en conditions de stress salin et hydrique (Sairam et Tyagi, 2004).

Tableau 10 : Caractéristiques de la chambre de culture

Tableau 11 : Composition physico-chimique et caractérisation du substrat

Tableau 12 : Effet des différents traitements salins sur la variation de la biomasse sèche aérienne et souterraine par rapport à la biomasse sèche totale et par rapport à la biomasse sèche du témoin chez *Schinus mölle*

Tableau 13: Effet des différents traitements salins sur la variation de la biomasse sèche aérienne et souterraine par rapport à la biomasse sèche totale et par rapport à la biomasse sèche du témoin chez *Acacia cyanophylla*

Tableau 14: Effet des différents traitements salins sur la variation de la biomasse sèche aérienne et souterraine par rapport à la biomasse sèche totale et par rapport à la biomasse sèche du témoin chez *Eucalyptus gomphocephala*

Tableau 15: Taux de variation de la surface foliaire chez *Schinus mölle* en fonction de l'intensité du stress salin

Tableau 16: Taux de variation de la surface foliaire chez *l'Acacia cyanophylla* en fonction de l'intensité du stress salin

Tableau 17 Taux de variation de la surface foliaire chez *l'Eucalyptus gomphocephala* en fonction de l'intensité du stress salin

Tableau 18 Taux de variation de la chlorophylle (a + b) selon l'intensité du stress salin et par rapport au témoin

Tableau 19: Taux de variation des sucres solubles selon l'intensité du stress salin et par rapport au témoin

Tableau 20: Taux de variation de la proline selon l'intensité du stress salin

Tableau 21 : Taux de variation de l'activité des peroxydases selon l'intensité du stress salin et par rapport au témoin

Liste des figures

Figure 1 : Comportement moyen de quelques espèces d'Eucalyptus sans tenir compte des effets de provenances (d'après l'AFOCEL in Alexandrien, 1992)

Figure 2 : Signaux calciques transitoires après perception du signal de stress

Figure 3 : Régulation de l'homéostasie ionique suivant un stress salin d'après (Chinnusamy *et al.*, 2004 in Vincent, 2006). Les flèches indiquent une régulation positive, les traits une régulation négative. SOS ; Salt Overly Sensitive, NHX ; échangeurs Na⁺/H⁺ vacuolaire, HTK1 ; Histidine Kinase.

Figure 4 : Production et effets des EAO au cours de l'attaque par un pathogène (a) ou en condition de stress abiotique (b) (d'après Appel *et al.*, 2004 cité par Vincent, 2006).

Figure 5 : Représentation générale de la réponse au stress chez les plantes (d'après Wang *et al.*, 2003)

Figure 6 : (Sairam et Tyagi, 2004).

Figure 7 : Schéma du dispositif expérimental

Figure 8: Courbe d'étalonnage des protéines

Figure 9: Courbe de la densité optique de l'extrait enzymatique à la longueur d'onde 470 nm en fonction du temps

Figure 10 : Longueur de la partie aérienne et des racines de *Schinus mölle* en fonction de l'intensité du stress salin

Figure 11 : Longueur de la partie aérienne et racinaire d'*Acacia cyanophylla* en fonction de l'intensité du stress salin

Figure 12: Longueur de la partie aérienne et des racines d'*Eucalyptus gomphocephala* en fonction de l'intensité du stress salin

Figure 13: Rapport en longueur LR/LT de *Schinus mölle*

Figure 14 : Rapport en longueur L R /LT d'*Acacia cyanophylla*

Figure 15 : Rapport en longueur L R /LT d'*Eucalyptus gomphocephala*

Figure 16 : Poids sec de la partie aérienne et des racines de *Schinus mölle*

Figure 17 : Poids sec de la partie aérienne et des racines d'*Acacia cyanophylla*

Figure 18 : Poids sec de la partie aérienne et des racines d'*Eucalyptus gomphocephala*

Figure 19 : Rapport de biomasses PSR/PSA chez *Schinus mölle*

Figure 20 : Rapport de biomasses PSR/PSA chez *Acacia cyanophylla*

Figure 21: Rapport de biomasses PSR/PSA chez *Eucalyptus gomphocephala*

Figure 22: Evolution de la surface foliaire en fonction de l'intensité du stress salin chez les espèces étudiées

Figure 23 : Teneurs en chlorophylles chez *Schinus mölle* en fonction de l'intensité du stress salin

Figure 24 : Teneurs en chlorophylles chez l'*Acacia cyanophylla* en fonction de l'intensité du stress salin

Figure 25 : Teneurs en chlorophylles chez l'*Eucalyptus gomphocephala* en fonction de l'intensité du stress salin

Figure 26: Teneurs en chlorophylles totales chez les trois espèces en fonction de l'intensité du stress salin

Figure 27: Rapport *a/b* chez *Schinus mölle*

Figure 28: Rapport *cha/chb* chez *Acacia cyanophylla*

Figure 29: Rapport *cha/chb* chez *Eucalyptus gomphocephala*

Figure 30: Teneurs en sucres solubles chez *Schinus mölle*

Figure 31 : Teneurs en sucres solubles chez l'*Acacia cyanophylla*

Figure 32 : Teneurs en sucres solubles chez l'*Eucalyptus gomphocephala*

Figure 33 : Teneurs foliaires en proline chez *Schinus mölle*

Figure 34 : Teneurs foliaires en proline chez l'*Acacia cyanophylla*

Figure 35: Teneurs foliaires en proline chez l'*Eucalyptus gomphocephala*

Figure 36 : Activité des peroxydases au niveau des feuilles et des racines de *Schinus mölle*

Figure 37 : Activité des peroxydases au niveau des feuilles et des racines de l'*Acacia cyanophylla* en fonction de l'intensité du stress salin

Figure 38 : Activité des peroxydases au niveau des feuilles et des racines

Liste des photos

Photo 1 : *Acacia cyanophylla* (<http://www.plantencyclo.com/>)

Photo 2 : *Eucalyptus gomphocephala* (<http://www.plantencyclo.com/>)

Photo 3 : *Schinus molle* (<http://www.plantencyclo.com/>)

Photo 4 : Comparaison des plants de *Schinus molle* selon les différents traitements

Photo 5 : Comparaison des plants d'*Acacia cyanophylla* selon les différents traitements

Photo 6 : Comparaison des plants d'*Eucalyptus gomphocephala* selon les différents traitements

RESUME EN ARABE
RESUME EN FRANÇAIS
RESUME EN ANGLAIS
LISTE DES TABLEAUX
LISTE DES FIGURES
LISTE DES PHOTOS

SOMMAIRE

Introduction	1
Partie I : Synthèse bibliographique	
Chapitre I : La foresterie urbaine.....	3
I-1- Introduction.....	3
I- 2 Notions et définitions de foresterie urbaine	4
I- 3 Avantages et problèmes potentiels.....	4
I- 3-1 Bois d'œuvre, bois de feu et poteaux.....	4
I-3-2 Pâturage et fourrage pour le bétail.....	5
I-3-3 Epices, fibres, médicaments et produits autres que le bois.....	5
I-3-4 Avantages environnementaux.....	5
I-3-5 Problèmes potentiels.....	10
I-4 Plantation et gestion des arbres.....	11
I-4-1 La mise en place des arbres.....	11
I-4-2 Conditions du site.....	14

I-4-3 Planification et conception du paysage.....	15
Chapitre II : Monographie des espèces étudiées.....	18
II-1- Description du genre Acacia.....	18
II-1-1 L'Acacia cyanophylla.....	19
II-2 Les Eucalyptus.....	22
II-3 Schinus môle.....	29
Chapitre III : Le stress	31
III -1Le stress	31
Introduction.....	31
III-1-1 Perception du stress.....	31
III-1-2 Transduction du signal.....	32
III-1-2-1 Le calcium.....	33
III-1-2-2 la voie SOS.....	34
III-1-2-3 Les protéines Kinases du calcium (CDPKs).....	35
III-1-2-4 Les voies des MAPKinase.....	35
III-1-2-5 Les phospholipases.....	36
III-1-3 Les modifications transcriptionnelles dépendantes suite aux signaux de stress, acteurs de régulation.....	36
III-1-4 Expression de protéines responsables de la résistance au stress.....	37
III-1-5 Les EAO (espèces activées de l'oxygène).....	37
III-2 Comportement des végétaux vis-à-vis d'un stress salin.....	40
Introduction.....	40
III-2-1 Actions Métaboliques du sel.....	42

III-2-2-Action sur l'absorption.....	43
III-2-3 Action sur la translocation	44
III-2-4 Actions sur le métabolisme cellulaire	46
III-2-5 Effets de la salinité sur la photosynthèse.....	46
III-2-6 Action du sel sur la croissance et le développement.....	47
III-2-7 Mécanismes de toxicité du chlorure de sodium.....	49
III-2-7-1 Stress osmotique	49
III-2-7-2 Stress ionique.....	50
III-2-7-3 Stress secondaires.....	50
III-2-7-3-1 Le stress oxydant.....	51
III-2-7-3-2 Les composés réduits de l'oxygène	52
III-2-7-3-3 Formation des espèces réactives à l'oxygène et effets chez les végétaux.....	52
III-2-7-3-4 Les marqueurs d'un stress oxydant.....	53
III-2-7-3-5 Les mécanismes de défense anti-oxydatifs.....	54
III-2-8 Critères écophysologiques de tolérance des plantes à la salinité.....	56
III-2-8-1 Vitesse d'influx des ions	57
III-2-8-2 Vitesse d'efflux des ions	57
III-2-8-3 Critères de sélection.....	58
III-2-8-4 Ajustement osmotique et solutés compatibles dans les plantes.....	60

Partie II : Matériels et méthodes

Introduction.....	63
1- Protocole expérimental	63
1-1-Conditions de culture	63
1-2 Dispositif expérimental.....	64
2- Paramètres mesurés	65
2-1- Paramètres morphologiques	65
2-2 Paramètres physiologiques.....	66
2-2- 1 Activité des peroxydases.....	66
2-2-2 Dosage de la proline.....	70
2-2-3 Dosage de la chlorophylle	70
2-2-4 Dosage des sucres solubles.....	71
2-2-5 Analyse statistique.....	71

PARTIE III : Résultats et discussions

Chapitre 1 : Paramètres biométriques	72
1-1 Longueur de la tige.....	74
1-2 Longueur de La racine	75
1-3 Rapport en longueur partie souterraine / partie aérienne.....	77
1-4 Biomasse de la partie aérienne et racinaire.....	79
1-5 Rapport de biomasse.....	84
1-6 La surface foliaire	86
Discussion	89
Chapitre 2 : Paramètres physiologiques	97
2-1 Teneur en chlorophylle.....	97
2-2 Teneurs en sucres solubles.....	105
2-3 Teneurs en proline.....	108
2-4Activité des peroxydases.....	112
Discussion.....	116
Conclusion et perspectives.....	125
Bibliographie.....	127

Annexes

Introduction

La rareté de l'eau en Algérie est une donnée admise, mais la quantité des eaux souterraines salées est relativement abondante. Le recours à l'eau salée et légèrement salée est l'une des solutions pour confronter la pénurie critique de cette ressource vitale.

C'est un fait que dans de nombreuses zones urbaines l'espace destiné à la plantation d'arbres est très limité. Ce qu'il faudrait c'est maximiser l'utilisation de l'espace disponible. En Algérie, la plupart des espaces verts et d'arbres d'alignement datent de l'époque coloniale, actuellement de nouvelles plantations sont réalisées mais le taux d'échec est très élevé, surtout dans les régions les plus défavorables.

Des problèmes écologiques d'une énorme portée se manifestent de manière croissante dans de nombreuses zones urbaines des pays en développement. La notion de foresterie urbaine n'est pas neuve et ses possibilités d'expansion vont en augmentant, notamment dans ces pays où l'urbanisation croît à un taux accéléré. Les arbres urbains ont de nombreux avantages pour les conditions de vie des villes du tiers monde et de leurs alentours et pourraient en apporter encore davantage.

Le présent travail passe en revue le problème majeur dans la gestion de la foresterie urbaine qui est la disponibilité de l'eau et de sa qualité. Peu d'informations sont disponibles sur la tolérance à la salinité des plantes urbaines. Dans cette étude il ne s'agit pas de mettre en cause l'opportunité d'utiliser l'eau saumâtre ou salée pour l'irrigation mais de rechercher comment utiliser au mieux cette "technologie" de manière durable afin de limiter le plus possible les conséquences nocives. Le rôle que pourrait jouer les arbres urbains pour améliorer cette situation paraît, à première vue, très limité. Et pourtant la foresterie urbaine est à même d'offrir des avantages écologiques et matériels considérables.

L'essentiel de cette recherche a porté sur l'étude des possibilités existantes pour améliorer la gestion de l'eau grâce à une utilisation efficace des ressources en eau salée ; devant cette situation, la mobilisation des eaux salines impose impérativement l'identification des plantes capables de valoriser ces eaux en foresterie urbaine.

Les possibilités de la foresterie dans les agglomérations urbaines ou aux alentours peuvent être analysées à partir de deux perspectives générales. L'une consiste à mettre l'accent sur les arbres eux-mêmes, les bienfaits et problèmes potentiels que l'on peut attendre de leur culture dans un environnement urbain, la manière de les aménager pour améliorer ces bienfaits, et les menaces qui pèsent sur leur survie dans un milieu citadin.

Vu que les végétaux ont un potentiel génétique considérable pour la tolérance aux stress environnementaux, mais avec différents degrés de sensibilité, nous nous intéressons à cette variabilité pour la tolérance au stress qui nous permet d'envisager le choix des espèces vis-à-vis des conditions du milieu. Dans ce contexte, notre choix a été porté sur trois essences: *Acacia cyanophylla*, *Eucalyptus gomphocephala* et *Schinus mölle*, des espèces exotiques, choisie en fonction de l'intérêt qu'elles présentent dans la foresterie urbaine en Algérie et les plantations d'ornement et d'alignement ; elles ont une valeur à la fois esthétique, économique et écologique.

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre I : La foresterie urbaine

I-1- Introduction :

Les conditions d'un site urbain sont extrêmement complexes et la réaction des arbres à cet environnement est généralement mal connue même dans des pays, comme l'Amérique du nord, qui ont conduit une intense recherche en la matière (Dirk et Nico., 2000 in FAO, 2001). En milieu urbain les dangers potentiels posés sont la salinité et la pénurie de l'eau. À ce jour, pour augmenter l'usage d'eau recyclée pour l'irrigation urbaine, seulement un nombre très limité de plantes urbaines a été étudié sur le plan de tolérance à la salinité (Cabrera, 2001 et 2003, Miyamoto *et al.*, 2004 in Niu, 2004). En règle générale, les arbres d'alignement ne sont pas arrosés. Selon une étude réalisée par Clark et Kjelgren, (1990 in FAO, 1995), les réactions des arbres à la pénurie d'eau peuvent être groupées en deux grandes stratégies (adaptation ou acclimatation), qui entraînent une série de mécanismes visant soit à maximiser l'absorption de l'eau soit à en limiter la perte. Cependant, il n'est pas encore déterminé quelle catégorie qui convient le mieux à une situation urbaine car les essences qui s'adaptent bien au milieu citadin appartiennent à toutes les deux.

Dans les pays en développement, rares sont les études scientifiques qui ont été conduites sur les réactions de différentes espèces ou provenances à des conditions données du milieu urbain. Cependant, les enquêtes réalisées sur les arbres existants en ville peuvent fournir un grand nombre d'informations et donner des indications sur l'opportunité de planter une certaine essence dans un milieu urbain désigné (Jim, 1990a in FAO, 1995).

En Algérie et selon la circulaire inter-ministérielle du 31 octobre 1984 adressé aux chefs lieu de daïra et aux présidents d'APC, cette superficie est de 1.5m^2 / habitant qui est très loin de la superficie recommandée (Alatou *et al.*, 2001).

Le manque de connaissances sur la capacité des essences à s'adapter aux conditions urbaines fait que la tendance à accepter les espèces habituelles s'ancre inexorablement. Le manque d'une recherche locale efficace en matière d'arboriculture piège les exécutants dans un conservatisme à circuit fermé (FAO, 2001).

I- 2 Notions et définitions de foresterie urbaine :

La notion de foresterie urbaine est née en Amérique du nord à la fin des années 1960, issue de ce qui était désigné initialement comme foresterie environnementale. La foresterie urbaine est définie comme l'approche planifiée, intégrée et systématique de l'aménagement des arbres en milieu urbain et périurbain, réalisée de manière à ce qu'ils contribuent au bien-être physiologique, sociologique et économique de la société urbaine. La foresterie urbaine revêt de multiples aspects ; elle concerne les terres boisées, les groupes d'arbres et les arbres isolés dans des lieux à densité démographique élevée, Une grande variété d'habitats (rues, parcs, coins délaissés, etc.) et une gamme étendue d'avantages et de problèmes (FAO, 1995).

I- 3 Avantages et problèmes potentiels

Les arbres qui poussent dans les zones urbaines apportent une gamme très variée d'avantages mais aussi de préoccupations. L'exploitation d'un arbre en vue d'un objectif donné peut être jugée par quelques-uns comme un inconvénient.

Contrairement aux arbres urbains des pays développés, ceux des pays en développement fournissent une grande variété de produits qui sont consommés par les citoyens pour satisfaire leurs besoins de subsistance et créer des revenus. L'importance et les possibilités des arbres à cet égard varient largement d'un pays à un autre, voire d'une agglomération à une autre (FAO, 1995 ; Buckstrup *et al.*, 2003 ; Spennemann *et al.*, 2004).

I- 3-1 Bois d'œuvre, bois de feu et poteaux

Autour de certaines villes du tiers monde, les forêts naturelles se sont souvent dégradées à tel point que la seule option qui reste est de les replanter avec des essences pouvant survivre et se développer dans des terrains très pauvres. Le besoin immédiat de bois de feu et de construction peut aussi justifier le choix d'essences à croissance rapide. Le combustible ligneux provient en grande partie de zones péri-urbaines.

Ces plantations montrent comment les Eucalyptus peuvent devenir une source très importante de bois. Au premier abord, les possibilités de satisfaire les besoins en bois à partir de la ville ou de ses alentours immédiats peuvent paraître médiocres. Cependant, il y a certains exemples, du moins dans les zones péri-urbaines. Dans la ville de Baltimore au Maryland, ils cultivent le paulownia pour l'exporter au Japon comme bois de placage. Au Royaume-Uni les spécialistes de foresterie urbaine étudient activement les moyens d'utiliser les diverses essences exotiques qui

poussent dans les zones urbaines comme source de bois pour l'artisanat et les usages spécialisés lorsque leur coupe est prescrite.

Dans une grande partie de l'Europe, les forêts péri-urbaines qui servent principalement à des fins de loisir, sont également aménagées pour une production limitée de bois (FAO, 1995). En ce qui concerne les matériaux de construction, les forêts et plantations péri-urbaines des pays en développement sont exploitées pour en tirer du bois de trituration, de placage, poteaux...etc, plutôt que du bois de qualité (Cas de la forêt péri-urbaine d'El Hamma à Constantine).

I- 3-2 Pâturage et fourrage pour le bétail

Dans beaucoup de pays en développement les arbres représentent une importante source de fourrage, notamment pendant la saison sèche lorsque la végétation au niveau du sol est rare et les résidus agricoles diminuent. L'élevage du bétail est une pratique courante dans de nombreuses villes de certains pays du tiers monde, comme l'observe Smit, (1992) in (FAO, 1995).

I-3-3 Epices, fibres, médicaments et produits autres que le bois

Comme pour les arbres fruitiers, les arbres qui produisent des épices, ont des propriétés pharmaceutiques, donnent des fibres ou servent à d'autres fins sont rarement cultivés sur des terrains publics . C'est dans les jardins particuliers des villes du tiers monde qu'on cultive couramment des arbres prises pour leurs épices, fibres, champignons, parfums, matières premières pour l'artisanat, teintures, etc.

Sur les 93 espèces de plantes médicinales rencontrées dans les jardins urbains de Fidji, Tonga, Kiribati et Nauru, 55% étaient des arbres et 10% des arbustes ligneux Thaman, (1987) in (FAO, 1995). Dans les villes du monde développé, on ne plante pas souvent des arbres producteurs d'aliments dans les lieux publics, bien qu'à Beijing les kakis et les noyers poussent dans les parcs, et qu'à Singapour l'office du logement encourage la plantation d'arbres fruitiers dans les lotissements au profit des personnes âgées. Dans de nombreuses régions d'Asie, d'Afrique et d'Amérique latine, la culture d'arbres fruitiers par les citoyens est une activité aussi bien traditionnelle qu'encouragée par les programmes forestiers (FAO, 1995 ; Buckstrup *et al.*, 2003).

I-3-4 Avantages environnementaux

Vu l'ampleur des problèmes de l'environnement dans certaines villes du tiers monde, on pourrait être porté à sous-estimer l'importance de l'arboriculture. Dans de nombreux cas, il est très probable que le manque d'espace et de terre représente un facteur de contrainte.

I-3-4-1 Valorisation du paysage

On cultive depuis bien longtemps des arbres dans les agglomérations urbaines dans le but d'améliorer l'aspect. Les arbres non seulement donnent de l'originalité et de la variété aux paysages urbains grâce à leurs différents feuillages, fleurs, leur taille, couleurs et silhouettes, mais ils peuvent améliorer le milieu de vie en atténuant l'éclat de la lumière et les reflets. Ils peuvent aussi conférer plus de cohérence à un paysage urbain en complétant son architecture (FAO, 1995 ; FAO, 2001 ; Buckstrup *et al.*, 2003 ; Spennemann *et al.*, 2004).

I-3-4-2 Valeur éducative

Les parcs urbains, notamment les jardins botaniques avec leur riche collection d'arbres et de plantes, ont un énorme potentiel éducatif. S'il est vrai que ce potentiel a été exploité plus largement dans les pays développés, il ne se limite aucunement à ceux-ci. (Carter, 1992b in FAO, 1995 ; Buckstrup *et al.*, 2003).

I-3-4-3 Un sentiment de bien-être et confort humain

Dans les pays développés et en développement les parcs urbains et les forêts péri-urbaines sont d'importantes aires de loisir. Il est prouvé qu'un paysage agrémenté d'arbres suscite chez certaines personnes un sentiment de bien-être.

Selon (Ulrich, 1990 in FAO, 1995 ; Buckstrup *et al.*, 2003 ; Spennemann *et al.*, 2004), l'expérience passive représentée par l'observation des arbres produit des effets positifs aussi bien psychologiques que physiologiques. Les études montrent que les moments passés au grand air ont une fonction curative réelle pour les patients et les résidents des hôpitaux, des hospices de vieillards et des maisons de repos. Les individus étaient plus heureux, dormaient mieux, avaient besoin de moins de médicaments, étaient moins agités et beaucoup plus loquaces (Nilsson et Randrup, 1997).

La principale contribution des arbres au confort humain, dans les pays chauds, est sans doute la fourniture directe et indirecte d'ombre (couverture des surfaces qui reflètent la chaleur). Ils assurent aussi une protection contre les fortes précipitations. Lorsqu'ils font l'objet d'une planification soignée, les arbres peuvent également contribuer à améliorer le confort humain dans les zones urbaines en orientant les mouvements de l'air. Une rangée d'arbres, par exemple, peut bloquer, guider ou dévier un courant d'air alors qu'un couvert arboré même d'une densité moyenne ou faible peut filtrer ce courant. Certains observateurs ont assuré que les arbres augmentent l'humidité et les précipitations, mais selon Miller, (1988, in FAO, 1995), ils n'ont pas d'effets mesurables sur l'humidité relative du milieu urbain.

Il existe, autour de nombreuses villes des zones arides, de grandes étendues de terres salines peu attrayantes qui sont source de poussière emportée par le vent sur la ville. Les problèmes de poussière se posent également dans des zones telles que les terrains d'aéroport, les emprises de routes et les franges des projets d'irrigation.

Les *Atriplex cinerea*, constituent un moyen possible d'éviter la poussière et d'améliorer à la fois les conditions d'existence et l'esthétique du lieu (FAO, 1992).

I-3-4-4 Un habitat pour la faune sauvage

Les jardins et les parcs anciens, sans parler des cimetières, sont souvent riches en biodiversité. Il s'agit des principaux habitats des végétaux et des animaux. Les installations plus anciennes, bien établies, attirent, par exemple, oiseaux et mammifères dont l'habitat naturel est la forêt (Nilsson et Randrup, 1997). Les écologistes de nombreux pays développés apprécient la diversité d'habitat qu'offre la foresterie urbaine à la faune sauvage.

En Inde, de nombreux groupes de pression en faveur de la conservation reconnaissent la grande valeur des parcs et des jardins urbains comme habitat pour la faune; par exemple, Sunder, (1985) in (FAO, 1995) cite l'importance de la culture de *Ficus spp* dans les parcs de Bangalore au sud de l'Inde pour la production d'aliments pour les oiseaux. L'intérêt qu'offrent les forêts urbaines en tant qu'habitat pour la faune sauvage pourrait suggérer leur exploitation pour la production de viande de chasse. Les genres *Atriplex*, *Chenopodium*, *Rhagodia* et *Halimione*, constituent un élément important des pâturages arbustifs arides et semi-arides dans plusieurs pays ils ont une appétabilité très variable. Ces arbustes feuillus ont une couleur gris-vert caractéristique du développement de vésicules à sel sur les cellules de leur épiderme. Ils sont très tolérants au sel, les *Atriplex spp.* servent aussi de combustible et certaines espèces produisent une forte ossature ligneuse (FAO, 1992).

I-3-4-5 Modifications climatiques

L'effet des arbres urbains sur le micro-climat local a fait l'objet de nombreuses enquêtes dans les pays développés. Il en ressort que les arbres peuvent avoir un effet considérable et quantifiable sur le climat local immédiat, bien qu'il n'ait pas encore été prouvé qu'ils contribuent à la réduction globale de la température de l'air et à l'augmentation des précipitations (Nilsson et Randrup, 1997 ; Buckstrup *et al.*, 2003 ; Spennemann *et al.*, 2004). En revanche, des forestiers urbains chinois prétendent avoir influencé notablement le climat de certaines villes grâce à des plantations d'arbres généralisées (FAO, 1995).

I-3-4-6 Budget énergétique des immeubles

En transpirant de l'eau et en ombrageant les surfaces, les arbres abaissent les températures locales de l'air (Nowak, 1995 in Nilsson et Randrup, 1997). Du fait que les arbres abaissent la température de l'air, donnent de l'ombre aux édifices en été et bloquent les vents d'hiver, ils peuvent réduire la consommation d'énergie des édifice (McPherson et Rowntree, 1993, Nowak, 1995 in Nilsson et Randrup, 1997). D'un grand intérêt sont les effets potentiels de plantes établies autour des immeubles aux fins de réduire les coûts du chauffage en hiver et de la climatisation en été. Miller, (1988) in FAO, (1995) constate que les brise-vent réduisent les coûts du chauffage des maisons de 4 à 22 pour cent, suivant l'intensité locale du vent et l'étanchéité à l'air de la structure.

En revanche, la végétation qui ombrage une maison en hiver peut faire hausser les coûts du chauffage. Dans un climat tempéré septentrional il serait normal, par exemple, de planter des arbres d'ombre à feuillage décidu le long des façades orientales et occidentales des immeubles pour qu'ils jettent une ombre rafraîchissante pendant l'été et que la chute automnale de leur feuillage laisse filtrer quelques rayons de soleil en hiver (Sand, 1993 in FAO, 1995).

I-3-4-7 Qualité de l'air

Dans les zones urbaines de nombreux pays nouvellement industrialisés et en développement, les habitants souffrent de niveaux élevés de pollution atmosphérique (Buckstrup *et al.*, 2003 ; Spennemann *et al.*, 2004). Dans beaucoup de villes du tiers monde, la concentration et la composition des polluants atmosphériques sont déjà à même de provoquer des maladies chez des sujets vulnérables et la mort prématurée des personnes âgées, notamment celles atteintes de troubles respiratoires. (Hardoy *et al* 1992 in FAO, 1995). Cependant, la présence d'arbres et de plantes conjuguée à la prise de mesures appropriées peut contribuer à atteindre cet objectif (Rahmoune *et al.* 1997),. Les arbres peuvent améliorer de façon marquée la qualité de l'air en absorbant l'anhydride carbonique et les autres polluants (Semadi et Rahmoune, 1995), en filtrant les particules transmises par évapotranspiration. Par exemple, la tolérance aux polluants et aux autres agressions environnementales urbaines de *Platanus acerifolia*, un arbre largement cultivé dans les villes européennes, est bien reconnu en Chine où il est très souvent établi dans les villes à climat chaud et tempéré et, dans une mesure moindre, dans celles à climat subtropical (Jim, 1991 in FAO 1995).

I-3-4-8 Protection du sol

Le sol joue un rôle important aux fins de réduire les émissions de polluants atmosphériques. Il représente un puits de stockage pour ceux filtrés par le couvert végétal ou déposés directement sur

le sol. Ce dernier peut aussi neutraliser certains polluants grâce à des réactions chimiques (Buckstrup *et al.*, 2003 ; Spennemann *et al.*, 2004). A cet égard, les forêts situées dans les agglomérations urbaines ou aux alentours peuvent mieux purifier l'atmosphère que les arbres d'alignement ou les autres plantes disséminées dans la ville où une grande partie du sol est recouvert d'une couche de béton ou d'asphalte.

Les sols qui consistent en déchets de produits laissés par l'industrie du bâtiment peuvent manquer d'éléments nutritifs et sont souvent tassés (Randrup, 1996 in Nilsson et Randrup, 1997). Les conditions de croissance peuvent aussi être difficiles.

I-3-4-9 Réduction du bruit

Dans les environnements urbains le bruit est souvent excessif et nuisible, notamment à fréquences élevées (ondes courtes) (Hardoy *et al.*, 1992 in FAO, 1995 ; Nilsson et Randrup, 1997). Comme pour la pollution atmosphérique, l'arboriculture ne peut résoudre le problème du bruit mais peut contribuer à le ramener à des niveaux acceptables, en particulier si on l'associe à d'autres mesures de lutte contre les émissions sonores (Nilsson et Randrup, 1997). Les arbres diminuent la pollution acoustique grâce à cinq mécanismes, à savoir l'absorption, le détournement, la réflexion, la réfraction et la dissimulation du son. En ce qui concerne l'absorption, les plantes absorbent en général plus rapidement les hautes fréquences que les basses ce qui veut dire qu'elles éliminent sélectivement les fréquences les plus nuisibles pour les oreilles de l'homme. L'efficacité du détournement, de la réflexion et de la réfraction du bruit dépend du modèle adopté pour leur plantation.

Les espèces généralement utilisées pour les plantations le long des voies ferrées sont les suivantes: zones arides: *Tamarix spp.*, *Eucalyptus spp.*, *Acacia spp.*, *Opuntia ficus indica*, *Prosopis spp.*; zones_semi-arides : *Eucalyptus spp.*, *Avaga spp.*, *Acacia spp.*, *Ficus spp.*, *Sapium spp.*, *Bauhinia spp.* (FAO, 1992). La dissimulation consiste à remplacer des sons indésirables par d'autres agréables ; la végétation produit des sons tels que le bruissement des feuilles dans la brise et les êtres humains tendent à faire une sélection entre les bruits indésirables issus de la ville et les sons de la nature (Miller, 1988, in FAO, 1995).

I-3-4-10 Lutte contre l'érosion

Les sols et les côtes de nombreuses villes du tiers monde connaissent une grave érosion, notamment si l'expansion de ces villes est récente et qu'elles ont largement dépassées leur taille initiale (FAO, 2001). Il ne faudra certes pas conclure que le couvert forestier pourra dans tous les cas réduire le bruit ou maîtriser l'érosion du sol.

Les gouttes de pluies qui tombent de la couronne des arbres atteignent facilement une vitesse dangereuse avant de heurter le terrain et, du moment que les gouttelettes s'élargissent en s'unissant sur les feuilles elles pourraient bien devenir encore plus dangereuses que celles qui tombent librement du ciel. A cet égard l'élément qui compte est la végétation de sous-étage (Buckstrup *et al.*, 2003 ; Spennemann *et al.*, 2004). Quelle que soit la situation, les arbres ne pourront jouer un rôle efficace dans la conservation du sol que si leur plantation s'accompagne de mesures complémentaires de nature à la fois pratique et institutionnelle.

I-3-5 Problèmes potentiels

Les arbres dans les zones urbaines, posent un certain nombre de problèmes potentiels, notamment en ce qui concerne le choix des espèces.

I-3-5-1 Coût de plantation et d'entretien

Il peut coûter très cher de mettre en oeuvre des initiatives de foresterie urbaine menées sur une échelle supérieure à celle des petits jardins particuliers.

Tel est le cas, en particulier, pour obtenir des résultats immédiats des plantations d'agrément, en plantant des arbres déjà grands qui exigent des soins intensifs pendant la première année suivant la plantation. Les coûts d'entretien et, surtout d'irrigation, peuvent être alors très élevés (FAO, 1995 ; Spennemann *et al.*, 2004).

I-3-5-2 Dommages structurels

Les racines des arbres d'alignement provoquent souvent des crevasses dans les routes et les trottoirs et peuvent endommager les tuyaux d'adduction d'eau. Les arbres urbains peuvent aussi causer des dégâts structurels aux immeubles au niveau des fondations (racines), ou par leur chute ou celle de leurs branches.

De même que pour la sécurité personnelle, un choix judicieux des essences et leur maintien permettront de réduire ces problèmes (Biddle, 1987 in FAO, 1995). La plantation de certaines essences est interdite dans la zone urbaine en raison de racines fortes, maladies importantes ou problèmes d'allergie, dont :

- Le peuplier à feuilles deltoïdes ou peuplier du Canada (*Populus deltoïdes*)
- Le peuplier de Lombardie (*Populus nigra*)
- Le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloïdes*)
- Le peuplier blanc (*Populus alba*)
- L'érable argenté (*Acer saccharinum*)
- L'érable à Giguère (*Acer negundo*)
- Le saule à feuilles de laurier (*Salix alba pentandra*)
- Le saule pleureur (*Salix alba tristis*)
- L'orme d'Amérique (*Ulmus americana*). (Anonyme 1, 2005)

I-4 Plantation et gestion des arbres

Comme indiqué précédemment, la mise en place d'arbres dans un milieu urbain exige une réflexion attentive et une planification préalable. Le processus nécessite en outre d'une gamme étendue de compétences en matière de gestion qui vont du traitement arboricole approprié d'arbres individuels à la gestion performante de l'ensemble du couvert arboré d'une ville donnée.

I-4-1 La mise en place des arbres

Alors que dans un environnement urbain, certaines essences se sont régénérées naturellement et ont pu pousser librement, dans la majorité des cas elles sont plantées. Il faudra tenir compte d'un ensemble de facteurs au moment du choix des essences, des provenances et même des cultivars. Ci-dessous, figure certaines des considérations parmi les plus importantes qui devraient théoriquement, influencer la prise de décision (Garrec *et al.*, 1989).

- Quelle fonction les arbres devront-ils remplir?
- Qui prendra la décision de planter les arbres et qui les utilisera?
- Où les arbres seront-ils plantés?
- Quel type de gestion future sera nécessaire?
- Quelles essences/provenances seront disponibles?

Et à partir de ces considérations,

- Quels sont les traits les plus désirables et dans quels espèces/provenances ou cultivars les trouve-t-on?
- Quels sont les traits indésirables et, partant, quels espèces/provenances ou cultivars devra-t-on éviter?

Dans la plupart des cas la décision comporte l'établissement de nombreux arbres, et il faudra tenir compte de la complémentarité potentielle de différents espèces/provenances ou cultivars. Les différences possibles d'opinion sur le choix des essences à planter sur les terres publiques sont

illustrées plus en détail dans tableau (1), qui formule des hypothèses sur les attributs qu'un forestier pourrait juger désirables pour les citoyens pauvres des pays en développement (Garrec *et al.*, 1989).

Tableau 1 : Plantations d'arbres à objectifs multiples: caractéristiques principales à considérer

Objectif	Attributs clés
Ornement	<ul style="list-style-type: none"> • Fleurs: taille, couleur, période de floraison • Fruits: peuvent être attractifs mais salissent en tombant ou en pourrissant • Feuillage: forme, changement de couleur, caractéristiques saisonnières • Ecorce: structure, couleur • Hauteur • Taille et forme de la couronne • Intérêt culturel • Taux de croissance
Ombre	<ul style="list-style-type: none"> • Taille, structure et forme de la couronne • A feuillage persistant ou décidu
Habitat de la faune sauvage	<ul style="list-style-type: none"> • Fruits comestibles pour les oiseaux et les animaux • Taille de la couronne (comme abri) • Associations particulières entre les insectes/oiseaux/animaux et les arbres
Réduction du bruit	<ul style="list-style-type: none"> • Taille, structure et forme de la couronne • Hauteur
Réduction de la pollution atmosphérique	
Production de fruits	<ul style="list-style-type: none"> • Préférence du consommateur pour l'espèce ou le cultivar (production familiale/commerciale) • Valeur nutritive • Temps qui s'écoule entre l'établissement et la production • Caractéristiques saisonnières de la production (pour les citoyens pauvres, aliments pendant les périodes de pénurie?)
Fourrage	<ul style="list-style-type: none"> • Préférence locale pour certaines espèces - dictée probablement par les caractéristiques saisonnières (le fourrage de saison sèche est normalement recherché)-, appétibilité et valeur perçue du fourrage
Bois de feu	<ul style="list-style-type: none"> • Essences préférées par les consommateurs locaux • Brindilles, chute des feuilles (comme combustible à ramasser)
Bois de construction	<ul style="list-style-type: none"> • Essences préférées par les consommateurs • Production envisagée (poteaux ou rondins) • Taux de croissance

(FAO, 1995)

Tableau 2 : Qualités souhaitables pour un arbre d'alignement: deux points de vue opposés

Attribut	Forestier technique	Citadin pauvre
Fruits comestibles	Non appréciés <ul style="list-style-type: none"> • Ils attirent les gamins • Les fruits tombés et pourrissants causent des problèmes 	Apprécies <ul style="list-style-type: none"> • Source d'aliments • Source possible de revenus
Feuilles comme fourrage nutritif	Non appréciées <ul style="list-style-type: none"> • Difficulté de mise en place des arbres; les dommages causés par le bétail entraînent des coûts d'entretien supplémentaires • L'ébranchage d'un arbre adulte compromet sa valeur 	Apprécies par certains <ul style="list-style-type: none"> • Toute source de fourrage est appréciée par les citadins propriétaires de bétail
Chute des feuilles	Variable <ul style="list-style-type: none"> • La chute des feuilles sur les routes et trottoirs cause des problèmes • Le changement de couleur des feuilles et une brève période de chute créent un intérêt visuel 	Variable <ul style="list-style-type: none"> • Non appréciée pour les arbres d'ombrage (les essences à feuillage persistant sont préférables) • Les feuilles tombées servent de combustible ou de litière pour le bétail
Ecorce médicinale	Non appréciée <ul style="list-style-type: none"> • La récolte endommagera l'arbre 	Appréciee <ul style="list-style-type: none"> • Médicament gratuit dans certains cas • Source possible de revenu en espèces, et de substance médicinale pour les guérisseurs
Tendance au rabougrissement	Non appréciée <ul style="list-style-type: none"> • Aspect inesthétique • Représente un danger public s'il est grave 	Appréciee <ul style="list-style-type: none"> • Les brindilles et branches mortes sont une source de combustible • Le risque pour la sécurité est négligeable si on pratique l'élimination sélective en temps utile
Caractère indigène	Variable, mais pas très apprécié <ul style="list-style-type: none"> • Les essences exotiques sont souvent mieux connues, plus faciles à cultiver et plus ornementales 	Probablement apprécié <ul style="list-style-type: none"> • Les arbres indigènes sont plus familiers, surtout pour les citadins d'origine rurale • Les arbres indigènes ont souvent une importance culturelle

(FAO, 1995)

I-4-2 Conditions du site

Il faut d'abord définir les conditions du site puis faire en sorte qu'elles s'harmonisent avec les exigences et les tolérances des plantes appropriées. Plus de 700 000 arbres meurent chaque année, endommagés par le sel anti-gel appliqué sur les routes et les bas-côtés en Europe de l'Ouest (Dobson, 1991 in Nilsson et Randrup, 1997).

Au plan technique, la croissance des arbres dans les environnements urbains se heurte souvent à une série de problèmes. Il importe, dans la mesure du possible, que les types et les espèces/provenances/cultivars de l'arbre choisi démontrent une adaptabilité et une tolérance reconnue à ces conditions dont certaines sont indiquées dans le tableau (3).

Tableau 3 : Conditions de site communes aux environnements urbains et qualités correspondantes des arbres à y planter

Conditions du site	Attributs désirables
Compaction du sol et mauvais drainage	<ul style="list-style-type: none"> • Système racinaire robuste • Tolérance modérée aux conditions anaérobies
Faibles niveaux d'éléments nutritifs du sol	<ul style="list-style-type: none"> • Fixation de l'azote ou autre association microbienne (par ex. mycorhizes) • Racines profondes • Faible besoin physiologique en éléments nutritifs
Pénurie d'eau	• Série de mécanismes visant à réduire la pénurie d'eau (soit en maximisant l'absorption soit en limitant les pertes)
Pollution du sol - par exemple, salinité due à l'application de sel sur les routes (dans les pays tempérés); niveau élevé de métaux lourds, etc	• Tolérance aux polluants en question
Pollution atmosphérique - le niveau de certains polluants varie selon les lieux	<ul style="list-style-type: none"> • Tolérance aux polluants en question • Caractéristiques générales faisant que certains arbres éliminent plus efficacement les polluants atmosphériques (voir encadré 4.5)
Proximité d'immeubles et d'autres structures	<ul style="list-style-type: none"> • Système racinaire: non agressif, profond • Hauteur: les arbres de petite taille sont probablement préférables; de grands arbres pourraient heurter les lignes électriques aériennes et jeter une ombre excessive sur les immeubles
Exposition aux aspersion de sel (le long des côtes)	• Tolérance aux aspersion de sel
Exposition aux vents forts (plus probable le long des côtes)	<ul style="list-style-type: none"> • Résistance des branches aux vents violents • Système racinaire profond

(FAO, 1995)

I-4-3 Planification et conception du paysage

La question de savoir comment l'implantation des arbres peut être conçue pour valoriser au maximum le paysage est très importante. Mais le choix des essences à associer reste très important; outre le côté esthétique, il faudra tenir compte des taux de croissance relatifs, de la concurrence racinaire, de la tolérance à l'ombre, etc (Spennemann *et al.*, 2004). En Europe, il est tenté récemment d'adopter une approche écologique de la conception du paysage (Tregay et Ertzgaard, 1979, Tregay et Moffat, 1980 in FAO, 2001).

Cette approche, qui fait appel à des principes écologiques pour déterminer le choix et la gestion des essences, a porté à l'établissement de plantations dynamiques d'âges différents. Par exemple, un boisement réalisé suivant les principes écologiques à Warrington, Royaume-Uni, présentait au bout de 20 ans une canopée ouverte d'arbres climaciques et un grand nombre d'arbustes traités en taillis, d'essences de lumière, de fourrés de lisière et de prairies (Tregay et Moffat, 1980 in FAO, 2001).

Plusieurs auteurs Frank *et al.* (2002) et Percival *et al.* (2003), attirent l'attention sur les monocultures. Ces derniers peuvent poser seulement problèmes quand le nombre d'arbres est grand et la région occupée par les arbres est restreinte. Vingt à cinquante arbres d'une espèce seule, ou même un clone seul, plantés le long de quelques blocs de rues de ville ne constituent pas un danger. L'uniformité génétique dans une espèce sera désirée, surtout quand les clones, cultivars, ou plants possèdent certaines caractéristiques désirables comme la résistance au stress de l'environnement urbain. Il paraît que, même dans les villes où la foresterie urbaine est bien développée, les plantations d'agrément tendent à se caractériser par une diversité limitée. Par exemple, à Hong-kong, 70% de toutes les plantations sont imputables à dix espèces seulement (Webb, 1993 in FAO, 1995).

Dans une étude menée sur cinq villes de pays développés et en développement (à savoir, Athènes, Prague, Mexico, Peking et New York), il est noté que, dans chaque ville, cinq espèces seulement représentaient de 50 à 65% de toutes les plantations. Aussi certains des arbres urbains les plus courants, tel que le *Robinier* et le *Sophora japonica*, se retrouvent dans le monde entier. La pauvreté du matériel de reproduction est due en grande partie au manque de connaissances sur l'adaptabilité des diverses essences. En outre, de nombreux facteurs restreignent la disponibilité des espèces, à savoir des difficultés d'approvisionnement en semences et la méconnaissance de certaines techniques de propagation des espèces.

De nombreux auteurs ont noté la rareté des essences indigènes dans les plantations d'agrément urbains, en particulier dans les pays en développement (Jim, 1991, Menza, 1992 in FAO, 2001). Ils

invoquent souvent la faible tolérance aux conditions urbaines pour justifier le recours aux plantes exotiques; ils estiment qu'un grand nombre d'essences indigènes se développent mal en ville, par rapport à leur comportement en milieu rural et à celui des plantes exotiques plantées couramment (Douglas, 1983, Webb, 1991 in FAO, 1995 ; Spennemann *et al.*, 2004). Cependant, dans beaucoup de pays, la prépondérance des essences exotiques traduit aussi la persistance de l'influence coloniale et les modes récentes.

I-4-3-1 Besoins de la gestion future

Lorsqu'on choisit une essence ou une combinaison d'essences forestières à planter, on devra tenir compte des besoins de la gestion future. Les facteurs à considérer sont les suivants:

- Besoins en eau : nécessité d'irriguer (choisir des essences tolérantes à la sécheresse si l'irrigation s'avère difficile);
- Taux de croissance : le sarclage et les autres soins seront moins nécessaires avec des espèces à croissance rapide;
- Vulnérabilité aux maladies: les coûts d'entretien des espèces/variétés ou cultivars résistants aux maladies seront probablement plus faibles;
- Croissance: pour certains arbres un élagage s'impose pour conserver la silhouette ou le feuillage désiré, ce qui pourrait accroître les coûts d'entretien (Garrec *et al.*, 1989 ; Nilsson et Randrup, 1997).

I-4-3-2 Pratiques arboricoles

I-4-3-3 Préparation du site

Les sols urbains sont souvent peu adaptés à la croissance des arbres. Les défauts les plus courants sont le faible niveau des éléments nutritifs disponibles et la forte compacité due à l'intervention de l'homme et à la circulation.

A ces facteurs s'ajoute le manque de matière organique. Quand le sol est tassé, sa densité apparente augmente et sa porosité diminue, Ces effets freinent la croissance de la plante, car le sol devient impénétrable pour les racines et, de plus, réduit l'eau et l'oxygène disponibles pour les racines. Une conséquence du tassement du sol est l'engorgement qui peut tuer les racines autour des arbres existants (Håkansson et Reeder, 1994, Rolf, 1994 in Nilsson et Randrup, 1997).La réaction traditionnelle à cet état de choses a été l'amélioration radicale du site avant la plantation. En général, la diminution de la compacité du sol est préférable à tout autre traitement. Elle est réalisée de nombreuses façons, la plus importante étant le scarifiage du site de plantation.

Les pratiques arboricoles actuelles mettent aussi davantage l'accent sur le choix des essences adaptées au lieu plutôt qu'à sa modification pour convenir à l'essence désirée. Il existe dans les pays arides de vastes superficies où l'on trouve une eau souterraine saline peu profonde. Il y a possibilité de planter des espèces tolérantes au sel (FAO, 1992 ; Spennemann *et al.*, 2004).

Tableau 4 : Estimations de la tolérance à la salinité des plantes d'alignements et de jardins.

Salinité de la rhizosphère Ece (dS m-1)				
Faible (2–4)	Modéré (4–8)	Sévère (8–16)	Faible (2–4)	Modéré (4–8)
Espèces australiennes			Espèces exotiques	
<i>Acacia mearnsii</i>	<i>Casuarina Cunninghamiana</i>	<i>Acacia salicina</i>	<i>Plantanus acerifolia</i>	<i>Betula papyrifera</i>
<i>Eucalyptus aggregata</i>	<i>Eucalyptus astringens</i>	<i>Casuarina glauca</i>	<i>Betula pendula</i>	<i>Pinus nigra</i> *
<i>E. camphora</i>	<i>E. brockwayi</i>	<i>C. obesa</i>	<i>Buxus microphylla</i>	<i>Populus alba</i>
<i>E. cinerea</i>	<i>E. largiflorens</i>	<i>Eucalyptus campaspe</i>	<i>Handina domestica</i>	<i>Phoenix dactylifera</i>
<i>E. cladocalyx</i>	<i>E. leucoxydon</i>	<i>E. spathulata</i>	<i>Rosa spp.</i>	<i>Fraxinus exelsior</i>
<i>E. cornuta</i>	<i>E. melliodora</i>	<i>E. sargentii</i>	<i>Hedera camarensis</i>	<i>Salix alba</i>
<i>E. crenulata</i>	<i>E. platypus</i>	<i>Acacia retinodes</i>	<i>Rosa spp.</i>	<i>Ficus carica</i>
<i>E. dumosa</i>	<i>Acacia iteaphylla</i>	<i>Melaleuca cuticularis</i>	<i>Ilex cornuta</i>	<i>Acer negundo</i>
<i>E. globulus</i>	<i>A. longifolia</i>	<i>M. decussata</i>	<i>Pittosporum tobira</i>	<i>Aesculus hippocastanum</i>
<i>E. robusta</i>	<i>A. saligna</i>	<i>M. leucadendra</i>		<i>Chamaerops humilis</i>
<i>Callistemon viminalis</i>	<i>Melaleuca armillaris</i>	<i>M. squarrosa</i>		<i>Pinus radiata</i>
	<i>M. bracteata</i>	<i>M. halmaturorum</i>		<i>Magnolia grandiflora</i>
	<i>M. ericifolia</i>			<i>Plantanus oreintalis</i>
	<i>M. styphelioides</i>			<i>Quercus robur</i> *
				<i>Quercus rubra</i> *
				<i>Bougainvillia spectabilis</i> *
				<i>Syringa vulgaris</i> *
				<i>Nerium oleander</i>

* : La tolérance à la salinité varie entre l'expérimentation et le champ. (Spennemann *et al.*, 2004)

Chapitre II : Monographie des espèces étudiées

II-1- Description du genre *Acacia*

L'acacia est un genre divers et énorme avec presque 1 000 espèces reconnues actuellement pour l'Australie. Les espèces de ce genre représentent une ressource vaste d'utilisation économique, écologique et sociale. Les espèces de ce genre sont représentées dans presque tous habitats terrestres où ils forment un élément visible et dominant de beaucoup d'écosystèmes, en particulier dans les régions arides et semi-arides (Bell, 1999 ; Burley, 2004 ; Maslin *et al.*, 2004).

Les espèces australiennes du genre *Acacia* se trouvent dans approximativement 70 pays où elles couvrent approximativement 2 million d'hectares. Comme résumé par Midgley et Turnbull, (2003 in Maslin *et al.*, 2004) les espèces les plus largement cultivées sont *A. mearnsii* (pour les tanins, charbon de bois : approximativement 300 000 ha en Afrique du Sud, Brésil, Chine et Vietnam), *A. saligna* (pour le charbon de bois, fourrage et amélioration de terre: plus de 500 000 ha en Afrique du Nord, le Moyen-Orient, Asie de l'ouest et Chili), *A. mangium* (pour la pâte à papier et bois de construction: plus de 800 000 ha en Indonésie et Malaisie), *A. crassicarpa* (pour la pâte à papier et bois de construction: approximativement 50 000 ha en Indonésie et Vietnam) et *A. colei* (comme une nourriture humaine en Inde et sub-saharan Afrique).

Elles ont la capacité d'améliorer la fertilité du sol à travers la fixation de l'azote, germination facile, bonne longévité et croissance rapide, généralement spectaculaire. Ces attributs favorables fournissent l'encouragement pour choisir l'espèce dans le développement de nouvelles sources de bois. Beaucoup d'Acacias australiens produisent d'importants volumes commerciaux de bois, de faible et de bonne densité avec une large gamme de variation. (Burley, 2004 ; Maslin *et al.*, 2004).

II-1-1 L'*Acacia cyanophylla*



Photo 1 : *Acacia cyanophylla* (<http://www.plantencyclo.com/>)

Systematique

Embranchement :	Phanérogames.
Sous embranchement :	Angiospermes.
Classe :	Dicotylédone.
Famille :	Mimosaceae
Genre :	Acacia
Espèce :	Cyanophylla

II-1-1- 1 Morphologie

A tige généralement très ramifiée, *l'Acacia cyanophylla* Lindl, est un arbuste fourrager à port étalé, ayant une hauteur moyenne de 4 à 5 m , pouvant atteindre 7 à 8 m sur sols profonds.

Ecorce :

L'écorce de l'Acacia est lisse, de couleur gris verdâtre, tachée de gris dans le jeune âge, s'assombrissant et se fissurant longitudinalement sur des troncs atteignant 20 à 30 cm de diamètre.

§ Racines :

L'enracinement de cette légumineuse originaire d'Australie occidentale est très puissant tant en surface qu'en profondeur. La partie superficielle présente une importante nodosité fixatrice d'azote.

§ Fleurs :

La floraison commence à partir du mois de février. Les fleurs sont de couleur jaune, groupées en un nombre variant de 3 à 8 fleurs situées sur de courts rameaux axillaires (Bell, 1999 ; Burley, 2004 ; Maslin *et al.*, 2004).

II-1-1-2 Sol :

L'Acacia cyanophylla Lindl. préfère les sols sableux recevant plus de 250 mm de pluviométrie moyenne annuelle. Les exigences édaphiques de *l'Acacia cymophylla* deviennent moins strictes au dessus de 350 à 400 mm de pluviométrie moyenne annuelle. Dans ces conditions, il s'accommode aux sols moins profonds et moins sableux et peut parfaitement prospérer sur les sols rouges méditerranéens à croûte calcaire. Il montre aussi une certaine tolérance au sel (El Euch, 2000, Bell, 1999 ; Burley, 2004).

II-1-1-3 Croissance et longévité :

Sur terrains sableux profonds et dans les dunes littorales, *l'Acacia cyanophylla* présente une longévité pouvant atteindre 25 à 30 ans. Toutefois, dans des conditions de sécheresse intense, la durée de vie de cet arbuste ne dépasse pas 10 ans. (Le Floc'h, 1988 in El Euch, 2000).

II-1-1-4 Régénération naturelle :

Dans tous les cas, *l'Acacia* se resème abondamment et peut se régénérer aussi par drageons. Cet arbuste drageonne vigoureusement après exploitation (Bell, 1999 ; Burley, 2004 ; Maslin *et al.*, 2004).

II-1-1-5 Exploitation :

Généralement, les plants d'*Acacia* sont élevés en pépinière et plantés sur le terrain à l'âge de 7 à 8 mois. La période favorable de mise en place des plants s'étend du 15 novembre jusqu'au 30 mars. La densité de plantation de *l'acacia* varie de 1100 à 700 plants/ha selon la pluviométrie et les conditions édaphiques.

En Afrique du nord, surtout en Tunisie et en Algérie, les plantations d'*Acacia* sont utilisées, comme réserve fourragère sur pied (feuillage et gousse), principalement pour la sauvegarde du cheptel pendant les périodes de soudure hivernale où l'herbe est rare et pendant les années de

sécheresse. La production de ces arbustes constitue un excellent complément sur le plan de la nutrition animale.

D'autre part, des expérimentations ont été menées en Tunisie afin de déterminer le rôle potentiel que peut jouer l'Acacia dans le calendrier fourrager caractéristique des petits ruminants (tableau 5-6). Les résultats obtenus ont démontrés que la contribution de cette espèce à la ration des animaux est importante. En effet, cette contribution a été évaluée à 48% en moyenne en automne, 40% en été, 19% en hiver et seulement 6% au printemps et ce dans le cas d'un pacage direct d'un cheptel composé d'ovins, dans une plantation d'Acacia en présence d'une végétation herbacée (Le Floch, 1988 in El Euch, 2000).

Tableau 5 : Analyses chimiques des parties vertes de *l'Acacia cyanophylla*

	% Matières Sèche (g /Kg MS)	Matière Minérales (g /Kg MS)	Matière Organique (g /Kg MS)	Matière Azotée Totale (g /Kg MS)	Cellulose Brute (g /Kg MS)
Feuilles + Brindilles tendres	41	106	894	123	179

(El Euch,2000)

II-1-1-6 Production :

Les récoltes de l'acacia pourraient fournir un fourrage convenable (Tableau 6). Par conséquent, la caractéristique de la plante la plus importante était la capacité de production rapide de volumes commerciaux de bois, en particulier bois de faible densité. Elle peut être utilisée comme bois de chauffage, tuteurs, bois d'emballage et bois pour la fabrication de la pâte à papier ou des panneaux de particules (Maslin *et al.*, 2004).

Tableau 6 : Production de *l'Acacia cyanophylla*

Bioclimat	Densité Moyenne (plants/ha)	Production matière sèche (Kg MS/ha/an)	Valeur Énergétique (UF/Kg MS)	Production-Fourragère (UF/ha/an)
Subhumide (nord)	1000	2000	0,4	800
Semi-aride (centre)	800	1500	0,4	600

(El Euch, 2000)

II-1-1-7 Utilisation :

Nombreuses espèces d'Acacia ont été utilisées pour la protection de l'environnement. Espèces telles qu'*A. auriculiformis*, *A. dealbata*, *A. decurrens*, *A. mearnsii* et *A. saligna* (*A. Cyanophylla*) ont été utilisés pour le contrôle de l'érosion, comme brise-vent dans plusieurs pays. Espèces telles qu'*A. ampliceps* et *A. stenophylla* ont été utilisés pour la remédiation de sols alcalins et salins. En Australie une grande gamme d'espèces, incluant *A. mearnsii*, *A. microbotrya* et *A. saligna*, a été incorporé dans les projets de revegetation à grande échelle. (Bell, 1999 ; Bartle *et al.*, 2002 ; Burley, 2004 ; Maslin *et al.*, 2004). Une plantation d'Acacia permet la fixation des dunes littorales, elle améliore rapidement le sol surtout par sa forte production d'humus dont la décomposition est relativement lente.

II-2 Les Eucalyptus

Les Caractères généraux de plus de 600 espèces reconnues depuis les Philippines (latitude 7⁰ N) jusqu'à l'Australie du sud (latitude 44⁰ S) sont regroupés en deux sous-genres (*Monocalyptus* et *lymphomyrtus*) (Alexandrien, 1992).

La majorité des espèces d'Eucalyptus sont endémiques du continent australien. En dépit de l'aridité de ce continent, les Eucalyptus représentent plus de 90% de sa couverture forestière.

C'est grâce à leur héritage génétique et à leur évolution au cours des derniers millénaires, que les Eucalyptus ont acquis des caractéristiques de croissance ce fait, est un élément essentiel de la perpétuation d'un état boisé dans les conditions écologiques difficiles de leur aire d'origine.

Ils possèdent par ailleurs des caractères de vigueur et d'agressivité qui leur permettent d'aider à la création de ressources forestières dans de nombreux pays de moyennes et basses latitudes du monde (FAO, 1982 ; Alexandrien, 1992 ; Bell, 1999).

II-2-1 Morphologie

§ Ecorce :

Fréquemment blanche et lisse et s'exfoliant en plaques roussâtres. Elle peut être caduque ou persistante.

§ Feuilles :

Coriaces, persistantes, glabres, très odorantes, de deux sortes, feuilles de jeunesse plus ou moins opposées, souvent sessiles, rondes et glauques. Feuilles adultes généralement alternes, pétiolées, entières, pendantes à deux faces identiques, l'angle d'insertion des nervures latérales est un caractère distinctif important. Les feuilles comportent de nombreuses vacuoles qui contiennent des huiles riches en cinéol ou en eucalyptol (FAO, 1982 ; Alexandrien, 1992).

§ Fleurs :

Blanches, jaunes ou rouge, à étamines nombreuses ordinairement groupées en ombelles. Malgré la grande taille de certains espèces et leur longévité, les Eucalyptus se mettent à fleur à un âge très peu avancé ; quelques fois 4 ou même 2 ans, il y a sous se rapport des différenciations soit spécifiques, soit individuelles considérables. La floraison est annuelle au début de l'automne ou au printemps, mais pour certaines espèces elle est estivale. Quand l'épanouissement des fleurs se fait au cœur de l'hiver, comme c'est le cas de *Eucalyptus globulus*, elles peuvent être endommagées par le froid. En générale la fructification est abondante (FAO, 1982 ; Alexandrien, 1992).

§ Fruits :

Graines anguleuses, nombreuses, contenues dans une capsule.

II-2-2 Ecologie :

Résistant en général assez bien à la sécheresse aiment la lumière, sont très sensibles au froid (facteur limitant essentiel sur le nord de la méditerranée). Dégâts importants provoqués par des écarts brutaux de température, alors que l'exposition progressive au froid provoque un certain durcissement ; la majorité des espèces endommagées à -3°C , la plupart à -10°C , quelques une résistent ou rejettent de souches entre -15°C et -20°C . Il existe toute fois une très grande variabilité climatique dans l'aire d'origine et les zones d'Australie les plus froides (au sud du $30^{\text{ème}}$ parallèle, dans les états de Tasmanie, Victoria et Nouvelles-Galles du sud); lorsque l'altitude de la provenance augmente, la résistance au froids augmente (le feuillage et souvent plus glauque), mais la croissance diminue (il y aura une perte des qualité de vigueur et de forme en prenant des provenance extrêmes) (Alexandrien, 1992 ; Bell, 1999).

II-2-3 Sol:

Exigeant un sol riche en éléments minéraux et acide, plaine alluviale ou piémonts en zone côtières siliceuses (exemple type : plaine orientale corse).

Quelques rares espèces ou provenances se développent sur sol calcaire, mais leur résistance au froid n'est toujours assurée car en Australie, les terrains calcaires sont situés à basses altitudes.

On peut trouver les Eucalyptus sur des substrats très variés, des sols pauvres, ils craignent généralement les chlorures mais quelques espèces tolèrent des concentrations modérées de sel, et peuvent souvent s'adapter à la présence de calcaire (Seigne, 1985 in Mokrani, 2002).

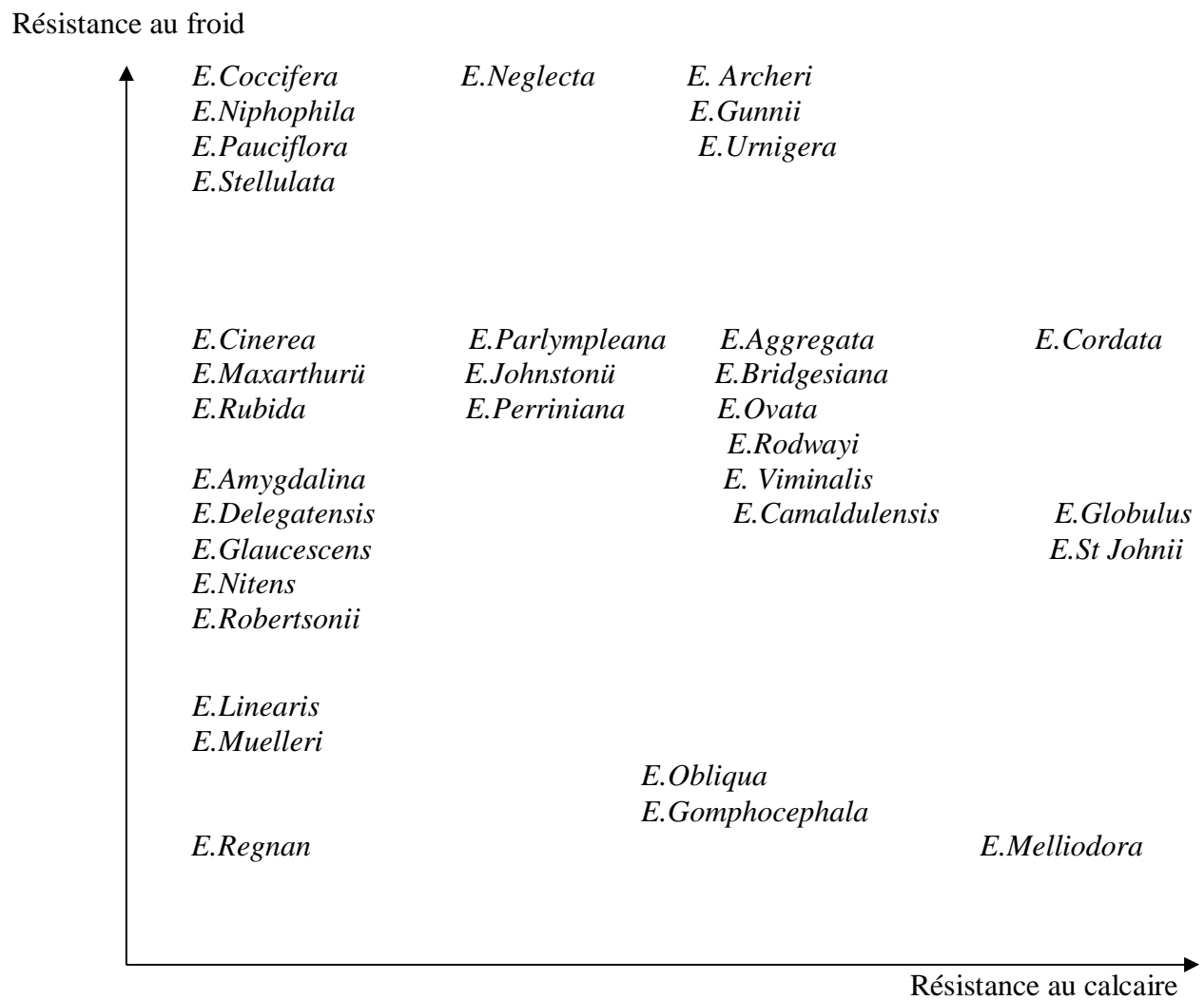


Figure 1 : Comportement moyen de quelques espèces d'Eucalyptus sans tenir compte des effets de provenances (d'après l'AFOCEL in Alexandrien, 1992)

Tableau 7 : Comportement de quelques espèces d'Eucalyptus dans l'Oranie en étage semi-aride froid.

Espèces	Résistance au calcaire actif	Résistance au froid	Résistance au calcaire et au froid
<i>Eucalyptus gunnii</i> Hook.	+	+	+
<i>Eucalyptus falcata</i> Turcz.	+	+	+
<i>Eucalyptus urnigera</i> Hook.	+	+	+
<i>Eucalyptus johnstonii</i> Maiden.	+	+	+
<i>Eucalyptus exserta</i> F.v.M.	+	+	+
<i>Eucalyptus astringens</i> Maiden.	+	-	-
<i>Eucalyptus griffithsii</i> Maiden.	+	+	+
<i>Eucalyptus poyanthemos</i> Schau.	+	+	+
<i>Eucalyptus albens</i> Miq.	+	+	+
<i>Eucalyptus brockwayi</i> C.A.Gadner.	+	+	+
<i>Eucalyptus salmonophloia</i> F.v.M.	+	+	+
<i>Eucalyptus occidentalis</i> Endl.	+	-	-
<i>Eucalyptus fasciculosa</i> F.Muell.	+	+	+
<i>Eucalyptus sideroxylon</i> A.cunn.	+	+	+
<i>Eucalyptus leucoxylon</i> F.v.M.	+	+	+
<i>Eucalyptus viminalis</i> Labi II.	+	+	+
<i>Eucalyptus cladocalyx</i> F.v.M.	+	-	-
<i>Eucalyptus gomphocephala</i> A. dc.	+	-	-
<i>Eucalyptus melliodora</i> A.Cunn.	+	+	+
<i>Eucalyptus longicornis</i> F.v.M.	+	-	-
<i>Eucalyptus angifosa</i> Schau.	+	-	-
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehn.	+	+	+
<i>Eucalyptus smithii</i> R.T. Baker.	+	+	+
<i>Eucalyptus macrorrhyncha</i> F.v.M.	-	-	-
<i>Eucalyptus pellita</i> F.v.M.	-	-	-
<i>Eucalyptus kirtoniana</i> F.v..M.	-	-	-
<i>Eucalyptus robusta</i> Sm.	-	-	-

(Source Letreuch-Belarouci, 1995)

II-2-4 Croissance et longévité :

Croissance généralement très rapide. Hauteur maximale élevée pour beaucoup d'espèces ; *Eucalyptus regans* est l'un des arbres les plus hauts du monde (100 m) (Alexandrien, 1992).

II-2-5 Régénération naturelle :

Parfois considérée comme un signe d'adaptation visible, pour *E. pauciflora*, *E. nectarthuri*, *E. viminalis*, *E. cinerea*, *E. stellulata*, *E. globulus*, *E. camaldulensis*, *E. gunii*, *E. darlympleana* (Alexandrien, 1992).

II-2-6 Sensibilité :

Sont gravement menacés par deux ravageurs : défoliateurs *gonypterus scutellatus*, et surtout, le xylophage *phoracantha semipunctata* ; ce dernier peut décimer des peuplements entiers, notamment ceux situés en conditions limites. A surveiller également d'éventuelles atteintes du champignon *phytophthora cinnamoni* (Alexandrien, 1992).

II-2-7 Traitement :

En futaie pour les espèces fournissant du bois d'œuvre ou pour la constitution de pare-feu arboré, en taillis pour la production du bois d'industrie ou de chauffage. L'aptitude souches des n'est pas la même pour toutes les espèces, ni toutes les provenances. En outre, le nombre de souches qui rejettent et la production totale diminue à chaque rotation, notamment à la troisième (vieillesse des souches) (Alexandrien, 1992).

II-2-8 Exploitation :

20 à 40 ans pour la futaie ; 10 à 12 ans pour le taillis sur 3 ou 4 rotations
(Alexandrien, 1992).

II-2-9 Utilisation :

Protection contre l'incendie *E. macarthurii*, *E. cordata* et *E. nitens* éliminent la strate arbustive se qui rend les formations peu combustibles. Inversement, les espèces dont l'écorces se desquame en lambeaux constituent des peuplements plus combustibles. L'élagage précoce est nécessaire pour une discontinuité entre le sol et les cimes ; il supprime en outre les feuilles jeune nettement plus inflammables que les adultes. A noter que *E. macarthurii*, est plus inflammable ; que *E. darlympleana* (Alexandrien, 1992).

§ Bois :

✓ Production :

5 à 20 m³/ha/an avec des provenances adaptées (en moyennes moins de 10 m³/ha/an).

✓ Qualité :

Souvent dur, lourd, nerveux, homogène présentant une fibre torse, ayant tendance à se fendre et à se déformer en séchant, à fibre longue. *E. globulus*, *E. regnans*, *E.s delegatensis*, *E. nitens*, ont un bois apprécié pour la fabrication de pâte à papier. *E. delegatensis*, *E. nitens*, *E. regnans*, *E. obliqua* ont par ailleurs un excellent bois d'œuvre, les autres espèces ont des emplois divers : poteaux, traverses, coffrage, panneaux, chauffage...ect.

§ Autres produits :

- ✓ **Miel** : grâce à la floraison intense, régulière et persistance de certaines espèces.
- ✓ **Huiles essentielles** : par distillation du feuillage de certaines espèces (*E. dives*, *E. globulus*).
- ✓ **Feuillage** pour l'horticulture (*E. gunii*) (Alexandrien, 1992).

II-2-10 L'Eucalyptus en Algérie

Introduit en Algérie pour assainir les marécages, les eucalyptus, de par leur croissance rapide, leur rendement élevé, leur exploitation aisée, leur plasticité à l'égard du climat ainsi que leur adaptation aux terrains pauvres figuraient toujours parmi les espèces les plus utilisées. Ils ont donné d'excellents résultats dans les étages bioclimatiques subhumides et semi-arides, principalement au-dessous de 800m d'altitude et dans les régions recevant plus de 400 mm de précipitations annuelles. Les eucalyptus ont été utilisés récemment dans les reboisements industriels, particulièrement dans la région d'El kala,(L'Est Algérien), pour la production de la pâte à papier à courte rotation (10 à 15 ans). Ainsi, les eucalyptus, essentiellement *E. globulus* et *E. grandis*, auraient une production annuelle de l'ordre de 10 à 13 m³/ha/an dans ces régions. Cependant, on constate aujourd'hui que leur emploi sur de grandes surfaces se heurte aux attaques massives de *Phoracantha semi-punctata* (Coléoptère). Par ailleurs, on reproche aux eucalyptus de ne pas constituer rapidement de sol forestier et de ne pas être une espèce améliorante.

Il faudrait donc introduire dans les peuplements d'eucalyptus des espèces améliorantes en sous-étage telles que les acacias afin de rétablir l'équilibre sol/végétation. Si nous voulons continuer l'extension des eucalyptus et leur exploitation industrielle en Algérie, avec des chances sérieuses de succès, le pays est dans l'obligation d'accorder plus d'attention au domaine de la pathologie forestière afin de lutter contre le *Phoracantha semi-punctata* (Bensaid *et al.*, 1998).

II-2-11 *Eucalyptus gomphocephala* :



Photo 2 : *Eucalyptus gomphocephala* (<http://www.plantencyclo.com/>)

Systématique

Embranchement :	Phanérogames.
Sous embranchement :	Angiospermes.
Classe :	Dicotylédone.
Famille :	Térébinthaceae.
Genre :	<i>Eucalyptus</i>
Espèce :	<i>Gomphocephala</i>

En Australie, l'arbre peut atteindre 25-35 m et même 40 m de hauteur et plus de 1 m de diamètre ; le tronc est assez court (1/3 à 1/2 de la hauteur de l'arbre) et la cime est épaisse souvent fourchue dès le jeune âge. L'écorce est persistante sur toute la hauteur. Les feuilles de jeunesse sont alternes lancéolées étroites. Le bois est jaunâtre, à texture serrée, à fibres entrecroisées ; très dur, résistant et durable. Les inflorescences sont des ombelles axillaires de 3 à 7 fleurs à pédoncule aplati. Les fruits sont sessiles. Il donne de très bons résultats sur sols calcaires profonds ; l'espèce donne des résultats médiocres sur les sols hydromorphes et sur les encroûtements superficiels. Cependant, il supporte bien les sols siallitiques lorsqu'ils sont bien drainés. Il tolère une teneur en NaCl de 6 g/ kg de terre sèche (FAO, 1982).

II-3 Schinus mölle



Photo 3 : *Schinus molle* (<http://www.plantencyclo.com/>)

Systématique

Embranchement :	Phanérogames.
Sous embranchement :	Angiospermes.
Classe :	Dicotylédone.
Sous-classe :	Rosidae.
Ordre :	Spindales.
Famille :	Térébinthaceae.
Sous-famille :	Anacardiacee.
Genre :	Schinus.
Espèce :	Mölle.

II-3-1 Origine

Le genre *Schinus* comprend 30 espèces. Originaire des régions tropicales et subtropicales d'Amérique du Nord où ses fruits sont employés comme condiments, importé dans le midi de la France et au nord de l'Algérie par les colons (Smara, 1999).

II-3-2 Description

Le faux poivrier est un petit arbre dépassant parfois 10m ; tronc noueux, cime arrondie, rameaux effilées pendant avec grâce. Il présente un feuillage fin et délicat et prend souvent le port pleureur. Feuilles persistantes, alternes de 10 à 23 cm de long, pennées de 15 à 37 folioles de 2 à 6.5 cm de long, acuminées et presque glabres ; froissées, elles émettent une odeur de poivre. Fleur de juin à septembre. En panicules coniques ; chaque fleur blanche jaunâtre, de 4 mm de diamètre, est accompagnée de petites bractées, elle a un calice court à 5 lobes, 5 pétales étalés, 10 étamines, un ovaire, un loculaire à 3 stigmates. Fruits drupacées, groupés en panicules pendantes persistant l'hiver ; chaque fruit rouge, a la grosseur et la saveur d'un grain de poivre (Guignard, 1983 ; Cuda *et al.*, 2002).

II-3-3 Ecologie

L'essence est incombustible. Elle croît fort bien sur les sols lourds et calcaires. Elle semble résister correctement aux froids des hauts plateaux, de Djelfa, d'Aflou et de Saïda ville (Letrech-Belarouci, 1995).

II-3-4 Multiplication :

La multiplication se fait essentiellement par graines (Sahki *et al.*, 2004).

II-3-5 Utilisation

Le *schinus mölle* est une plante ornementale et utilisée en alignement. Ses fruits sont diurétiques, stomatiques, toniques. Son écorce et ses feuilles s'emploient sur les plaies et ulcères. Sa gomme –résine (résine de mollé ou mastic d'Amérique) est antigoutteuse, antirhumatismale et purgative ; elle est employée au chili et au Pérou comme masticatoire. Elle sert aussi dans l'industrie des vernis. Les feuilles ou leurs fragments déposés sur l'eau s'y meuvent par saccades dues aux expulsions de rejets de l'huile qu'ils contiennent (Bezauger, 1986).

Chapitre III : Le stress

III-1 Le stress

Introduction

Le mot stress est apparu autour de 1940. Il s'agissait d'un mot anglais, employé en mécanique et en physique, qui voulait dire « force, poids, tension, charge ou effort ». Ce n'est qu'en 1963 que Hans Selye utilise ce mot en médecine, où il définit « des tensions faibles ou fortes, éprouvées depuis toujours, et déclenchées par des événements futurs désagréables ou agréables ».

Claude Bernard fut le premier à dégager une notion physiologique du stress en 1868. Selon lui, les réactions déclenchées par le stress visaient à maintenir l'équilibre de notre organisme. L'ensemble de ces réactions internes a été nommé homéostasie par le physiologiste américain C.W. Bradford (1915), à partir du grec stasis (état, position) et homoios (égal, semblable à). Il y inclura en outre la notion de stress. Le lien stress-homéostasie-adaptation va perdurer jusqu'à nos jours et les recherches menées concernant ces processus sont à la base d'une littérature abondante. L'association de ces trois notions constitue l'approche biologique du stress et permet notamment d'expliquer l'influence du stress qui est de permettre, lorsqu'il est appliqué dans certaines limites, l'adaptation à l'environnement, et donc au maintien de la vie.

D'une façon plus générale, on peut dire qu'au niveau cellulaire, un stress est causé par la variation d'un paramètre environnemental qui entraîne la mise en place des mécanismes de régulation de l'homéostasie. Les organismes sont généralement soumis à deux types de stress : les stress biotiques (dus à une agression par un autre organisme) et les stress abiotiques (qui sont dus principalement à des facteurs environnementaux) (Levitt, 1980, Zhu, 2002 ; Vincent, 2006).

III-1 -1 Perception du stress

Les conditions de stress abiotiques constituent une source de signaux complexes pour les cellules. Un seul type de stress correspond à des variations physiques et/ou chimiques, ces composantes représentant pour la plante des informations différentes. Par exemple, une diminution de la température entraîne des contraintes mécaniques, un changement dans l'activité des macromolécules, ainsi que des modifications des conditions osmotiques du milieu extra-cellulaire. Les cellules végétales ne possèdent pas un récepteur spécifique d'un stress donné, mais plutôt un ensemble de récepteurs qui vont être sollicités par les différentes composantes du stress.

Parmi les récepteurs identifiés, on trouve les canaux (Ca^{2+}). En condition de stress thermique ou salin, il a été observé chez les plantes un influx de calcium dans le cytoplasme. Ce calcium provient soit de l'extérieur de la cellule, soit de stocks internes (knight *et al.*, 2000). Cet influx résulterait d'une activation des canaux calciques induite par les changements structuraux de la cellule. Cette supposition résulte des études de Pieth, (1999) montrant les liens entre les flux de (Ca^{2+}) et la température, considérant que la réorganisation de cytosquelette et la fluidité de la membrane plasmique sont les premiers changements structuraux liés aux froids (Orvar *et al.*, 2000 ; Sangwan *et al.*, 2001 ; Wang *et al.*, 2001).

Les histidines kinases (HK) représentent un autre récepteur du stress identifié chez les bactéries et les plantes. Ces enzymes transmettent un signal externe vers l'intérieur de la cellule par un système de phospho-relais à 2 composants. Chez *Echerichia coli*, les réponses osmotiques sont contrôlées par le système EnvZ-OmpR. Les changements osmotiques du milieu sont perçus par EnvZ, ce qui a pour effet de moduler les activités Kinases et phosphatases de cette enzyme. En cas d'hyper-osmolarité du milieu, une histidine du domaine kinase d'EnvZ est phosphorylée. Cette phosphorylation est suivie d'un transfert du groupe phosphorylé sur le régulateur OmpR. Dans le cas d'une hypo-osmolarité du milieu, OmpR est déphosphorylé. L'état de phosphorylation de OmpR influence ses propriétés de liaison à l'ADN, lui permettant de réguler la transcription de gènes cibles. Un système analogue, mais comprenant plus de 2 composants a été identifié chez les levures et les plantes. Ce système fonctionne de façon similaire au système à 2 composants mais inclut un ou plusieurs intermédiaires entre le récepteur membranaire et le facteur de transcription. Ces éléments intermédiaires sont nommés HPT (Histidine containing phosphotransfer) (Urao *et al.*, 2000). De tels systèmes ont été identifiés notamment chez *A. thaliana*. En effet, la protéine AtHK1 est fortement suspectée d'être un capteur osmosensible chez cet organisme modèle. ATHK1 possède deux régions hydrophobes trans-membranaires adjacentes à un domaine extra-cellulaire putatif situé en N-terminal, suggérant une homologie fonctionnelle avec l'osmosenseur de levure SLN1. L'expression d'ATHK1 dans des levure mutantes ne possédant pas l'osmosenseurs SLN1 permet à ces dernières de se développer normalement en conditions hyper-osmotiques (Urao *et al.*, 1999). Cependant, ces protéines HK interviennent aussi dans la perception d'autres signaux, tels que l'éthylène et les cytokinines (Urao *et al.*, 2001).

III-1-2 Transduction du signal

Suite à la perception du stress, le signal crée par les récepteurs doit être transmis à l'intérieur de la cellule. Cette transduction du signal est assurée par des seconds messagers qui vont activer des

voies enzymatiques assurant le fonctionnement de la cascade de réactions et permettant à la cellule de répondre au stress perçu (Vincent, 2006).

III-1-2-1 Le calcium

L'entrée de (Ca^{+2}) dans les cellules végétales a été observée en condition de stress abiotique, mais également lors de stress hormonaux (ABA : acide abscissique), biotiques ou lors de processus liés au développement. Cette augmentation transitoire de la concentration interne de calcium est due soit à un influx de calcium extracellulaire soit à une libération des stock intracellulaires (Knight *et al.*, 2000 ; Sanders *et al.*, 1999). La libération interne de (Ca^{+2}) est contrôlée par des canaux dépendant de ligands. Ces ligands sont les seconds messagers décrits chez les cellules animales (inositol polyphosphates, ribose ADP cyclique), qui ont une action similaire chez les plantes (Schroeder *et al.*, 2001). Ainsi la libération primaire de (Ca^{+2}) constitue un signal dont l'une des conséquences sera la production d'autres seconds messagers qui eux-mêmes provoquent la libération interne de (Ca^{+2}). Chacune de ces différentes étapes provoquant une cascade de réaction (fig 2). Un aspect important du (Ca^{+2}) en tant que messenger est la présence d'oscillations régulières de concentrations. Ces oscillations spécifique sont par exemple responsables de la fermeture des stomates (Allen *et al.*, 2000). De plus, ces variations dépendent de stress particuliers (Kiegle *et al.*, 2000), de l'intensité du stress (Plieth *et al.*, 1999) ainsi que de l'exposition précédente aux mêmes conditions de stress (Knight *et al.*, 1997).

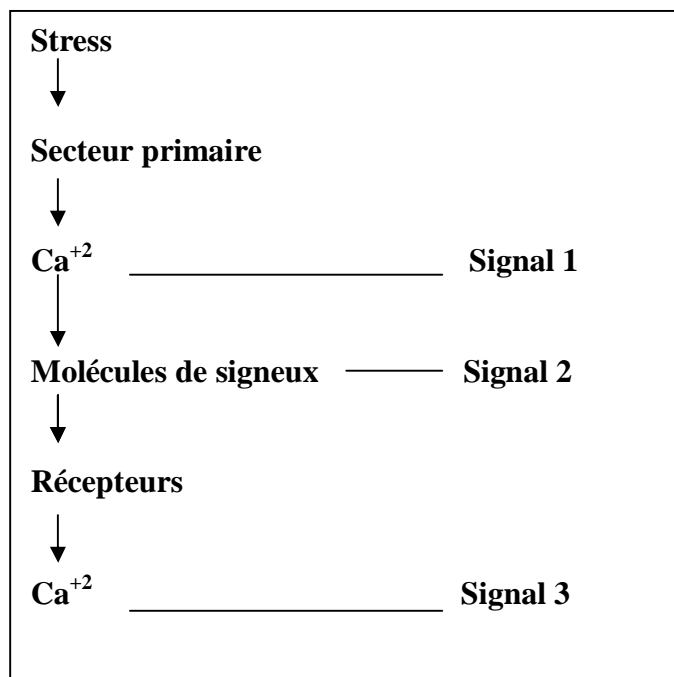


Figure 2 : Signaux calciques transitoires après perception du signal de stress

(d'après Xiong *et al.*, 2002)

III-1-2-2 la voie SOS

Parmi les voies métaboliques activées par le calcium et qui participe à la transduction du signal, une des plus étudiées à l'heure actuelle est la voie SOS (Salt Overly Sensitive). L'analyse de mutants SOS chez *A. thaliana* a permis l'identification de 3 protéines (SOS1, SOS2, SOS3), impliquées dans la réponse au stress salin. Le processus impliquant les SOS débute après la fixation de calcium sur la protéine SOS3 qui contient 3 sites de fixation du calcium et un site de N-myristylation (Ishitani *et al.*, 2000).

Les modifications conformationnelles provoquées par la liaison de Ca^{2+} à SOS3 vont permettre sa fixation à SOS2. Cette serine/thréonine kinase comporte un site catalytique kinase en N-terminal et une partie régulatrice très longue en C-terminal (Liu *et al.*, 2000). En condition normale, les sites régulateurs et catalytiques interagissent entre eux, empêchant la phosphorylation d'un substrat car il y a blocage de l'accès au site catalytique. La fixation de SOS3 à la partie régulatrice permet de libérer la partie catalytique (Halfter *et al.*, 2000).

L'interaction entre SOS2 et SOS3 se ferait grâce à la présence sur la partie régulatrice de SOS2 du motif peptidique FISL, dont la présence est nécessaire et suffisante pour une activation de cette protéine (Guo *et al.*, 2001). La première cible identifiée est SOS1, un antiport Na^+/H^+ situé dans la membrane plasmique, qui serait activé suite à la phosphorylation catalysée par la Kinase du complexe SOS2-SOS3 (Quintero *et al.*, 2002) (fig 3). La reconstitution fonctionnelle de cette voie chez *Saccharomyces cerevisiae* a permis de vérifier que l'influx de calcium consécutif à un stress salin déclencherait la voie SOS (Quintero *et al.*, 2002).

D'autres cibles pour la voie SOS ont depuis été suggérées, notamment AtHK1 dont l'activité serait régulée par SOS2-SOS3 (Zhu *et al.*, 2002). Ce même système serait activateur de l'antiport Na^+/H^+ des vacuoles. De même, d'autres protéines similaires à SOS3 (nommées ScaBPs) et SOS2 (nommées PKSs) ont été identifiées chez *A. thaliana* (Guo *et al.*, 2001). Des études menées par inhibition de certains de ces gènes indiquent que les protéines ScaBP5 et PKS3 interagiraient entre elles de façon analogue à SOS2 et SOS3. Le complexe formé permettrait de transmettre le signal résultant de l'influx de calcium provoqué par la présence d'ABA. Les chercheurs supposent que des systèmes analogues au système SOS sont impliqués dans les mécanismes de réponses à d'autres stress que le stress salin.

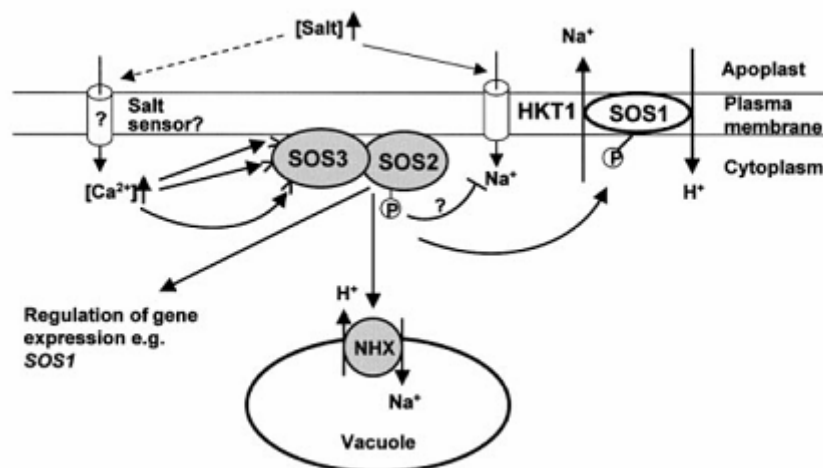


Figure 3 : Régulation de l'homéostasie ionique suivant un stress salin d'après (Chinnusamy *et al.*, 2004 in Vincent, 2006). Les flèches indiquent une régulation positive, les traits une régulation négative. SOS ; Salt Overly Sensitive, NHX ; échangeurs Na⁺/H⁺ vacuolaire, HKT1 ; Histidine Kinase.

III-1-2-3 Les protéines Kinases dépendantes du calcium (CDPKs)

Au contraire des kinases de type SOS2 et PKS, les CDPK (protéines Kinases dépendantes du calcium) interagissent directement avec le calcium. Les CDPKs possèdent une structure caractéristique composée d'un domaine sérine/thréonine protéine Kinase qui est fusionné en C-terminal à un domaine calmoduline-like, contenant des sites de fixation aux calcium (Cheng *et al.*, 2002 ; Harmon *et al.*, 2001). Le domaine de jonction entre les domaines Kinase et calmoduline-like agit comme un substrat auto-inhibiteur de phosphorylation en absence de calcium, réduisant ainsi l'activité de la protéine (Harmon *et al.*, 1994). Trente-quatre gènes codants des CDPKs ont été identifiés chez *A.thaliana*. Les recherches menées sur ces enzymes ont montré leur implication dans une variété de voies de réponses à différents stress. Par exemple la sur-expression chez le riz (*Oryza sativa*) d'OsCPK7 entraîne une augmentation de la tolérance au froid, à la sécheresse et au stress salin (Saijo *et al.*, 2000).

III-1-2-4 Les voies des MAPKinase

La cascade type de la voie des MAPKinases (mitogen activated proteine Kinases) est constituée du système MAPKKK-MAPKK-MAPK. Cette cascade est activée soit par une interaction physique directe entre le récepteur et une MAPKKK soit par la phosphorylation de médiateurs externes ou de MAPKKKK intermédiaires, provoquée par ces mêmes récepteurs. Le

système MAPKKK-MAPKK-MAPK illustre la complexité et l'interdépendance des différentes voies de signalisation visant à organiser au niveau cellulaire une réponse appropriée à un stress donné. Suite au séquençage complet du génome d'*A. thaliana*, 20 MAPK, 10 MAPKK et 60 MAPKKK ont été identifiées. Des protéines similaires ont été aussi isolées chez d'autres végétaux (Nakagami *et al.*, 2005). Il a été prouvé que les différents membres des voies des MAPK sont impliqués dans les mécanismes de réponses aux stress abiotiques et biotiques chez de nombreux organismes, notamment AtMEKK1, AtMKK1 et AtMKK2 en réponse au froid et au stress salin chez *A. thaliana* (Teige *et al.*, 2004).

III-1-2-5 Les phospholipases

Une autre forme de la transduction du signal résulte de l'action de phospholipases. Les phospholipases D (PLD) hydrolysent les phospholipides et produisent de l'acide phosphatidique (PA). Les PA agissent sur différentes protéines (par exemple des protéines Kinase, des NADPH oxydases) qui à leur tour entraînent une réponse cellulaire. 12 gènes codants des PLDs ont été identifiés chez *A. thaliana*, tandis que seulement 2 ont été identifiés chez les mammifères et un chez *S. cerevistae* (Wang *et al.*, 2002, 2004). Si les mécanismes d'activation de ces protéines ne sont pas connus, leur activité est augmentée principalement par l'ABA et les EAO (espèces actives d'oxygène). Ainsi, ces enzymes sont plus actives en conditions de stress tels que l'exposition au froid et au déficit d'eau (Frank *et al.*, 2002 ; Welte *et al.*, 2002). Les PLD jouent un rôle important dans les mécanismes de la réponse au stress, mais ce rôle varie d'une PLD à une autre. Par exemple, la suppression de PLD δ chez *A. thaliana* entraîne une baisse de la tolérance au froid tandis que sa sur-expression entraîne une meilleure tolérance chez ce même organisme (Li *et al.*, 2004). Par comparaison, la suppression de PLD α 1 entraîne une meilleure résistance au froid (Welte *et al.*, 2002).

III-1-3 Les modifications transcriptionnelles suite aux signaux de stress, acteurs de régulation

En plus d'activer des voies métaboliques telles que celles des SOS, les signaux transmis dans la cellule suite à un stress vont activer la transcription de gènes permettant à la cellule de survivre dans des conditions hostiles. L'activation de la transcription de ces gènes se fait par l'intermédiaire de facteurs de transcription. Ces protéines se fixent à l'ADN au niveau de motifs précis et induisent la transcription du gène en aval de ce motif. Par exemple, les facteurs de transcription CBF (C-repeat-binding-factor) ou DREB (dehydration responsive element binding factor) se lient à l'ADN au niveau de l'élément régulateur du froid et de déshydratation dénommé DRE (aussi appelé CRT pour C-repeat). Cet élément régulateur contient la séquence conservée

CCGAC. La présence de cette seule séquence est suffisante pour induire la transcription de gènes en cas de stress liés au froid (Baker *et al.*, 1997 in Vincent 2006).

Une autre famille de facteurs de transcription impliquée dans les mécanismes de réponse aux stress est constituée par les HSF (Heat Shock Factor). Ils sont responsables de l'activation de la transduction des protéines de choc thermique HSP (Heat Shock Proteins). Les HSFs sont très nombreux et complexes chez les plantes. On compte 21 HSF chez *A. thaliana*, 23 chez *Oryza sativa* et un nombre supérieur à 18 chez la tomate (Vincent, 2006 ; Mishra *et al.*, 2002).

III-1-4 Expression de protéines responsables de la résistance au stress

A la fin de la cascade de signalisation et suite à l'activation de facteurs de transcription, certains gènes vont être régulés afin de rétablir l'homéostasie cellulaire et contribuer ainsi à la résistance ou à l'adaptation de la cellule à un stress donné. Ces gènes codent généralement des enzymes impliquées dans la production de molécules osmorégulatrices, des transporteurs, des enzymes de détoxification, des chaperones (HSP 90, HSP 70 , HSP 100, Late Embryogenesis Abundant proteins LEA) (Zhu, 1998 ; Zhu, 2000 ; Xiong, 2002).

III-1-5 Les EAO (espèces activées de l'oxygène)

En cas de stress biotique ou abiotique, on observe chez les plantes une production rapide et massive d'espèces réactives à l'oxygène. Cette production d'EAO est donc considérée comme une réponse générale de la plante à un stress.

Alors que dans le cadre d'une réponse à un stress biotique les EAO ont un rôle de défense car ils sont toxiques pour l'organisme agresseur, ces molécules jouent un rôle de second messenger dans la réponse à un stress abiotique. Très peu de senseurs de ces EAO sont connus chez les plantes. Ce rôle de détection est assuré chez les procaryotes et les champignons par certaines histidines Kinases (Quinn *et al.*, 2002). La présence d'un nombre élevé de gènes codant ces protéines chez *A. thaliana* suggère un rôle des histidines kinases comme senseurs des EAO chez cet organisme (Hwang *et al.*, 2002).

Chez *A. thaliana*, H₂O₂ active les MAPK MAPK3 et MAPK6 via la MAPKKK ANP1 (Kovtun *et al.*, 2000). L'expression de cette dernière enzyme a permis d'augmenter la résistance aux chocs thermiques, à l'exposition au froid et à la salinité chez des plants de tabac qui expriment un orthologue d'ANP1 (KNP1) constitutivement actif (Kovtun *et al.*, 2000). Il apparaît également que les EAO jouent un rôle dans l'activation de facteurs de transcription. Cette régulation de la transcription s'opère grâce à des interactions entre des facteurs de transcription et des éléments *cis*

spécifiquement sensibles au stress oxydatif situés dans la région promotrice de certains gènes. Cette hypothèse a été explorée chez *A. thaliana* et a permis d'identifier plusieurs gènes pouvant être régulés de la sorte (Desikan *et al.*, 2001). De plus, 175 gènes dont l'expression était modifiée suite à l'exposition de la cellule à des EAO ont été identifiés. Ces gènes codent des protéines assurant des fonctions anti-oxydantes, ou étant associées aux mécanismes de défense et de réponse au stress. Les EAO se retrouvent donc à l'interface de toutes les étapes des mécanismes de la réponse à un stress abiotique et biotique. Leur rôle dans ces deux situations (fig 4) est différent, ce qui pose la question de savoir comment la plante régule la quantité d'EAO lors d'une exposition simultanée à ces deux types de stress (Vincent, 2006).

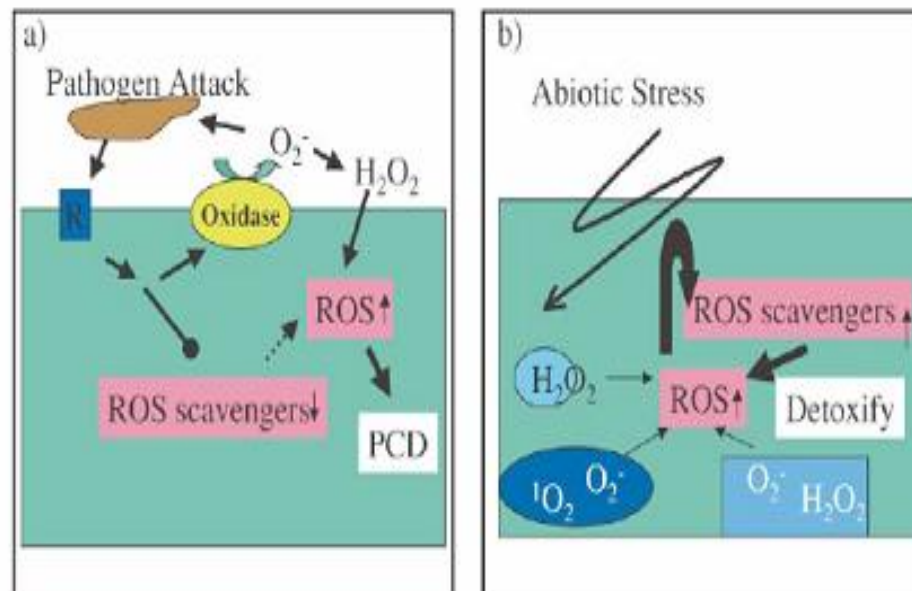


Figure 4 : Production et effets des EAO au cours de l'attaque par un pathogène (a) ou en condition de stress abiotique (b) (d'après Appel *et al.*, 2004 cité par Vincent, 2006).

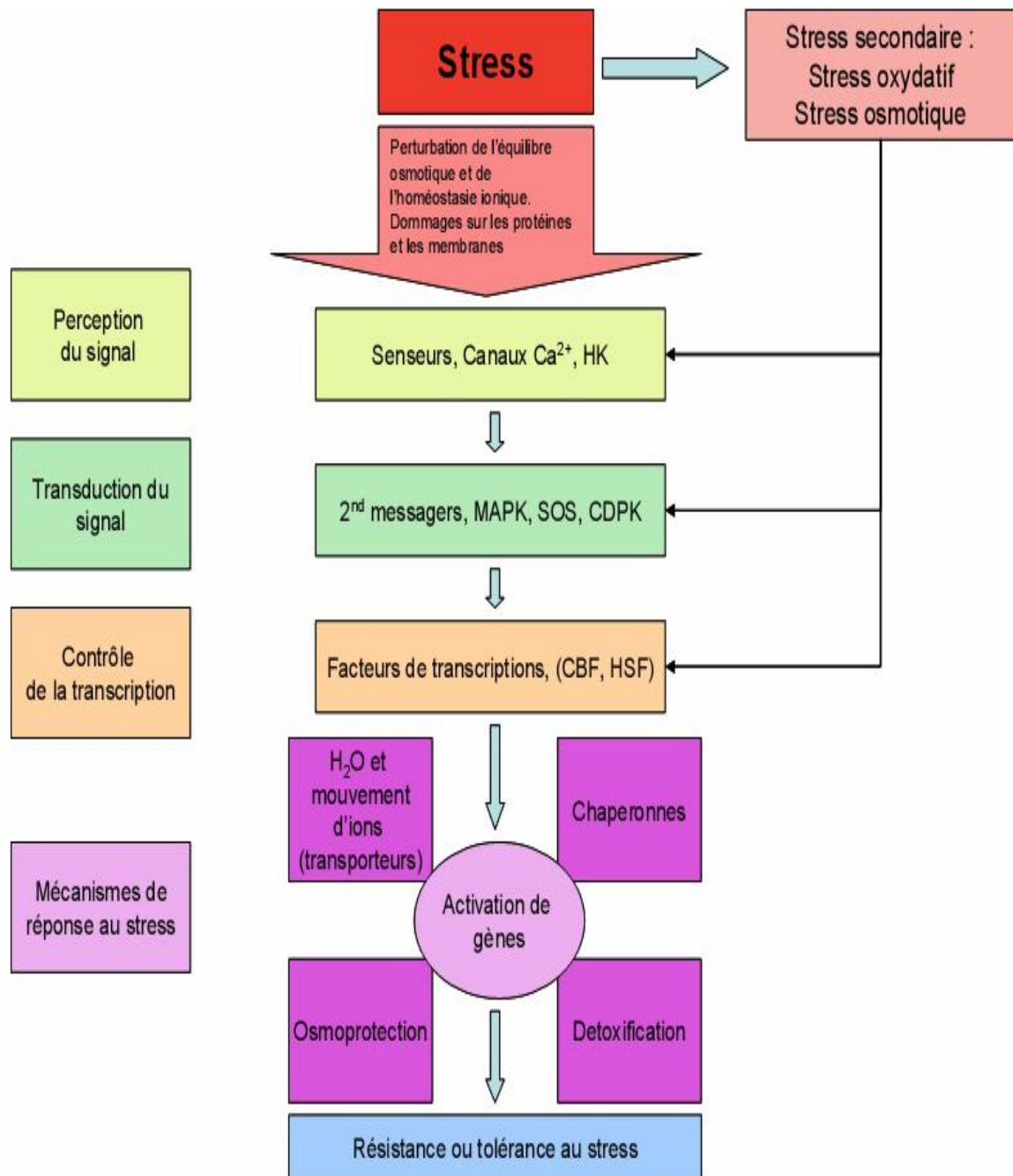


Figure 5 : Représentation générale de la réponse au stress chez les plantes (d'après Wang *et al.*, 2003)

En conclusion, la réponse aux stress chez les plantes est un phénomène complexe (fig 5), dont la cascade de réactions fait intervenir un grand nombre d'enzymes et de composés, qu'il s'agisse de protéines ou de molécules signal. Si une image des différentes étapes peut être déduite d'un grand nombre d'études, les connexions existantes entre ces différents stress passent souvent par des intermédiaires communs. Il devient alors très difficile de discerner de la perception à l'expression des gènes de réponse, les différents types de réponse de la cellule en fonction des divers types de stress (Vincent, 2006).

III-2 Comportement des végétaux vis-à-vis d'un stress salin

Introduction

La Salinisation est définie par la FAO (2001), comme un enrichissement en sels solubles de la surface et de la tranche supérieure du sol lorsque la salinité dans les 20 cm sommitaux dépasse 1 à 2% (20g de sel par Kg de sol).

Les sels les plus fréquents sont des chlorures, des sulfates, et des carbonates de sodium.

La présence de sels participe à la détérioration physique des sols par les charges électropositives des argiles conduisant à leur floculation et dont il résulte :

- Soit une compaction et la fermeture des pores du sol donc une baisse de la porosité, de la capacité de rétention en air, en eau, et en nutriments ; cette imperméabilité par dispersion des argiles entraîne une baisse de l'infiltration et accentue la sécheresse édaphique.
- Soit la pulvérisation par l'explosion des agrégats et l'apparition d'une structure particulière poudreuse, sensible à la déflation éolienne.

La salinisation est de deux types, primaire et secondaire :

La salinisation primaire contemporaine de la pédogenèse est dite naturelle lorsque les sels sont autochtones (présents dans le milieu) :

- Par héritage de dépôts d'évaporites paléoclimatiques ;
- Par dépôts de lacs salés intérieurs ;
- D'origine volcanique ; dans les aires volcaniques, les eaux allochtones sont alcalines, riches en sels carbonates sodiques issus du magma ou de l'hydrolyse des minéraux des laves ;
- D'origine océanique par intrusion d'eau marine dans les deltas ou les lagunes avec, par évaporation de l'eau, précipitation des sels halite, gypse, sylvite ;
- Apports éoliens liés à la déflation ;
- Liées à des eaux superficielles allochtones salées, qui peuvent être des pluies salées, des eaux de ruissellement salées lors de leur parcours sur des formations salines ;
- Par remontée capillaire des eaux souterraines salines artésiennes ou libres.

La salinisation secondaire, résultat d'activités agricoles sur un sol déjà formé, est corollaire de l'irrigation, à la fois conséquence de la quantité d'eau apportée, de sa qualité (nature et concentration des sels) de la texture des sols et du climat. Dans les aires de grande irrigation s'ajoute l'inadéquation du réseau de drainage des eaux usées souvent insuffisant par sa densité, par la profondeur des drains, par sa pente et son mauvais état (Maniguet, 2003).

L'extension de l'agriculture en irriguée et l'utilisation intense des ressources en eau dans un pays soumis à un climat chaud et sec entraînent inévitablement l'apparition du problème de salinité des sols et des eaux.

Actuellement 800 millions d'hectares de terres à travers le monde sont affectés par la salinité ; 397 millions ha sont salins et 434 ha sont salins et sodiques (FAO, 2005 in Diédhiou, 2006). L'Algérie, qui offre toutes les variantes du climat méditerranéen, n'échappe pas à cette règle. Souvent, la perte des terres à haut potentiel risque de compromettre les aptitudes et les capacités de production d'une région. Ce problème a été observé dans plusieurs régions du pays (Chellif, Relizane, Mohammadia, Sig, Ain Témouchent, Hautes-plaines de Sétif et de Constantine).

La situation grave dans laquelle se trouve certains périmètres irrigués de l'Oranie, illustre parfaitement les dimensions du phénomène (Kessiran, 2003).

Tableau 8: Classification des sols salins et sodiques

Terme	Descriptions	Effets sur la croissance des plantes	Définitions	Commentaires
Salinité	Les Sols salins en une concentration élevée en sels solubles. Ils sont classés comme salins quand $EC_e = 4 \text{ ds m}^{-1}$.	Cette définition de la salinité dérive de celle de la conductivité électrique (EC_e) cette dernière affecte le rendement de plusieurs plantes. Cependant, beaucoup sont affectés par une $EC_e < 4 \text{ ds m}^{-1}$.	Les sels spécifiques inhibent la croissance des pousses et des racines.	EC_e est la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturé, et reflète la concentration de sels dans un sol saturé. Une conductivité de 4 ds m^{-1} est équivalente à 40 mM de NaCl.
Sodicité	Les sols sodiques ont une concentration faible de sels solubles, mais un pourcentage élevé de Na^+ échangeable (ESP). Ils sont classés comme sodiques quand l'ESP est =15%.	Cette définition de sodicité dérive de l'ESP qui cause la dégradation de la structure des argiles des sols par le déplacement du Na^+ des cations bivalents liés aux charges négatives dans les particules d'argiles.	La mauvaise structure du sol inhibe la croissance des racines.	ESP élevé ; les particules d'argiles sont dispersées. Le drainage du sol devient mauvais. Le sol est inondé en conditions d'humidité et dure en conditions de sécheresse.
Alcalinité	Les sols alcalins sont un type de sols sodiques avec un pH élevé. Ils sont définis avec un ESP = 15% et un pH de 8,5 - 10.	Le pH élevé est causé par les sels des carbonates présents dans les matériaux d'origine.	Le PH élevé affecte l'absorption des éléments nutritives.	

(USSL, 2005 in Diédhiou, 2006)

III-2-1 Actions Métaboliques du sel

Les sols salins contiennent souvent des niveaux considérables de sels tels que Na_2SO_4 , MgSO_4 , CaSO_4 , MgCl_2 , KCl et Na_2CO_3 (Flowers et al, 1977).

Cependant, les sols sont souvent dominés par les sels de sodium (Na^+), calcium (Ca^{2+}) et/ou magnésium (Mg^{2+}). Le sodium (Na^+) est le sixième élément le plus abondant sur terre, et les sels du sodium (Na^+) se dissolvent aisément dans l'eau (Cramer, 2000). Généralement le sodium (Na^+) n'est pas essentiel pour la plupart des plantes, bien que leur croissance puisse être stimulée à faibles concentrations de Na^+ parce qu'il peut servir comme un osmoticum dans la vacuole, et réduire les besoins des plantes pour le potassium K^+ (Marschner, 1995).

Cependant quelques plantes nécessitent du sodium (Na^+) (plantes en C4), et quelques-unes montrent une nette amélioration de la croissance par addition de sodium Na^+ , quelquefois même à fortes concentrations (Flowers *et al.*, 1977; Munns et Termaat, 1986 ; Ben Nacer *et al.*, 2001).

Pour la plupart des plantes agricoles, la sensibilité à l'excès du sel est communément (mais pas exclusivement) dû à l'abondance de sodium (Na^+) dans le sol, ce dernier en excès est toxique aux plantes indépendamment d'anion compagnon (Munns *et al.*, 1986; Ashraf, 1994). Les Plantes qui sont capables de compléter leurs cycles de vie dans les environnements salins, montrent ou non une réduction de la croissance à fortes concentrations en sodium (Na^+) dépassant les 200 mM se sont des " halophytes". Par contraste, " les glycophytes" montrent une croissance dramatiquement réduite (Flowers *et al.*, 1977; Greenway *et al.*, 1980). Pour les glycophytes qui se développent dans les environnements salins, le stress par les ions sodium (Na^+) peut affecter plusieurs processus physiologiques, de la germination de la graine au développement de la plante.

Les conséquences d'un stress salin peuvent résulter de trois types d'effets que le sel provoque chez les plantes :

- Le stress hydrique : une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique.
- Le stress ionique : en dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique.
- Le stress nutritionnel : des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale. En particulier, vis-à-vis des transporteurs ioniques cellulaires, le Sodium entre en compétition avec le Potassium et le Calcium, les chlorures avec le nitrate, le phosphate et le sulfate (Levigneron *et al.*, 1995).

III-2-2 Action sur l'absorption

Chez les végétaux stressés par le sel, les concentrations des solutés organiques et inorganiques varient, selon les espèces, selon l'âge de la plante et selon le traitement salin. Chez les plantes cultivées sur milieu témoin sans sel, la concentration totale de la solution foliaire en solutés organiques tend à diminuer avec l'avancement en âge des plantes ; alors qu'un effet opposé est noté pour la concentration inorganique totale de la feuille (Rahmoune *et al.*, 1997 ; Ben nacer *et al.*, 2002).

La sensibilité à la salinité des espèces végétales est due notamment à l'absorption et à l'accumulation d'une quantité relativement élevée de (Na^+) et (Cl^-) au niveau des feuilles (Bell, 1999 ; Çiçek *et al.*, 2002). La grande accumulation de Cl^- dans les feuilles peut contribuer au maintien d'un gradient osmotique en condition de salinité modérée. C'est au niveau des feuilles que se visualise le plus l'effet toxique des ions chlorures. Les dégâts observés sur la végétation sont dus à la toxicité des chlorures (Cl^-) et non aux ions sodium (Na^+) qui sont généralement inoffensifs vis-à-vis de la plupart des plantes, et la surface foliaire nécrosée est souvent directement proportionnelle à l'accumulation des chlorures (Garrec *et al.*, 1989). Celui-ci s'exprime à partir de 20 mM de Cl^- dans la solution du sol pour les espèces sensibles, et jusqu'à 80 à 100 mM chez les plantes résistantes. Nous citerons par exemple le cas de *Picea omorika*, espèces sensible qui développe une chlorose des parties aériennes en réponse à des teneurs en Cl^- de 0,2 à 0,3 % seulement du poids sec des aiguilles (Marschner, 1990).

Suite à l'augmentation des teneurs en chlorures (Cl^-) et en sodium (Na^+) dans les feuilles, les teneurs en chlorures (Cl^-) peuvent être 500 fois supérieures aux teneurs en sodium (Na^+) chez *Acer saccharum* Marsh. Des teneurs en chlore supérieures à 3500-4000 ppm caractérisent les Épicéas intoxiqués par le sel de déneigement au voisinage des grands axes routiers. Le seuil de toxicité atteindrait 10000 ppm pour le Marronnier ou le Tilleul souvent employés en arbres d'alignement dans les villes.

Le sodium (Na^+) témoignerait pour des concentrations supérieures à 200 ppm chez l'Épicéa. L'ion sodium (Na^+) est lui aussi toxique et doit être au maximum limité dans les parties aériennes (Garrec *et al.*, 1989).

En présence de sel, l'absorption des cations Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} dépasse souvent celle des anions Cl^- , PO_4^- et NO_3^- ; ce qui engendre ainsi un déficit anionique pour le végétal. Dans les feuilles, les Chlorures (Cl^-) sont toujours accumulés proportionnellement à la teneur globale en sel

et en plus grande quantité que le (Na⁺) (Rahmoune *et al.*, 1998,2000). Le chlore, en entrant en compétition avec le NO₃, inhibe dans les plantes sensibles aux sels l'absorption et le transport à longue distance de cet anion vers les parties aériennes et engendre ainsi une carence nutritionnelle qui est estimée, par la différence entre la teneur globale en cations majeurs Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺ et Na⁺ et la teneur en Cl⁻ (Slama, 1986).

De nombreuses études ont montré que le stress salin réduit dramatiquement la fixation de l'azote N₂ et l'activité nitrogenase de nodosités chez les légumineuses herbacées examinées par (Zahran 1999 in Räsänen, 2002). Des phénomènes semblables ont été observés chez les Acacias et les autres légumineuses (Marcar *et al.*, 1991, Purwantari *et al.*, 1995, Zou *et al.*, 1995 in Räsänen, 2002). Chez l'*A. cyanophylla*, la salinité a diminué les concentrations des jeunes tiges en N, P et K (Hatimi, 1999 in Räsänen, 2002).

La toxicité du sodium (Na⁺) est due aux diverses interactions avec les autres cations cellulaires, et notamment le potassium (K⁺) et le calcium (Ca²⁺) (Binet, cité par Nabli in El Ayeb, 2001). Les feuilles des espèces côtières sont toujours plus épaisses à cause des embruns marins salés (Cartica et Quinn, 1980).

L'absorption des sels Chlorure et Sodium se fait à partir des racines mais un rôle important dans l'absorption des ions chlorure (Cl⁻) est attribué aux cires épicuticulaires et notamment aux alcanes constitutifs de celles-ci. Il existe aussi un passage direct au travers de l'écorce des arbres (Simini et Léone, cités par Garrec *et al.*, 1989 ; El Ayeb, 2001).

Les effets de la salinité sur la croissance d'espèces végétales limitatrices de l'absorption du sel « excluders » diffèrent de ceux observés chez des espèces « includers » ; vitesses relativement élevées d'absorption et de translocation des ions salés au niveau des tiges (surtout Cl⁻ et / ou Na⁺). On peut en conclure que l'influx de (Na⁺) dans les cellules du mésophylle est paradoxalement plus rapide chez l'espèce exclusive que chez l'espèce inclusive.

III-2-3 Action sur la translocation

La régulation du transport et de la distribution des ions dans les différents organes de la plante et à l'intérieur des cellules est un facteur essentiel du mécanisme de tolérance au sel (Greenway et Munns, 1980). Les plantes règlent leur équilibre ionique interne pour maintenir un métabolisme normal. C'est ainsi que l'absorption et la translocation des ions toxiques tels que (Na⁺)

et (Cl) sont limitées alors que celles des ions métaboliques tels que le (K⁺) et (P₂O₅) sont maintenues ou augmentées.

Le transport de l'eau, des éléments minéraux et des solutés organiques à faibles poids moléculaires se passe dans le système vasculaire du xylème et du phloème. Des analyses du phloème au niveau de la tige distale du plant avec des jeunes feuilles en croissance, montrent que ce système a surtout transporté les assimilats dans la direction des tissus actifs en croissance. Mais il est important de noter que le transport dans le phloème est aussi un composant important dans le cycle des minéraux nutritifs entre les tiges. En conditions salines et aussi pour la conduction des signaux de l'état nutritionnel des tiges.

En conditions salines, (Na⁺) et (Cl) peuvent être présents à des concentrations élevées dans le phloème, lesquelles dépendent fortement de la teneur externe en sels et de l'espèce végétale. Un éflux net considérable de Na⁺ dans le phloème reflète le rôle de ce transport dans le cycle des éléments minéraux et empêche son accumulation dans les tiges des plantes non halophytes (Marschner, 1995). Aussi la capacité de transport bidirectionnel à longue distance d'un ion spécifique peut être reliée au degré de tolérance des plantes au sel. A des niveaux faibles de salinité, le (Na⁺) s'accumule seulement dans les racines et la partie inférieure de la tige. En augmentant la salinité, le (Na⁺) migre plus en hauteur, arrive au niveau des feuilles et se localise surtout dans les pétioles. Le (NaCl) s'accumule plus fortement dans les feuilles de l'halophyte que dans celles du glycophyte ; mais c'est dans ce dernier cas qu'il est plus mobile (Zid et grignon, 1991).

Une limitation de l'accumulation foliaire de (Na⁺) réside dans sa ré-exportation à travers le phloème vers la partie racinaire de la plante donc, le sodium est soustrait du courant ascendant de sève brute au niveau des parties aériennes. Après avoir été ramené dans la racine, il peut éventuellement être libéré dans le milieu, réduisant ainsi son transport vers les feuilles. Cette re-circulation du sodium a été rapportée pour le Soja, le lupin , le ricin et le piment doux. Ainsi la translocation de (Na⁺) et (Cl) est assurée dans les tiges, l'accumulation dans les tissus (inclusion) et l'éflux par le phloème sont plus efficaces chez les espèces tolérantes que chez celles sensibles au sel (Zid et grignon, 1991).

D'après leur régulation de (Na⁺) et (Cl) la haute performance des espèces tolérantes peut être expliquée seulement par la compartimentation de ces ions dans les vacuoles pour servir à l'ajustement osmotique ; ces ions peuvent être aussi dilués par un mécanisme combiné de la croissance et de la re-circulation du (Na⁺). Cette capacité de régler l'efflux du (Na⁺) dans le phloème peut être considérée comme un aspect plus réaliste de la tolérance au sel (Zid et grignon,

1991) que celui de la concentration absolue du tissu qui peut être la conséquence de mécanismes opposés tels que la capacité d'inclusion ou l'incapacité d'exclusion. Par contre, Ces différences ne sont pas décelées pour le (Cl).

Berthomieu *et al.* (2003), découvrent un autre mécanisme chez *A. thaliana*, la recirculation via le phloème.

Par ailleurs, l'application des traitements salins ne semble affecter ni la teneur moyenne en azote global des parties aériennes, ni la distribution de cet élément entre les différents organes ; cependant les teneurs de ses composés libres s'en trouvent souvent modifiées.

III-2-4 Actions sur le métabolisme cellulaire

En conditions salines du milieu de culture, il est possible de mettre en évidence l'influence du sel sur des activités métaboliques de la plante comme l'absorption d'eau et de nutriments, l'ajustement osmotique, la synthèse de protéines et d'acides nucléiques, l'accumulation de solutés organiques, ainsi que sur la balance hormonale, dégâts membranaires, lésions au niveau du plasmalemme, changement de la structure et la perméabilité de la couche lipidique des cellules racinaires au biomolécules, le taux de respiration et la photosynthèse (Levigneron *et al.*, 1995 ; Bell, 1999).

L'effet immédiat d'une augmentation de la salinité sur le métabolisme cellulaire est déterminé par la diminution du gradient de potentiel hydrique entre la plante et le milieu, entraînant une déshydratation et une baisse de turgescence plus rapide dans les cellules épidermiques.

Les glycophytes sont capables de maintenir, dans une certaine mesure, leur hypertonie et leur turgescence, en milieu salé, grâce à l'accumulation des ions puisés dans le milieu et aux changements de la concentration interne de certaines de leurs substances organique. (Bernstein, 1975).

Les sols salins peuvent imposer des effets spécifiques ioniques sur les plantes parce que les fortes concentrations d'ions (Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-}) accumulés dans les cellules, agissent en désactivant des enzymes, en inhibant la synthèse des protéines ou en favorisant le dépliage menant à la dénaturation des protéines et en affectant la photosynthèse (Räsänen, 2002).

III-2-5 Effets de la salinité sur la photosynthèse

La salinité réduit la croissance et la photosynthèse de la plante, cette réduction est due aux effets complexes d'interactions osmotiques, ioniques, et nutritionnelles (Binaire, 1997 in Räsänen,

2002). La présence de chlorure de sodium dans le sol a généralement pour effet de réduire l'intensité de la transpiration des glycophytes et de nombreux halophytes en l'absence de toute diminution de la turgescence. Greenway et munns (1980), suggèrent que la salinité affecte en premier lieu la croissance de la plante puis la photosynthèse, causant suite aux phénomènes de « feed-back » une réduction de la capacité photosynthétique. Particulièrement chez les glycophytes, la présence continue de NaCl dans le milieu de culture entraîne une augmentation d'une part de l'épaisseur des limbes (ce qui deviendrait un élément limitant dans la porosité stomatique) et d'autre part des vitesses d'ouverture des stomates.

La photosynthèse étant réduite chez les plantes cultivées en milieu salin, Munns (1993), a tout d'abord pensé que cet effet dépressif serait à l'origine de la diminution de la croissance. Toutefois, comme cette croissance diminue plus tôt que la photosynthèse et, à long terme, elle décline davantage que cette dernière ; il a alors considéré que l'accumulation de carbone par les plantes serait affectée par la salinité à cause d'une réduction de l'indice foliaire plutôt que du taux de la photosynthèse.

Le sel peut également provoquer la modification de la densité des stomates, du nombre et du diamètre des vaisseaux du xylème chez les halophytes, ou accélérer le cycle biologique avec changement de la voie métabolique de fixation du carbone (Levigneron *et al.*, 1995).

III-2-6 Action du sel sur la croissance et le développement

Les effets de la salinité sur la croissance des plantes varient en fonction du type de salinité, de la concentration du sel, de l'espèce, de la variété, de l'organe de la plante, ainsi que de son stade végétatif (Levigneron *et al.*, 1995).

Les effets de la salinité se manifestent principalement par une diminution de la croissance de l'appareil végétatif, caractérisé par la faible ramification, le faible diamètre des organes, le nombre réduit des nœuds et les réductions du nombre de feuilles et de la longueur de la tige et par conséquent l'augmentation du rapport racine/tige. Une baisse des poids de matières fraîche et sèche est aussi démontrée (Rush *et al.*, 1981). Cette inhibition de la croissance des plantes se fait selon trois manières principales : par une toxicité ionique (surtout de Na⁺ et Cl⁻), un stress osmotique et une perturbation nutritionnelle (Greenway et Munns, 1980 ; Levigneron *et al.*, 1995). Une réduction de la croissance de la partie aérienne est la première réponse observée des glycophytes à l'augmentation de la salinité au niveau des racines ; il s'agit de l'effet destructif le plus significatif en cas d'une exposition prolongée à la salinité.

Le Chêne (*Quercus sp*) et le Robinier (*Robinia sp*) semblent parmi les espèces les plus résistantes aux climats tempérés. Ils tolèrent au maximum des doses de 250 mg de NaCl pour 100 g de sol. À l'inverse, les Épicéas manifestent des symptômes d'intoxication pour des teneurs du sol supérieures à 33 g de NaCl pour 100 g de sol. En règle générale les conifères semblent plus sensibles que les arbres à feuilles caduques (Garrec *et al.*, 1989).

La réduction de la croissance chez *E. camaldulensis*, *E. lesouefii*, *E. tereticornis*, *E. robusta* et *E. globulus* est en rapport avec la réduction de la teneur relative en eau, la conductance stomatique, la transpiration et la réduction de la photosynthèse nette (Van der moezel *et al.*, 1989b, Marcar, 1993 in Bell, 1999)

Il s'est avéré aussi que les feuilles sont les tissus les plus sensibles de la plante à une salinité excessive, par contre la croissance des racines s'en trouve faiblement affectée. Ainsi, le chlorure de sodium inhibe la croissance des racines des glycophytes, qu'elles soient réputées très sensible à la salinité, moyennement sensible ou plutôt tolérantes.

Néanmoins, cette inhibition est généralement moins marquée que celles des parties aériennes. C'est ainsi qu'une concentration élevée de sodium (Na⁺) et des chlorures (Cl⁻) peut être toxique aux plantes avec pour résultat une inhibition de la croissance (Greenway et Munns, 1980).

Une grande partie des pertes de croissance est aussi attribuée à l'accumulation ionique au niveau des feuilles. Cette accumulation est alors capable de gêner et de troubler l'activité enzymatique et les processus métaboliques ainsi que les microstructures des feuilles. La croissance peut être freinée au milieu salin par un approvisionnement limité en éléments minéraux indispensables tels que le potassium (K⁺) et les nitrates (NO₃⁻). Bois (2005), confirme que la réduction de l'absorption des ions (NO₃⁻) est à l'origine de la diminution de la croissance. Alors, la croissance des espèces végétales est ralentie lorsque la concentration saline du milieu externe dépasse 100 mM, et la salinité devient létale à partir de 300 mM (Greenway *et al.*, 1980).

Ainsi, il a été démontré que la cause primaire de la réduction de la croissance de la tige, chez l'orge et chez la tomate (Zid et Grignon, 1991) sous stress salin, est localisée au niveau des tissus jeunes qui sont encore en voie de croissance et non pas au niveau des tissus âgés ou photosynthétiques.

La salinité influe également sur la croissance et la qualité des fruits dont l'aspect fruits plus petits et nécrosés, et la qualité organoleptique sont modifiés (Mizrahi *et al.*, 1985 in Levigneron *et al.*, 1995). La production totale des fruits de plusieurs espèces et le poids moyen des fruits diminuent linéairement avec l'augmentation de la salinité. Normalement, l'obtention des fruits avec nécrose apicale est attribuée à un déséquilibre de Ca²⁺ et / ou à un stress hydrique.

L'irrigation à l'eau salée a aussi affecté le rendement en grains de la lentille sans pour autant modifier la production de la biomasse (Lachâal *et al.*, 1998).

III- 2-7 Mécanismes de toxicité du chlorure de sodium

III- 2-7- 1 Stress osmotique

Ce stress peut se produire dans la racine. Les plantes ont besoin de maintenir le potentiel hydrique interne au-dessous de la concentration du milieu pour maintenir la turgescence de leurs cellules et leur alimentation en eau et leur croissance.

Donc, le stress osmotique dans les racines se produit quand il y a une forte pression osmotique de la solution autour des racines, en menant à une baisse du potentiel hydrique externe. Dans ce cas, l'effet du stress hydrique résultant est attribuable aux fortes concentrations de sel à l'extérieur de la plante plutôt que dans la plante elle-même, qui peut inhiber l'alimentation en eau ou même, en causant la déshydratation de la plante et finalement une réduction de la turgescence et la croissance (Flowers *et al.*, 1977; Greenway et munns, 1980; Munns *et al.*, 1986; Munns *et al.*, 1995; Xiong *et al.*, 2002). Une légère limitation de la disponibilité de l'eau cause la réduction du niveau photosynthétique, mais plus loin les réductions peuvent mener à une inhibition complète de la photosynthèse.

Le stress osmotique peut se produire aussi dans l'apoplaste de la feuille, et ce mécanisme de toxicité du (Na^+) a été proposé en premier par Oertli (1968). Les fortes concentrations en (Na^+) apoplastique peuvent induire un flux d'eau des cellules, causer ainsi une baisse de la turgescence et une augmentation dans la concentration de solutés intracellulaires (Munns *et al.*, 1995). Communément les plus vieilles feuilles présentent en premier de tel dégât, comme ils ont été exposés plus longtemps, et par conséquent plus de temps d'accumuler le (Na^+) qui passe dans l'apoplaste à travers le flux du xylème et y réside si l'eau s'évapore.

De tel commande osmotique de transport d'eau des cellules provoque une tension sur les membranes et les macromolécules, interrompre les activités cellulaires naturelles, et pourrait causer même la mort des cellules. Comme l'eau produit une pression de turgescence qui est une force motrice pour l'expansion cellulaire, la baisse de turgescence pourrait résulter aussi du niveau de l'expansion cellulaire (Xiong *et al.*, 2002). Finalement, le stress osmotique peut se produire aussi dans les vacuoles de la feuille, comme le (Na^+) peut être quelquefois inapte comme un osmoticum dû à son effet légèrement perturbateur de la structure en réseau d'eau autour de protéines (Maggio, 2002). Avec des fortes concentrations de (Na^+) dans l'apoplaste de la feuille et quelquefois la vacuole, les cellules de la plante peuvent rencontrer des difficultés de maintenir un niveau faible de (Na^+) cytosolique et un rapport (K^+) / (Na^+) élevé (Maathuis *et al.*, 1999). Cela peut apporter au sujet une forme différente, stress ionique lequel est introduit au-dessous.

III-2-7-2 Stress ionique

Ce composant supplémentaire de stress salin est attribuable au rapport $(K^+)/ (Na^+)$ échangeable et la concentrations du (Na^+) qui sont néfastes aux plantes. La toxicité du Na^+ ionique peut être manifestée dans l'apoplaste cellulaire dû à son déplacement de / ou substitution pour le (Ca^{2+}) , comme ils ont un rayon ionique semblable de 0.097 nm et 0.099 nm pour (Na^+) et (Ca^{2+}) respectivement (Cramer, 2000). Cela résulte en une interruption de fonctions du (Ca^{2+}) dans l'apoplast cellulaire aussi, fortes et constantes concentrations physiologiques de (K^+) (100-200 mM), avec concentrations basses de (Na^+) 1 à 30 mM est exigé dans le cytoplasme pour les processus cytoplasmiques normaux (Jeschke *et al.*, 1983; Binzel *et al.*, 1985). Par exemple, pour réaliser son rôle dans la synthèse de protéine, le (K^+) est exigé pour l'agglutination de ARNt aux ribosomes et peut-être autres aspects de fonction ribosomales. La concentrations du (Na^+) au-dessus de 100 mM ou un faible rapport $(K^+)/ (Na^+)$ peuvent inhiber de telles fonctions à travers la capacité du (Na^+) de rivaliser avec le (K^+) pour ses sites de liaison (Na^+) (Greenway et munns,1980; Wyn Jones *et al.*, 1983; Gorham *et al.*, 1992; Tester et Davenport, 2003).

Les fortes concentrations en (Na^+) peuvent perturber aussi les fonctions enzymatiques cytosoliques parce que le (K^+) est un activateur essentiel de plus de 50 enzymes, le (Na^+) est incapable de remplacer le (K^+) dans ce rôle. De façon intéressante, les enzymes cytosoliques des halophytes sont aussi inadaptés aux fortes concentrations du sel, et présentent la même sensibilité vis-à-vis du sel comme les enzymes des glycophytes. Le (Na^+) peut causer aussi l'interruption de composants cytoplasmiques tels que les microtubules, microfibrils, spherosomes et ribosomes. L'accumulation du sel dans la plantule peut réduire la surface foliaire photosynthétique à travers l'inhibition du (Na^+) de la division et l'expansion et cellulaire (Flowers *et al.*, 1977 ; Rahmoune *et al.*, 1997 ; Ben Nacer, 2004, 2005 ; Rahmoune, 2005).

III-2-7-3 Stress secondaires

En plus d'imposer des stress osmotiques et ioniques, la forte salinité provoque aussi des stress secondaires. Par exemples, utilisation efficace d'éléments nutritifs nécessaires en particulier le (K^+) et le (Ca^{2+}) qui peuvent être affaiblis dans les sols salins, en causant des déséquilibres tel que la réduction du rapport $(K^+)/ (Na^+)$ et la déficience des plantules en (Ca^{2+}) , donc affecter plus loin leur croissance et leur productivité (Greenway et Munns, 1980; Zhu *et al.*, 1998; Essah, 2000). De plus, plusieurs rapports ont montré que le stress salin pourrait produire l'accumulation de

composés toxiques telle que les espèces réactives de l'oxygène (ROS) dans les plantes (Smirnoff, 1999; Allen, 1995).

III-2-7-3-1 Le stress oxydant

La terminologie «stress oxydant» est généralement utilisée pour toute agression environnementale ayant pour conséquence une production accrue d'oxydants, molécules toxiques dérivées de l'oxygène. Ces molécules dont l'oxygène singulet ($^1\text{O}_2$), l'anion superoxyde ($\text{O}_2^{\bullet-}$). Le radical hydroxyle (OH^{\bullet}) et le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) ont tendance par leurs propriétés oxydantes à arracher des électrons à d'autres molécules. Le stress oxydatif correspond à une perturbation du statut oxydatif intracellulaire, induite soit par production excessive de radicaux libres soit par une diminution de la capacité de défense anti-oxydante. Les effets de radicaux libres sont proportionnels à l'intensité et à la durée de leur production.

Une production transitoire et modérée de radicaux libres correspond à un mécanisme de défense de la cellule lui permettant, par exemple, de détruire des microorganismes pathogènes. Lorsque cette production est récurrente ou chronique mais reste modérée dans son intensité, la balance entre production de radicaux libres et système de détoxification de la cellule est perturbée de manière continue, et on parle alors de stress oxydatif. Si la production de radicaux libres est suffisamment importante elle altère de manière irréversible des processus cellulaires vitaux et déclenche la nécrose et la mort cellulaire.

Les radicaux libres réagissent avec des substrats oxydables (dont le glucose) et produisent des radicaux carbonyles. Ces derniers ont de multiples effets intracellulaires dont la glycation de protéines. L'altération de la structure de l'ADN, la génération de produits de peroxydation des lipides, et la modulation de la transcription de nombreux gènes (Eltner, 1982 ; Halliwell et Gutteridge, 1984 ; Allen, 1995 ; Essah, 2000 ; Paridaa *et al.*, 2005).

III- 2-7- 3- 2 Les composés réduits de l'oxygène :

D'après Pelmont (1995), les composés réduits de l'oxygène sont :

Oxygène moléculaire	O_2	$\cdot O-O \cdot$
Superoxyde	$O_2^{\cdot -}$	$\cdot O-O :$
Peroxyde	H_2O_2	$H : O-O : H$
Radical OH°	OH° et OH^\cdot	$H : O \cdot$ $H : O :$
Eau	H_2O	$H : O : H$

III-2-7-3-3 Formation des espèces réactives à l'oxygène et effets chez les végétaux

De nombreux travaux ont montré que plusieurs agents ou facteurs du milieu (métaux, UV, SO_2 , salinité, sécheresse, herbicides...etc) peuvent exercer une toxicité sublétales, dont les manifestations et les effets à l'échelle de la cellule ressemblent à ceux de la sénescence (Lagadic *et al.*, 1997 ; Niwa *et al.*, 2003 ; Guo *et al.*, 2004).

Dans les conditions optimales de croissance de végétaux, de nombreux processus métaboliques produisent des formes réactives de l'oxygène ; les principaux résultent des mécanismes photochimiques associés à ces derniers. Les cellules photosynthétiques sont en effet prédisposées au stress oxydatif parce qu'elles renferment un ensemble de pigments photosensibles, et qu'elles produisent et consomment de l'oxygène. Le système de transport d'électrons lié à la photosynthèse est la source majeure de formes réactives à l'oxygène (Asada, 1994 ; Foyer *et al.*, 1994). L'existence de ces formes réactives apparaît comme une conséquence inévitable du fonctionnement de ce système de transport d'électrons, même si l'importance exacte des réactions, en conditions non limitantes, est encore controversée.

Dans les cellules végétales l'activation de l'oxygène peut se produire dans différents compartiments et organelles ; chloroplastes, mitochondries, réticulum, peroxysomes et parois cellulaires. Dans les chloroplastes les principaux processus consommateurs d'oxygène associés à la photosynthèse sont (a) ; la réduction directe de l'oxygène moléculaire par la chaîne de transfert d'électrons du photosystème I (PSI) spécialement la ferredoxine (Paridaa, 2005) et (b) l'activité

oxygénase de la ribusco, la ribulose -1,5- biphosphate carboxylase, qui constitue l'étape primaire de la photorespiration, la réduction de l'oxygène quadruplet, qui donne de l'eau, est la dernière étape réactionnelle du transport d'électrons dans la mitochondrie. Elle est catalysée par la cytochrome oxydase, en marge de ce métabolisme normal de l'oxygène l'anion superoxyde, le peroxyde d'hydrogène et des radicaux hydroxyles peuvent être le produit du métabolisme propre des mitochondries (Eltner, 1982). Aussi l'appareil photosynthétique absorbe plus de lumière qui dépasse celle utilisée pour la fixation du carbone ; l'énergie absorbée est transmise aux molécules d'oxygène créant des espèces actives (Paridaa *et al.*, 2005).

III-2-7-3-4 Les marqueurs d'un stress oxydant

En cas de stress biotique ou abiotique, on observe chez les plantes une production rapide et massive d'espèces activées de l'oxygène. De nombreuses études ont été menées, notamment chez les plantes, afin de préciser quels facteurs entraînent ce phénomène. De nombreuses conditions environnementales ont ainsi été définies : la sécheresse, les stress thermiques (hautes et basses températures), l'exposition aux métaux lourds, aux ultra-violets, aux polluants aériens tels que l'ozone et le SO₂, les stress mécaniques, les carences en nutriments, les attaques de pathogènes, la salinité et les fortes expositions à la lumière (Asada, 1994 ; Lagadic *et al.*, 1997 ; Niwa *et al.*, 2003 ; Guo *et al.*, 2004 ; Allen, 1995 ; Desikin *et al.*, 2001 ; Ben Naceur *et al.*, 2005).

La recherche de marqueurs de tel stress pourrait constituer un moyen de détection et d'identification du facteur du stress.

§ Augmentation de la concentration cellulaire en espèces réactives d'oxygène

Le dosage par la résonance paramagnétique nucléaire des espèces actives d'oxygène constitue un moyen pour déceler la présence ou non d'un stress oxydant chez un organisme (Growford *et al.*, 1994 in Baccouch, 2001). Comme cité au dessus, tous les stress se traduisent par une accumulation supranormale de dérivés toxiques d'oxygène.

§ Augmentation du niveau de produits de peroxydation lipidique

L'un des produits qui résultent de la peroxydation des lipides membranaires est le malondialdéhyde, ce dernier serait un indicateur métabolique d'un stress oxydant (Heath et Packer, 1968 in Baccouch, 2001). Dans ce contexte, une accumulation du malondialdéhyde a été signalée lors d'un stress salin (Gossett *et al.*, 1994 in Baccouch, 2001).

§ Modification des activités des enzymes anti-oxydantes

La réponse aux stress chez un organisme fait intervenir un grand nombre d'enzymes, telles que la superoxyde dismutase, les peroxydases, la catalase et la glutathion réductase (Pelmont, 1995, Vincent, 2006).

A une modification quantitative des activités totales des enzymes précitées, pourrait s'ajouter une modification qualitative des profils isoenzymatiques correspondants (Karataglis *et al.*, 1991 ; Ezaki *et al.*, 1996 ; Chaoui *et al.*, 1997 ; Mazhoudi *et al.*, 1997 ; Pinhero *et al.*, 1997 cités par Baccouch, 2001).

III-2-7-3-5 Les mécanismes de défense anti-oxydatifs

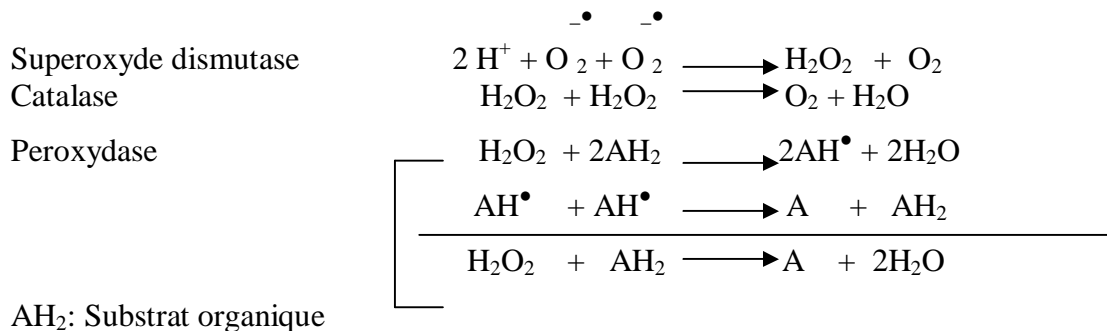
Les composés réduits de l'oxygène ont une chimie très étendue, sont à l'origine d'effets mutagènes et entraînent des altérations sur les protéines et les lipides. Pour faire face à ces inconvénients, les cellules vivantes se sont dotées de plusieurs armes efficaces pour éliminer ces EAO. Ces mécanismes peuvent être divisés en deux catégories selon qu'ils impliquent des enzymes de façon directe ou indirecte (Sofa *et al.*, 2004).

III-2-7-3-5-1 Les réactions de détoxification indirectes

La détoxification indirecte met en jeu des molécules et peptides permettant à la cellule de maintenir son équilibre oxydo-reducteur, principalement l'ascorbate et le glutathion (GSH), mais aussi le tocophérol, les flavonoïdes, les alkaloïdes et les caroténoïdes (Pelmont, 1995). Ainsi, des mutants d'*A. thaliana* et de tabac pour lesquels les productions d'acide ascorbique et GSH ont été diminuées sont hypersensibles au stress (Conklin *et al.*, 1996). Les EAO oxydent le GSH en glutathion oxydé (GSSG) et l'ascorbate en monodehydroascorbate (MDA) et déhydroascorbate (DHA) (Sairam et Tyagi, 2004). Ces composés sont ensuite réduits au cours du cycle ascorbate-glutathion. En cas de stress, la cellule a tendance à augmenter la production de GSH. De forts taux de GSH et d'ascorbate réduits sont maintenus par l'action de plusieurs enzymes ; les glutathion réductase (GR), les monodehydroascorbate réductases (MDAR) et les déhydroascorbate réductases (DHAR), qui utilisent le NADPH comme pouvoir réducteur (Sairam et Tyagi, 2004).

III-2-7-3-5-2 Les réactions de détoxification directes

Selon pelmont (1995), la voie enzymatique de détoxification d'EAO est basée sur les enzymes ci-dessous.



Plusieurs enzymes sont impliquées dans ce type de réactions. Ce sont principalement les superoxyde dismutases (SOD), les ascorbate peroxydases (APX), les glutathion peroxydases (GPX) et les catalases (CAT). Les SOD constituent la première forme de défense en catalysant la génération d'H₂O₂ à partir d'O₂⁻. Les CAT, GPX, et APX agissent ensuite en éliminant le peroxyde d'hydrogène. Pour fonctionner, l'APX nécessite des cofacteurs qui sont fournis par le cycle ascorbate –glutathion. L'APX permet la détoxification H₂O₂ en H₂O en oxydant l'ascorbate en MDA. Celui-ci peut être réduit par la MDA réductase (MDAR) qui utilise du NAD(P)H comme cofacteur. La génération de l'ascorbate est réalisée par la DHAR qui fonctionne en présence de GSH par la glutathion réductase (GR) en présence de NAD(P)H. tout comme l'APX, la GPX détoxifie également H₂O₂ en H₂O, la réaction se faisant en présence de GSH et génère du GSSG, la réduction du GSSG se fait également par la GR.

L'équilibrage des activités SOD, APX, GPX et CAT est primordial pour le contrôle de la quantité d'EAO dans la cellule. Toutefois, la suppression de l'activité de ces enzymes peut avoir des effets surprenants. Par exemple des plants de tabac pour lesquels une seule catégorie de ces enzymes est inactives (Rizhsky *et al.*, 2004 in Vincent, 2006).

§ Les peroxydases

Les peroxydases constituent une classe ubiquiste d'enzymes présentes dans différents tissus et compartiments cellulaires aussi bien chez les eucaryotes que chez les procaryotes (Gaspar *et al.*, 1982 in Baccouch, 2001).

Les guaïcol peroxydases sont des glycoprotéines localisées dans le cytosol, dans les vacuoles, dans les parois cellulaires et dans l'espace extracellulaire. Le guaïcol est utilisé comme donneur d'électrons, cette enzyme participe au développement de processus de lignification, biosynthèse d'éthylène et de défense (Sofa *et al.*, 2004 ; Paridaa *et al.*, 2005)

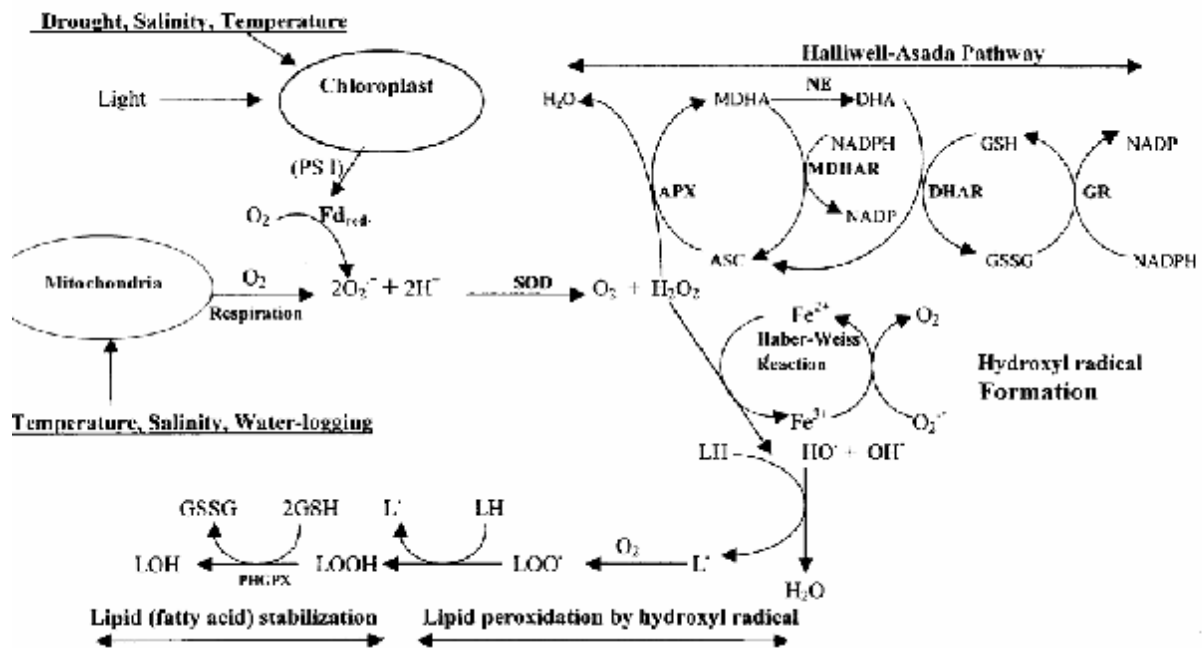


Figure 6 : Generation and scavenging of superoxide radical and hydrogen peroxide, and hydroxyl radical-induced lipid peroxidation and glutathione peroxidase-mediated lipid (fatty acid) stabilization. APX, Ascorbate peroxidase; ASC, Ascorbate; DHA, Dehydroascorbate; DHAR, Dehydroascorbate reductase; Fd, Ferredoxin; GR, Glutathione reductase; GSH, red glutathione; GSSG; Oxi-glutathione; HO, Hydroxyl radical; LH, Lipid; L[•], LOO[•]; LOOH, Unstable lipid radicals and hydroperoxidase; LOH, Stable lipid (fatty acid); MDHA, Monodehydro-ascorbate; MDHAR, Mono dehydro-ascorbate reductase; NE, Non-enzymatic reaction; PHGPX, Phospholipid-hydroperoxide glutathione peroxidase; SOD, Superoxide dismutase (Sairam et Tyagi, 2004).

III-2-8 Critères écophysiologicals de tolérance des plantes à la salinité

Une plante cultivée sur sol riche en sel doit faire face à sa pénétration dans ses tissus celui là est rejeté ou accumulé par les différents organes, tissus, cellules et compartiments cellulaires.

Les ions chlorure (Cl⁻) et sodium (Na⁺) pénètrent via les racines, transportés par la sève xylémique jusqu'aux tiges et feuilles. Là ils se trouvent soit stockés (plantes de type incluser), les feuilles sont riche en (Na⁺) que les tiges et les racines et le mécanisme de tolérance au sel est dû à la compartimentation des ions toxiques en particulier l'ion sodium dans la vacuole ; soit au contraire il son très peu retenus dans leurs feuilles (plantes de type excluser) et cette accumulation décroît selon la séquence racines-tiges feuilles et ces ions sont alors revéhiculés par la sève phloémique jusqu'aux racines (Levigneon *et al.*, 1995).

Deux types de comportement ont pour effet d'éviter la saturation en sel de l'apoplasme : l'influx et l'efflux des ions qui caractérisent aussi bien leur mobilité que leur circulation.

III-2-8 -1 Vitesse d'influx des ions

Dans les plantes de type « includer », le sodium est piégé et accumulé dans les cellules des parties aériennes, plus particulièrement dans leurs vacuoles (Hasegawa *et al.*, 2000 in Räsänen, 2002). Cependant, l'hypothèse la plus communément admise est que l'entrée de (Na^+) se fait contre son gradient électronique ; l'énergie nécessaire au transport de cet ion serait fournie par le gradient de protons engendré par la pompe à protons du tonoplaste. La vacuole se chargerait ainsi en sodium grâce à l'action d'un antiport sodium-proton Na^+/H^+ , lequel serait entretenu par le fonctionnement accéléré des pompes à proton Na^+/H^+ . L'existence d'un système d'échange Na^+/H^+ est largement signalé (Levigneron *et al.*, 1995). Il est alors admis que c'est la performance de stocker le sel dans les parties aériennes qui est déterminante dans le niveau de tolérance au sel des espèces.

Les plantes inclusives associent la résistance à la salinité avec l'aptitude à transporter de grandes quantités de NaCl dans les feuilles. Il semble que ces comportements résultent d'une bonne compartimentation cellulaire du (Na^+) ; ce qui explique la tolérance à l'accumulation foliaire, et aussi la faible re-circulation de cet ion à travers le phloème (Tal, 1983).

La concentration foliaire en éléments nutritifs chez *E. microtheca* avant et après le stress était semblable ce qui indique sa capacité de contrôle de l'absorption des sels ou la séquestration des ions toxiques dans les feuilles inférieures qui sont par la suite sénescence (Bell, 1999).

III-2-8 -2 Vitesse d'efflux des ions

Généralement, les glycophytes sensibles limitent le transport de Na^+ dans leurs organes aériens (Hasegawa *et al.*, 2000 in Räsänen, 2002). Sur le plan interspécifique, Slama, (1986) a montré que les espèces incapables de transporter facilement le (Na^+) dans leurs feuilles sont nettement plus sensibles que les autres, car leur inaptitude à exporter le sodium (Na^+) peut être probablement considéré comme un caractère moins protecteur que le reflet d'une déficience des systèmes de compartimentation cellulaire.

En effet, ces espèces semblent peu efficaces pour abaisser le niveau cytoplasmique de (Na^+), ce qui est peut être l'une des causes profondes de leur sensibilité au niveau cellulaire.

L'incapacité à débarrasser le cytoplasme du (Na^+) est due au caractère de cet ion qui est facilement transporté dans le phloème chez ces plantes (Slama, 1986). Il est donc continuellement ramené vers le bas de la plante. Ce comportement caractérise les plantes exclusives. Ces derniers semblent être dotées d'un mécanisme de protection contre l'envahissement par le sodium par

exclusion de cet ion de leurs parties aériennes (Cramer, 1997 ; Rahmoune *et al.*, 1998, 2000). Beaucoup d'Acacia et arbres peuvent grandir dans les sols salins ; le faible niveau foliaire du sodium Na^+ de quelques espèces tolérantes à la salinité étudiées suggère que les arbres étaient capables de l'exclusion du sodium Na^+ (Virginia et Jarrel 1983, Marcar *et al.*, 1991 in Räsänen, 2002).

IL est aussi indiqué que la capacité d'exclusion de (Na^+) et / ou (Cl^-) des tiges est bien corrélée au degré de tolérance au sel. La capacité d'exclusion de (Na^+) des parties aériennes est en accord avec la relation négative trouvée entre l'accumulation des ions toxiques (Na^+ et Cl^-) dans les feuilles et la croissance des parties aériennes de Tomate poussant en conditions salines. Le maintien d'une faible concentration de (Na^+) dans les feuilles peut être dû à un mécanisme d'exclusion qui provoque une accumulation de (Na^+) dans les racines, évitant une translocation excessive aux tiges ; mais, il peut être aussi lié à une mobilité élevée du Na^+ dans le phloème. Cependant, certaines mesures physiologiques concordent pour suggérer l'existence d'une expulsion active du sodium cytoplasmique vers l'apoplasme ou vers la vacuole, protégeant ainsi les équipements enzymatiques du cytoplasme dans les organes aériens (Greenway et Munns, 1980).

L'étude faite par (Van der moezel *et al.*, 1988 in Bell, 1999) montre que la plupart des espèces tolérantes à la salinité parmi un grand nombre d'Eucalyptus et Casuarina exclut le sodium Na^+ et les chlorure (Cl^-) de leur jeunes pousses en développement. Le site d'exclusion apparaît dans les racines. Les espèces intolérantes présentent une forte absorption du sodium (Na^+) et une faible concentration racinaire en potassium (K^+). Dans d'autres études comparatives la résistance à la salinité dans un groupe d'*Eucalyptus* Australien est fortement liée à l'habileté de réduire l'absorption des ions (Termaat 1986 ; Bell, 1999).

Il y a une évidence mondiale que la capacité d'exclure l'ion (Na^+) et l'ion (Cl^-) de jeunes feuilles est un attribut important d'arbres tolérants la salinité (Allen *et al.*, 1995 ; Bell, 1999 ; Räsänen, 2002).

III-2-8 -3 Critères de sélection

La sélectivité de (K^+) par rapport au (Na^+), est un critère physiologique important pour caractériser la tolérance au sel de plusieurs espèces. Le concept de sélectivité d'une plante paraît une fonction des besoins de chaque phase physiologique. Il ya une inégalité dans l'absorption de K et de Na. L'absorption de K est plus forte que celle du Na d'après Mazliak in Snoussi *et al.*, (2005), la majorité des cellules ont un système d'exclusion active de sodium et un système d'absorption active de potassium pendant l'utilisation du mécanisme cellulaire " la pompe de sodium." (K^+) et

(Na⁺) sont présentés dans la forme d'antagoniste ou d'inhibition mutuelles des ions. L'analyse des plantes montre qu'elles contiennent des proportions différentes d'éléments minéraux dont le contenu en potassium (K⁺) dépasse pour une grande part les autres éléments (Rahmoune *et al.*, 2004). Cette importance est liée à son rôle fondamental dans la régulation des fonctions de la plante et la croissance végétative, en supportant la synthèse de sucres et leur transfert vers les parties de réserve, qui interviennent dans l'assimilation chlorophyllienne (Hellali, 2002 ; Skiredj, 2005 ; Snoussi *et al.*, 2005).

Le passage du sodium des racines vers les feuilles est un mécanisme de résistance à la salinité, les espèces de tomate résistantes à la salinité dégagent facilement le sodium (Na⁺) des racines vers la partie aérienne. Inversement, les espèces de la fève sensible à la salinité, le (Na⁺) migre très lentement vers les tiges et les feuilles (Snoussi *et al.*, 2005).

La régulation de la concentration en Na⁺ et le niveau du rapport K⁺/Na⁺, en association avec la tolérance au sel, ont été également rapportées par Sacher *et al.*, (1983) et (Weimberg, 1986, Hagibagheri *et al.*, 1989, Tipirdamaz et Çakirlar, 1989 in Çiçek *et al.*, 2002).

Les différences d'exclusion de (Na⁺) et de (Cl⁻) existent entre les cultivars et les espèces. Par exemples, la haute tolérance au sel de certains cultivars de Blé, d'orge et d'agrumes est reliée à une restriction plus efficace du transport de (Na⁺) et de (Cl⁻) dans la partie aérienne tandis que dans les cultivars d'Haricot et de vigne, elle est principalement reliée à la restriction du transport de (Cl⁻). La rétention du (Na⁺) dans les racines et la restriction de sa translocation à la partie aérienne paraît jouer également un rôle important dans la tolérance à la salinité des plantes sauvages.

En général, les concentrations de (Ca²⁺) et de (Mg²⁺) dans les différentes parties de la plante, particulièrement dans les feuilles, sont faibles à une salinité élevée et une longue durée de traitement salin. Une faible diminution du contenu des feuilles en (Ca²⁺) et (Mg²⁺) sous un stress salin implique une haute tolérance au sel. Yeo (1983), chez le riz montre aussi que la diminution de la croissance des tiges et celle de la production observées en condition de salinité élevée peuvent être expliquée non seulement par une grande quantité d'ion toxiques accumulés dans les feuilles mais aussi par la diminution de (NO₃⁻) dans les jeunes feuilles, tant que la sélectivité de (NO₃⁻) par rapport au (Cl⁻) dans les parties aériennes est corrélée avec la tolérance à la salinité, celle-ci est généralement liée à la capacité de régler l'absorption de (Na⁺) et (Cl⁻) par les racines et la translocation subséquente aux parties aériennes. Ce chercheur notent aussi que les plantes sensibles « exclusives » se distinguent des plantes tolérantes « inclusives » par une forte sélectivité observée en faveur du (K⁺) dans leurs feuilles. Au niveau des racines, ce sont au contraire, les plantes les plus résistantes qui présentent la plus forte sélectivité pour le (K⁺).

III-2-8 -4 Ajustement osmotique et solutés compatibles dans les plantes

L'ajustement osmotique est un processus par le quel le potentiel hydrique de la plante peut être diminué sans être accompagné d'une baisse de la turgescence (Taiz et Zeiger 1998 in Räsänen, 2002). (Bell, 1999 ; Turner *et al.*, 2000 in Räsänen, 2002) définissent l'ajustement osmotique comme une accumulation active de solutés par la plante en réponse au déficit hydrique croissant dans le sol et/ou plante, en maintenant la turgescence ou en réduisant le taux de perte de celle-ci, comme réponse à la baisse du potentiel hydrique. L'ajustement osmotique se produit alors à travers une compartimentation d'ions toxiques loin du cytoplasme dans la vacuole et/ou à travers l'accumulation de solutés organiques, tel que les solutés compatibles dans le cytosol (Hasegawa *et al.*, 2002 in Räsänen, 2002).

Les solutés compatibles, accumulées pendant l'ajustement osmotique, sont des composés très solubles qui ne portent aucune charge nette à pH physiologique, et sont non-toxiques à fortes concentrations intracellulaire et à plus hautes températures. Sous des conditions osmotiques défavorables, les solutés compatibles élèvent la pression osmotique dans le cytoplasme et stabilisent les protéines et les membranes (Yancey *et al.*, 1982, Csonka 1989, McNeil *et al.*, 1999 in Räsänen, 2002). Les mécanismes de l'osmoprotection des solutés compatibles sont supposés être en rapport avec l'absence d'effets perturbateurs d'interactions macromolécule-solvant. Les ions inorganiques, tel que l'ion sodium (Na^+) et l'ion chlorure (Cl^-), réagissent directement avec les protéines, favorisant le dépliage menant à la dénaturation des protéines, alors que les solutés compatibles sont exclus des surfaces protéiniques (Rhodes et Hanson, 1993 ; McNeil *et al.* 1999 in Räsänen, 2002).

Les plantes peuvent synthétiser trois types de solutés compatibles:

- Betaines ou composés d'ammonium quaternaire (par exemple la glycine- betaine) et les composés sulfoniques tertiaires (par exemple β -dimethylsulfonepropionate, DMSP dans les micro- algue marine) ;
- Polyols et sucres (par exemple tréhalose)
- Acides aminés (par exemple proline) (McNeil *et al.*, 1999 in Räsänen, 2002 Rahmoune, *et al.*, 2005).

Tableau 9 : Les composés osmoprotecteurs accumulés chez les plantes en conditions de stress salin et hydrique (Sairam et Tyagi, 2004).

Carbohydrates	Composés azotés	Acides organiques
Sucrose	Protéines	Oxalate
Sorbitol	Betaine	Malate
Mannitol	Glutamate	
Glycerol	Aspartate	
Arabinitol	Glycine	
Pinitol	Choline	
Autre polyols	Putrescine	

Les plantes peuvent synthétiser plusieurs solutés compatibles, la composition de l'ensemble varie en fonction des espèces. L'accumulation de la glycine- betaine se produit dans diverse algues marines et dans approximativement 10 familles de plantes à fleurs. La famille des Chenopodiaceae renferme plusieurs espèces qui accumulent la glycine-betaine, par exemple la betterave à sucre, *Bêta vulgaris* et les épinards ainsi que d'autres espèces tel que le tournesol, le blé et le maïs (Levigneron *et al.*, 1995 ; McNeil *et al.*, 1999 in Räsänen, 2002).

Généralement les teneurs en acides aminés (surtout la proline) à l'état libre s'accroissent rapidement chez de nombreuses monocotylédones ou dicotylédones soumises à un stress salin (Levigneron *et al.*, 1995). La proline est l'osmolyte le plus commun parmi les plantes (Erskine *et al.*, 1996 in Räsänen, 2002). Plus élevé chez les variétés sensibles de tomate que chez les espèces sauvages quand le stress est maintenu pendant une longue durée. Les jeunes feuilles accumules plus de proline, elles sont moins chargées en ions que les feuilles basales chargées en ions (Na⁺) et (Cl⁻) (Bell, 1999 ; Hernandez, 2000). La proline peut agir comme un osmoticum dont l'accumulation cytoplasmique permet de neutraliser les effets ioniques et osmotiques de l'accumulation du sel dans la vacuole, en facilitant l'exclusion des sels des sites métaboliques. Selon un autre point de vue, cette accumulation n'est pas une réaction d'adaptation au stress, mais plutôt le signe d'une perturbation métabolique (Hanson *et al.*, 1990 ; Larher *et al.*, 1993 in Hernandez, 2000).

Hernandez *et al.* (2000), observent en outre différent changements dans le taux de polyamines, glutamate et arginine chez la tomate sous stress salin puisque l'origine de

l'accumulation de la proline paraît provenir d'une intensification de la transformation de l'acide glutamique en proline ou d'une conversion à partir de l'ornithine qui doit fonctionner chez beaucoup de plantes stressées. Elle peut résulter aussi de synthèses nouvelles à partir de l'arginine et du glutamate et d'une augmentation de la protéolyse.

Les sucres peuvent servir de composés solubles compatibles pour cet ajustement osmotique, comme de nombreuses autres molécules. De nombreuses études ont mis en évidence l'accumulation de sucres solubles lors de la dessiccation. Différents sucres solubles peuvent être présents dans les tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation. De même, la synthèse des sucres et des polyols est stimulée par un stress salin. De jeunes plantes de pois chiche, (*cicer arietinum*), cultivées en présence de chlorure de sodium, présentent de fortes quantités de saccharose et de sucre-alcool, le pinitol. (Dubos 2001 ; Sairam et tyagi, 2004).

Les composés inorganiques peuvent aussi avoir un effet dans la régulation osmotique et dans la tolérance à la salinité. Il semblerait même que ce type de molécules soit plus efficace que les composés organiques. En effet leur concentration peut être très élevée dans la vacuole et l'apoplaste pour un coût énergétique très faible (Hare *et al.*, 1998). La compartimentation des ions fait appel à un gradient électrochimique lié aux protons (H^+). Il a été montré par Niu *et al.*, (1993) que la sous-unité de 70-KDa d'une ATPase de la membrane plasmique et du tonoplaste était régulée par un stress salin. Sur des plantules de pin maritime (*Pinus pinaster*) soumises à un stress salin, Nguyen-Queyrens *et al.*, (1995) ont montré qu'il y avait au niveau racinaire une accumulation plus importante d'ions K^+ chez la race tolérante au stress hydrique par rapport à la race sensible. Une accumulation de transcrits codants pour des transporteurs ioniques a été démontrée aussi bien chez *Arabidopsis* que chez le pois (*Pisum sativum*). Ces transporteurs favorisent le déplacement de sels entre les compartiments de la cellule (Yamaguchi-Schinozaki *et al.*, 1992 in Dubos, 2001).

Partie II : Matériels et méthodes

Introduction

Le présent travail a été entrepris en vue de déterminer les modifications eco-physiologiques chez trois espèces ligneuses (*Schinus molle*, *Acacia cyanophylla*, et *Eucalyptus gomphocephala*) soumises à différents traitements de NaCl. Les différentes doses de NaCl ajoutées à l'eau de robinet déterminent le seuil de tolérances pour chaque espèce dans nos conditions expérimentales et les modifications physiologiques et biochimiques pour chaque seuil de tolérance.

1- Protocole expérimental :

1-1-Conditions de culture :

1-1-1 Matériel végétal :

Les essais sont portés sur des plants de trois espèces ; *Acacia cyanophylla*, *Eucalyptus gomphocephala* et *Schinus molle* âgés de neuf mois. Les plants sont issus de graines semées et élevées en pépinières de Djebel-El- Ouhch et Hamma Bouziane – Constantine.

L'expérimentation a été conduite en chambre de culture de la station expérimentale en conditions semis contrôlées (tableau 10).

Les plants apportés des pépinières sont transplantés dans des pots en plastiques de 35 cm de hauteur et 20 cm de diamètre remplis de terre végétale analysée au laboratoire (tableau 11), et irrigués en raison de 250 ml pour maintenir les pots à leur capacité au champs. Après un temps d'acclimatation qui a duré trois mois, les plants sont soumis au stress salin par application de différents traitements par une solution saline à base de NaCl.

Tableau 10 : Caractéristiques de la chambre de culture

Période	Jour	Nuit
Conditions		
Photopériode	16 h	8h
Température	non contrôlée	non contrôlée
Humidité	non contrôlée	non contrôlée
Intensité lumineuse	2925 V/30 m ²	0

Tableau 11 : Composition physico-chimique et caractérisation du substrat

Caractéristiques	Constituants	Proportions
Texture : Argile sableuse	Argile %	27.7
	Limons %	3.2
	Sable %	69.1
Eléments chimiques majeurs	Matière organique%	2.763
	Carbone %	1.38
	P ₂ O ₅ assimilable	9,29
	Calcaire total %	2.85
	Calcaire actif %	-
Caractéristiques hydriques	PH eau	7.51
	Conductivité (µs/cm)	166

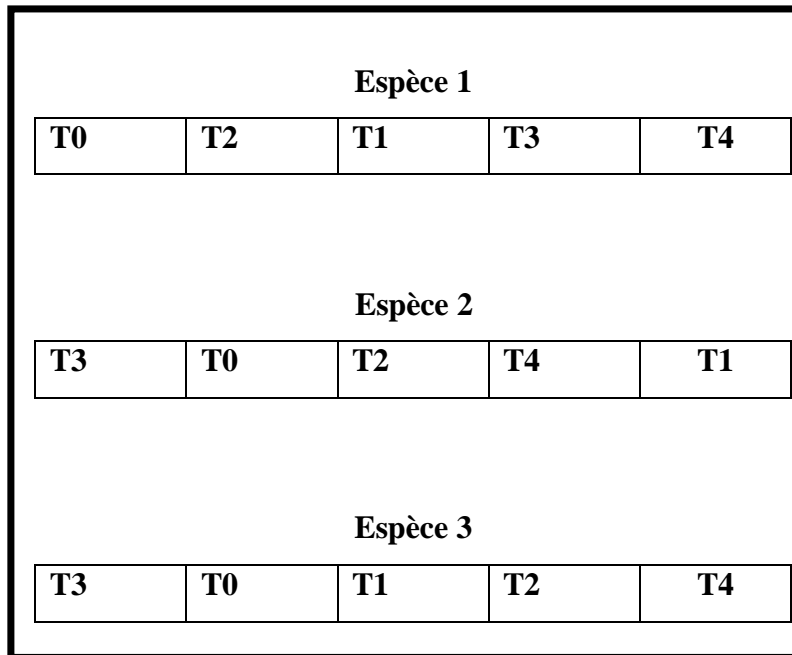
1-2 Dispositif expérimental

Les plants des trois espèces sont exposés à différents traitements ;

-Le premier traitement consiste à appliquer un stress modéré correspondant à une solution saline de 4 g/ l de NaCl ;

- § Le deuxième traitement correspond à une solution d'arrosage de 8 g/ l de NaCl ;
- § Le troisième traitement correspond à une solution d'arrosage de 12 g/ L de NaCl ;
- § Le quatrième traitement correspond à une solution d'arrosage de 16 g/L de NaCl ;
- § Le cinquième traitement constitue le témoin.

Le nombre des plants utilisé : 5 doses X 3 genre d'espèces X 6 répétitions = 90 plants.



Espèce1 : *Schinus môle*

Espèce2 : *Acacia cyanophylla*

Espèce3 : *Eucalyptus gomphocephala*

T : traitement

Figure 7 : Schéma du dispositif expérimental

2- Paramètres mesurés :

Il est difficile de suivre le comportement d'une plante à partir d'un seul paramètre, en effet le suivi du comportement des plantes vis-à-vis du stress salin a été basé sur plusieurs paramètres morphologiques et physiologiques.

2-1- Paramètres morphologiques :

2-1-1- Mesure de la croissance en longueur :

Les plants ont été récoltés en séparant les racines des tiges. Les systèmes racinaires ont été lavés soigneusement à l'eau puis essorés rapidement avec du papier filtre. Les longueurs des parties aériennes et souterraines ont été mesurées à l'aide d'une règle graduée. Les valeurs données sont les moyennes des six répétitions par espèces/ traitement.

3-1-2- Mesure de la croissance pondérale :

La biomasse exprimée en gramme a été effectuée par pesée de la matière fraîche, puis de la matière sèche après étuvage à 85⁰ C jusqu'à l'obtention d'un poids constant (48 h).

3-1-3 Rapport partie aérienne et partie souterraine (PA/PS) :

Le rapport en longueur et celui en biomasse des parties aériennes rapportées à celles des racines ont été déduits à partir des valeurs moyennes des longueurs et des poids de la matière sèche.

2-1-4 La surface foliaire :

La mesure de la surface foliaire au cours de la période de traitement est effectuée à la fin de l'expérimentation à l'aide d'un planimètre (scanner de type : Area Meter AM200).

2-2 Paramètres physiologiques :

La connaissance des seuils de tolérance des espèces nécessite la connaissance de leurs aptitudes écophysologiques. De nombreux travaux ayant déjà porté sur ces paramètres les considèrent comme indicateurs de la résistance à la salinité, notre travail étant orienté dans ce sens a pour objectif de contribuer à une meilleure connaissance des caractéristiques écophysologiques d'*Acacia cyanophylla*, *Eucalyptus gomphocephala* et *Schinus Mölle*.

2-2- 1 Activité des peroxydases

2-2-1-1 Extraction des peroxydases et des protéines totales

- Extraction et dosage des protéines

100 mg de matériel végétal frais (feuilles et racines) est broyé dans l'azote liquide et homogénéisé dans 300 ml de tampon constitué de :

Tampon phosphate	50 mM, PH 7
PVP	1% (W/V)
Triton X- 100	0.1%
K- acetate	50 mM
KCL	100 mM
NaCl	1 M
CaCL ₂	1 mM
Acide ascorbique	1 mM

Le mélange obtenu est centrifugé à 15000 g pendant 15 min à 4 ° C à l'aide d'une ultra centrifugeuse réfrigérée, le surnageant est récupéré pour doser les protéines solubles ainsi que pour la détermination de certaines activités enzymatiques.

- Dosage des protéines solubles

Les protéines solubles ont été dosées selon la méthode de Bradford (1976) selon (Gavrilovic *et al.*, 1996) se basant sur le principe qu'en milieu acide les protéines forment des complexes avec certains colorants organiques, le plus souvent les colorants azoïques à groupements acides sulfoniques qui se fixent sur les groupements protonés des chaînes latérales des acides aminés basiques (Lysine-Arginine-Histidine) et sur le α -NH₂ libre de la chaîne polypeptidique pour une structure primaire donnée, le colorant utilisé est le bleu de coomassie G250, en se liant à la protéine il est converti de la forme ronce en la forme bleu. Ce complexe présente un maximum d'absorption à 595 nm. La coloration très sensible, peut être effectuée très rapidement et reste stable pendant 30 mn.

- Préparation du réactif de Bradford :

- Dissoudre 100 mg de bleu de coomassie G250 dans 50 cm³ d'éthanol à 95% ;
- Rajouter 100 cm³ d'acide phosphorique H₃PO₄ à 85 % ;
- Compléter à 1 dm³ avec l'eau distillée ;
- Filtrer ;
- Conserver à l'obscurité, à la température de laboratoire.

A un volume d'extrait protéique (100 μ l), on ajoute 1 ml de solution de bleu de Coomassie. On laisse la coloration se développer au moins 5 min et au maximum 30 min, l'ensemble est, ensuite, passé au spectrophotomètre pour lire l'absorbance à 595 nm. Dans chaque aliquote la concentration des protéines, en mg /ml, est déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage établie à l'aide de concentrations variées d'une solution de BSA allant de 0 à 250 μ g /ml.

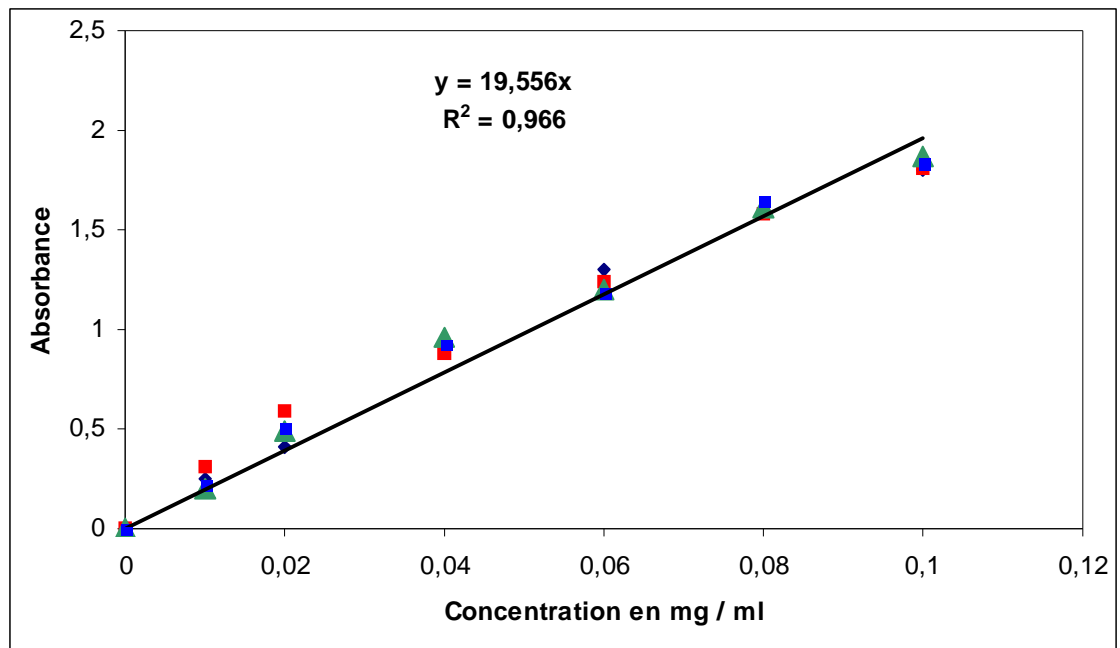


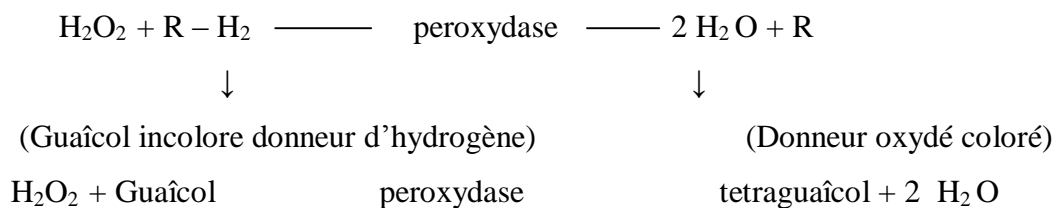
Figure 8: Courbe d'étalonnage des protéines

La concentration des protéines est déterminée à partir de l'équation de régression de la courbe d'étalonnage.

$$\text{Concentration des protéines en mg /ml} = 1 / 19,556 \times \text{Absorbance}$$

- Détermination de l'activité enzymatique (étude de la cinétique des peroxydases) :

Le test Guaïcol peroxydase : cette enzyme constitue un substrat universel qui catalyse la réaction suivante :



La composition du milieu réactionnel du guaïcol peroxydase, dérivant de la méthode de (fielding et al., 1978) in Bacouche, (2001) et de VALLEJOS, C.E (1983) in Cheikh M'hamed Hatem, (2004) est la suivante :

Tampon phosphate	50 mM, PH, 7
H ₂ O ₂	30 %
Guaïcol	0.1 %

Après addition d'une aliquote d'extrait protéique (2 μ l), 250 μ l de gaïacol, 746 μ l de tampon et 2 μ l de H₂O₂, la réaction est suivie par l'évolution de l'absorbance du tetra-guaïcol à 470 nm pendant une durée de 12 minutes.

L'activité de l'enzyme est calculée en utilisant un coefficient d'extinction de 26.6 mM⁻¹. cm⁻¹ un nano katal correspond à la quantité d'enzymes nécessaire à la transformation d'une nano mole de guaïcol par seconde.

-Activité totale des peroxydases

L'activité totale des peroxydases est calculée à partir de l'équation suivante:

$$\text{Activité totale} = (\Delta \text{DO} / \Delta t) \times (1 / \delta) \times (V_c / V_{\text{ext}})$$

V_c: volume de la cuve (1 ml)

V_{ext}: volume de l'extrait protéique

δ : coefficient d'extinction = 26,6 mM / cm

$\Delta \text{DO} / \Delta t$: pente de la courbe de la densité optique en fonction du temps

Exemple de calcul de l'activité totale des peroxydases :

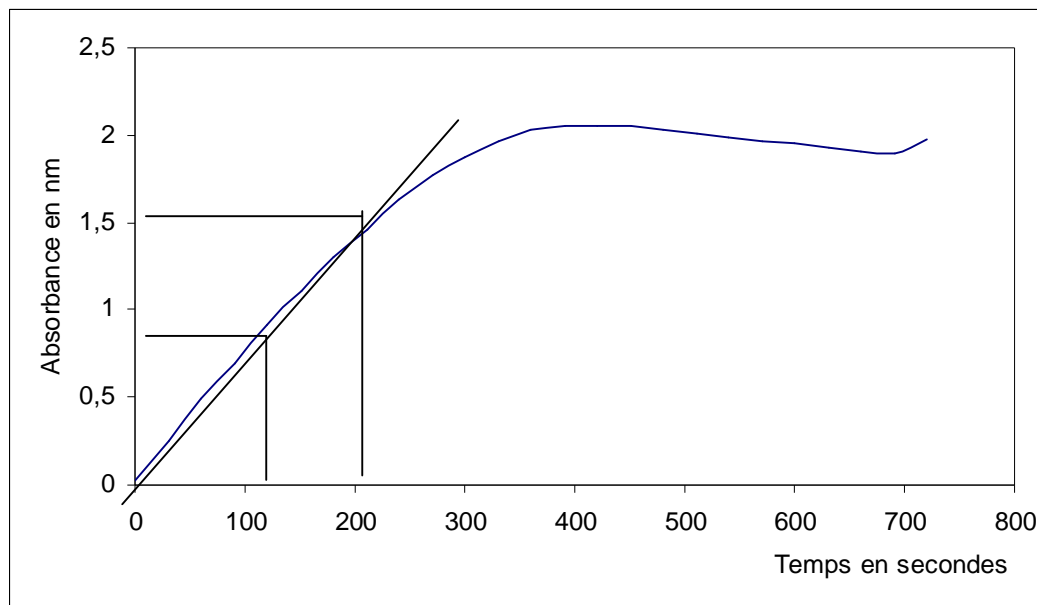


Figure 9: Courbe de la densité optique de l'extrait enzymatique à la longueur d'onde 470 nm en fonction du temps

$$\Delta DO / \Delta t = 1,7 / 1,66 = 1,024 \text{ (nm/min)}$$

$$\text{Activité totale} = 1,024 \times (1 / 26,6) \times (1000/2) = 1,024 \times 0,037 \times 500 = 18,94 \text{ } \mu\text{moles /min}$$

-Activité spécifique des peroxydases

$$\text{Activité spécifique (}\mu\text{moles / mg / min)} = \text{Activité totale / quantité des protéines}$$

2-2-2 Dosage de la proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par Troll et Lindesly (1955) simplifiée et mise au point par Dreier et Goring (1974) et modifiée par Monneveux et Nemmar (1986).

Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon.

100 mg de matière fraîche foliaire ou racinaire sont prélevés de chaque répétition et mis dans des tubes à essais auxquels on ajoute 2 ml de Méthanol à 40 %. Les tubes couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) sont portés à l'ébullition au bain-marie à 85 °C pendant 60 min.

Après refroidissement, 1 ml de l'extrait a été prélevé de chaque tube et mis dans de nouveaux tubes auxquels, nous avons ajouté 1 ml d'acide acétique.

Ensuite, nous avons ajouté, dans chaque tube, 1 ml de mélange contenant 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide orthophosphorique (H_3PO_4 , densité 1,7) et 25 mg de ninhydrine.

Le mélange est porté à l'ébullition durant 30 min. La solution vire vers le rouge. Après refroidissement des solutions, le chromatophore est extrait avec 5 ml de toluène. Deux phases se séparent après agitation au vortex. On prélève la phase supérieure contenant le chromatophore à laquelle on ajoute 5 mg du sulfate de sodium oxydé $Na_2 SO_4$ à l'aide d'une spatule pour éliminer l'eau qu'elle contient. La lecture de la densité optique des échantillons est faite à l'aide d'un spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm, correspondant à son maximum d'absorption. Le calcul des concentrations se fait par l'équation déduite de la courbe d'étalonnage établie à l'aide de solutions allant de 0,01 à 0,2 mg de proline par ml de solution (annexe 4).

2-2-3 Dosage de la chlorophylle :

L'extraction de la chlorophylle est faite suivant la méthode de Francis et al (1970). Qui consiste en une macération des feuilles dans un mélange de l'acétone et de l'éthanol (75 % et 25%); les feuilles sont coupées en petits morceaux et mises dans les boîtes noires (pour éviter l'oxydations

de la chlorophylle par la lumière) puis on procède à la lecture des densités optiques des solutions à l'aide, d'un spectrophotomètre, à deux longueurs d'ondes :

(645 et 663 nm) après l'étalonnage de l'appareil avec la solution témoin d'acétone à 80% et éthanol à 40%.

La détermination des teneurs réalisée selon les formules

$$\text{CH a } (\mu\text{g/gMF}) = 12,7 \text{ DO}_{(663)} - 2,59 \text{ DO}_{(645)} \times V / (1000 \times W) .$$

$$\text{CH b } (\mu\text{g/gMF}) = 22,9 \text{ DO}_{(645)} - 4,68 \text{ DO}_{(663)} \times V / (1000 \times W) .$$

$$\text{CH t} = \text{Ch a} + \text{Ch b}$$

V : volume solution extraite et W le poids de matière fraîche de l'échantillon

2-2-4 Dosage des sucres solubles

Nous avons procédé au dosage des sucres solubles dans les feuilles des plantes selon la méthode de Dubois, (1956).

Pour l'extraction des sucres solubles :

Mètre 100 mg de matière fraîche dans des tubes à essai puis ajouter 2 ml d'éthanol à 80%.

Le tout est laissé au repos pendant 48 H.

Ensuite évaporer le totale de l'alcool en mettant les tubes à essai dans un bain marie à 70°.

Après refroidissement, Mettre dans chaque tube à essai 20 ml d'eau distillée, prendre ensuite 1 ml de la solution et ajouter 1 ml de phénol à 5 % en prenant soin de bien agiter.

Enfin ajouté 2 ml d'acide sulfurique concentré, et déposé les tubes à essai dans un bain de glace, et laissez les reposer 25 min, puis procéder à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 490 nm.

Le calcul se fait à partir de l'équation déduite de la gamme d'étalonnage.

2-2-5 Analyse statistique

Les résultats sont soumis à une analyse statistique descriptive et 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 (Dagnelie, 1999), basée sur la plus petite valeur significative, en plus des corrélations établies entre les différentes variables, utilisant le logiciel MINITAB série 13.31. 2000. On considère que les résultats sont significatifs quand $P \leq 0,05$.

PARTIE III : Résultats et discussions

Chapitre 1 : Paramètres biométriques :

Dans cette étude, il nous a paru intéressant d'élucider quels sont les effets, sur la croissance et le développement des jeunes plants de *Schinus molle*, d'*Acacia cyanophylla*, et d'*Eucalyptus gomphocephala* soumis à différentes concentrations de chlorure de sodium (NaCl). Nous nous sommes intéressés aux paramètres biométriques tels que les longueurs des tiges et des racines, le poids sec des parties aériennes et des racines et leurs rapports respectivement ainsi que la surface foliaire. Les photos ci-dessous montrent l'état des plants à la fin de l'expérimentation. Les variations observées sur ces paramètres biométriques sont illustrées dans les figures ci-dessous.

Les constats visuels, montrent l'action défavorable du chlorure de sodium NaCl sur la croissance. Ces plantes affectées, étaient plus petites en dimension avec moins de feuilles dont la plupart sont chlorosées, bien qu'ils étaient affectés sévèrement, les plants poursuivent leur croissance.

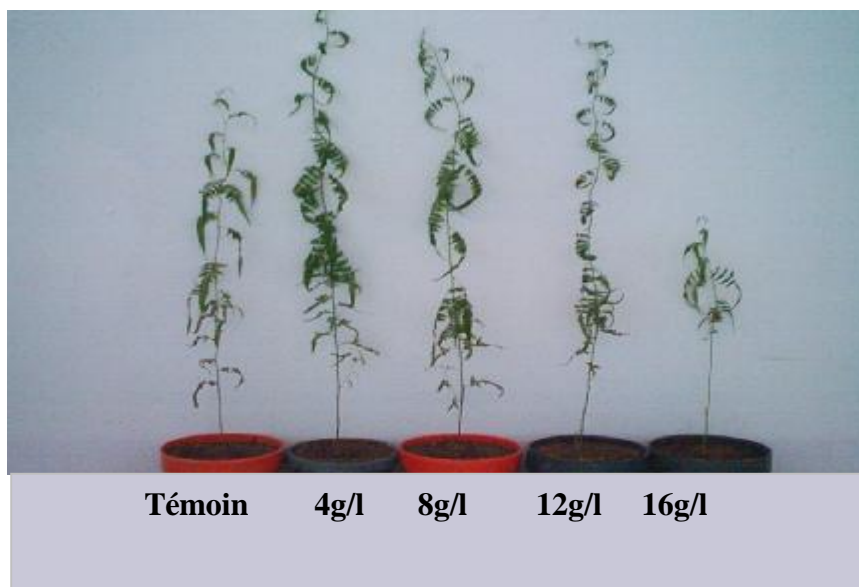


Photo 4 : Comparaison des plants de *Schinus molle* selon les différents traitements

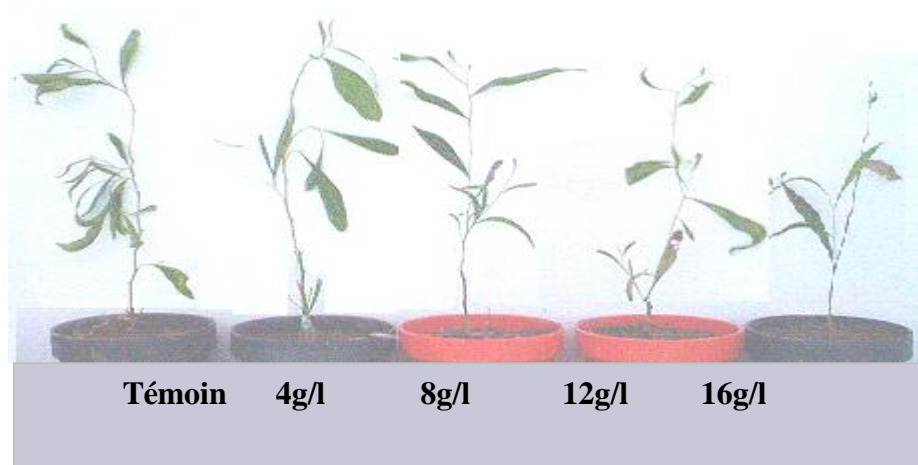


Photo 5 : Comparaison des plants d'*Acacia cyanophylla* selon les différents traitements

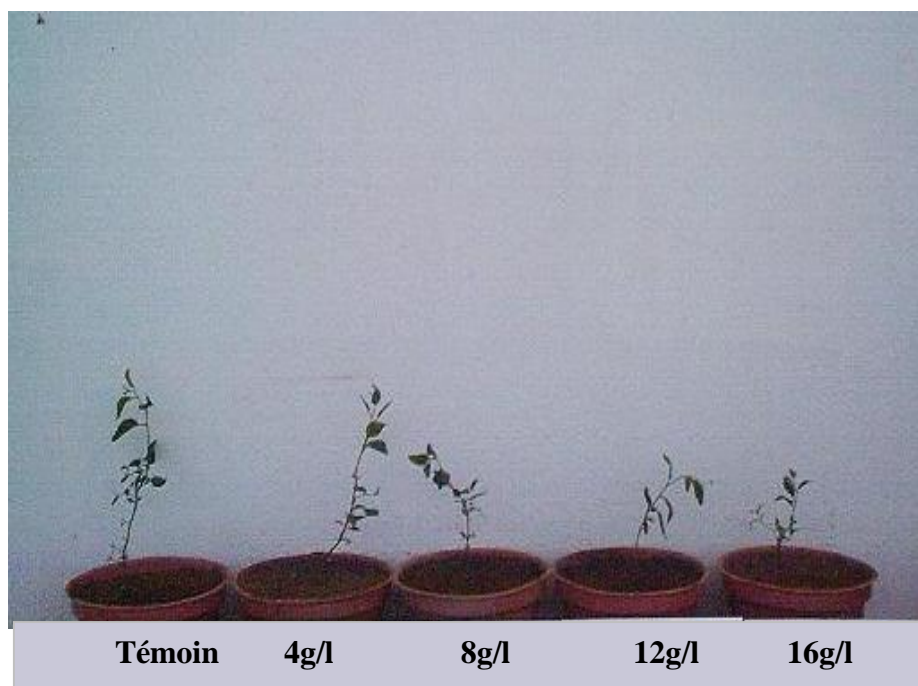


Photo 6 : Comparaison des plants d'*Eucalyptus gomphocephala* selon les différents traitements

1-1 Longueur de la tige

L'analyse des résultats montre que la concentration de NaCl dans le milieu influe sur la croissance en longueur des trois espèces étudiées *Schinus mölle*, *Acacia cyanophylla*, et *Eucalyptus gomphocephala*.

Les résultats sont illustrées aux figures (10,11 et 12). Cette influence est confirmée par l'analyse de la variance à un seul critère de classification dont la différence des moyennes est très hautement significative ($p < 0,001$), (annexe 2, tableaux 46,47, et 48).

L'allongement le plus important (86,13cm, 91,500cm) a été obtenu pour le témoin chez *Schinus mölle* et *Acacia cyanophylla* respectivement, par contre l'allongement le plus important chez l' *Eucalyptus gomphocephala* est enregistré pour le deuxième traitement (4g/l) (19,23cm). Néanmoins, il y a une baisse de la croissance de la longueur de la tige par rapport au témoin lorsque on passe à 16g/l, pour les trois espèces étudiées.

En effet le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir quatre groupements homogènes pour *Schinus mölle*. Un groupe dominant (A) représenté par les moyennes les plus élevées, le témoin et les traitements premiers (4g/l et 8g/l) (annexe 1, tableau1). Le deuxième groupe (AB) est représenté par le traitement (4g/l), le troisième groupe (B) représenté par le traitement (12g/l), et le quatrième groupe (C) représenté par le traitement (16g/l) dont la moyenne est la plus faible.

Pour l'*Acacia cyanophylla* le test de Newman et Keuls fait ressortir 4 groupements distincts (annexe1, Tableau2), le premier groupe (A) qui reflète la moyenne la plus élevée représentée par le témoin, le groupe (B) représenté par les traitements (4g/l et 8g/l), le groupe (C) représenté par le traitement (12g/l) et le dernier groupe (D) représenté par le traitement (16g/l) qui reflète la moyenne la plus faible.

Pour l'*Eucalyptus gomphocephala* le test de Newman et Keuls fait ressortir deux groupements homogènes (A) et (B) (annexe1, Tableau 3). Le groupe (A) représente la moyenne la plus élevée (19,23cm) qui correspond au traitement (4g/l). Le groupe (B) représente les moyennes les plus faibles (13,300 cm, 14,783 cm, 13,067 cm et 11,633 cm) qui correspondent au témoin et aux traitements suivants (8g/L, 12g/l et 16g/l), ce qui fait comprendre qu'il y a une stimulation de la croissance par le sel en teneur modérée, cela concorde avec les résultats trouvés par (Lalleur, 1994,

Vander-moezel, 2000, in Bell, 1999 ; Bell, 1999), concernant une gamme très large d'espèces d'*Eucalyptus* australiens en conditions de salinité et de submersion.

1-2 Longueur de La racine

Le stress salin s'il influe sur la croissance en longueur des parties aériennes de *Schinus molle* et *Acacia cyanophylla* il n'influe pas sur leurs parties souterraines. Les résultats sont illustrés aux (figures 10 et 11) ce fait est confirmé par l'analyse de la variance à un seul critère de classification dont la différence est non significative ($p=0,682$, $P=0,092$) respectivement.

En ce qui concerne *Eucalyptus gomphocephala*, le stress salin influe clairement sur le système racinaire dont l'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative ($p<0,001$), les résultats sont illustrés à la figure (12).

Le test de Newman et Keuls fait ressortir quatre groupes homogènes ; le premier groupe qui reflète la moyenne la plus faible (17,100cm) est représenté par le témoin. Le deuxième groupe (B) représenté par les traitements (4g/l et 16g/l) dont leur moyennes sont (24,717 et 22,117cm) respectivement, le troisième groupe (BC) représenté par le traitement (12g/l) qui correspond à la moyenne (26,500 cm) et le quatrième groupe (C) qui reflète la moyenne la plus élevée représentée par le traitement (8g/l).

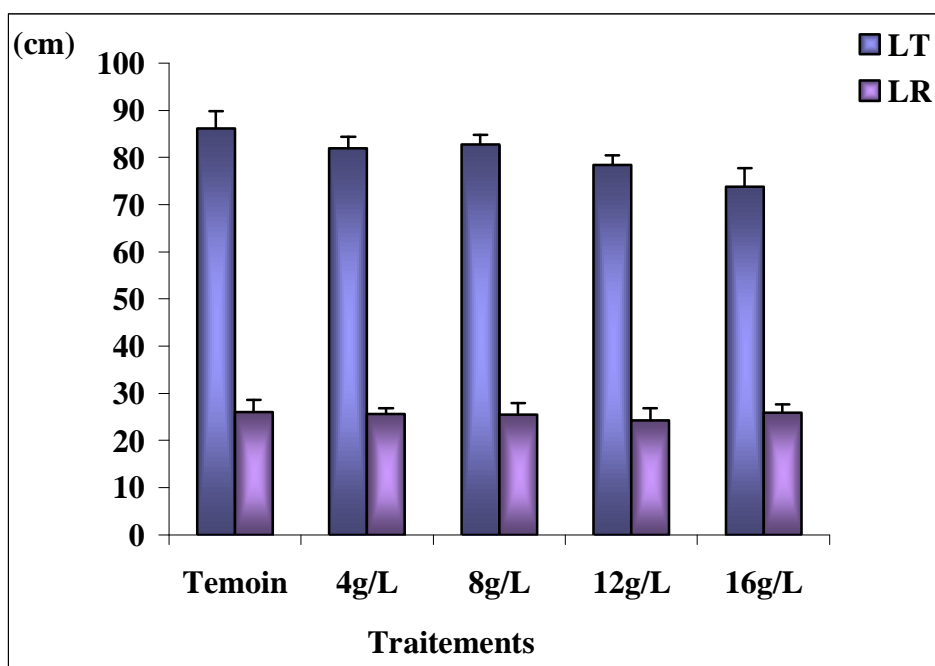


Figure 10 : Longueur de la partie aérienne et des racines de *Schinus molle* en fonction de l'intensité du stress salin

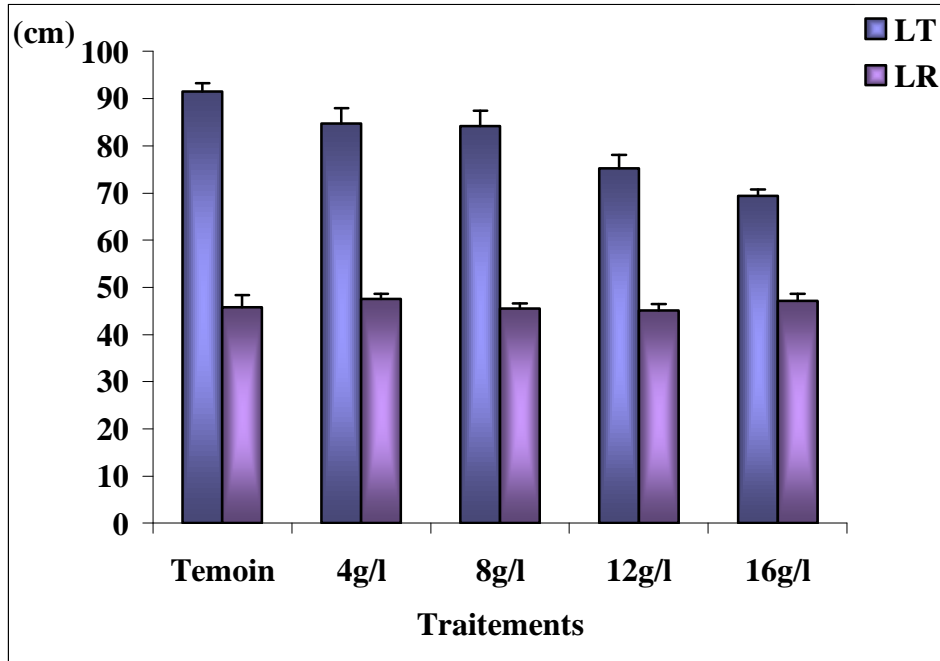


Figure 11 : Longueur de la partie aérienne et racinaire d'*Acacia cyanophylla* en fonction de l'intensité du stress salin

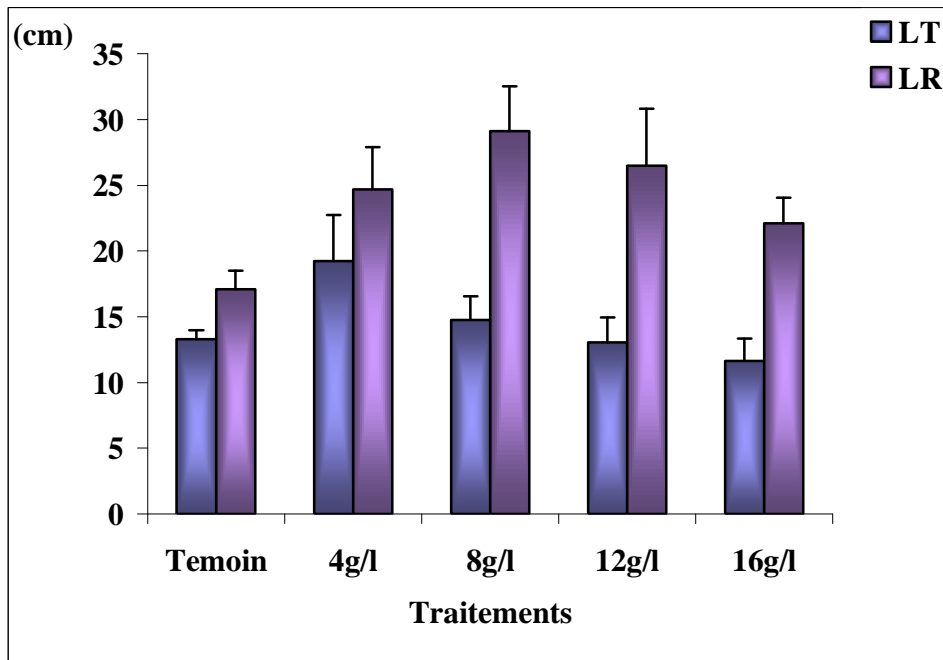


Figure 12: Longueur de la partie aérienne et des racines d'*Eucalyptus gomphocephala* en fonction de l'intensité du stress salin

1-3 Rapport en longueur partie souterraine / partie aérienne

Les résultats précédents sont complétés par l'analyse du rapport en longueur illustrés aux figures (13, 14 et 15), les rapports en longueur de la partie souterraine et aérienne des plants stressés et témoins de *Schinus mölle* et *Acacia cyanophylla* sont inférieurs à l'unité (annexe 1, tableau 7 et 8) ce qui confirme les résultats précédents. Les rapports obtenus pour *Eucalyptus gomphocephala* sont supérieurs à l'unité (annexe1, tableau 9), cela aussi concorde avec les résultats ci-dessus.

L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence significative ($p=0,015$) pour *Schinus mölle*. Le test de Newman et Keuls fait ressortir deux groupes homogènes, le premier groupe représente les moyennes les plus faibles qui correspondent au témoin et aux traitements (4g/L, 8g/L et 12g/L), le deuxième groupe (B) représente la moyenne la plus élevée du traitement 16g/l indiquant l'influence du stress salin sévère sur la croissance des racines.

Pour *Acacia cyanophylla*, l'analyse de la variance à un seul critère de classification est très hautement significative ($p<0,001$). Le test de Newman et Keuls à 5% fait ressortir quatre groupements homogènes, le groupes (A) représenté par la moyenne la plus faible du témoin, le groupe (B) représenté par les traitements (4g/L et 8g/L), le groupe (C) représenté par le traitement (12g/L) et enfin le groupe (D) est représenté par le traitement (16g/L) dont la moyenne et la plus élevée ce qui est en rapport avec le degré du stress salin appliqué.

Chez *Eucalyptus gomphocephala* l'analyse de la variance à un critère de classification montre une différence très hautement significative ($p<0,001$). Le test de Newman et Keuls à 5% fait ressortir deux groupes homogènes, le groupe (A) représenté par le témoin et le traitement (4/L) qui reflètent les moyennes les plus faibles, le groupe (B) représenté par les traitements (8g/L, 12g/L, et 16g/L) qui reflète les moyennes les plus élevées.

Le stress salin influe significativement sur la croissance en longueur des racines *Eucalyptus gomphocephala* à partir d'un stress modéré.

L'analyse de la variance à deux critères de classification montre qu'il existe une différence très hautement significative entre les espèces étudiées et les traitements pour ce paramètre ($P<0,001$) (annexe 3, tableau 91) ce qui est en rapport avec la nature génétique de chaque espèce.

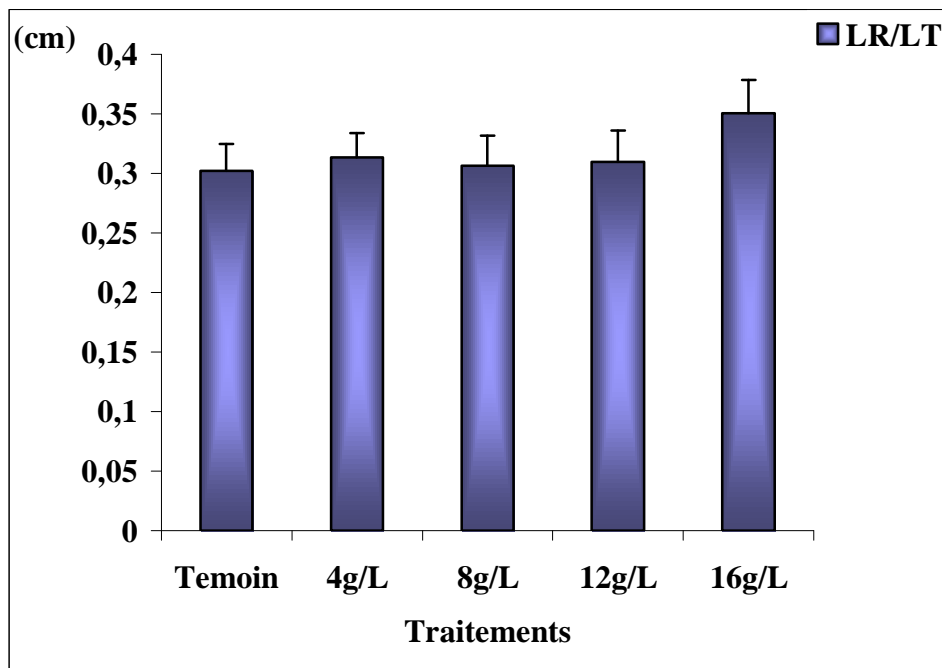


Figure 13: Rapport en longueur LR/LT de *Schinus molle*

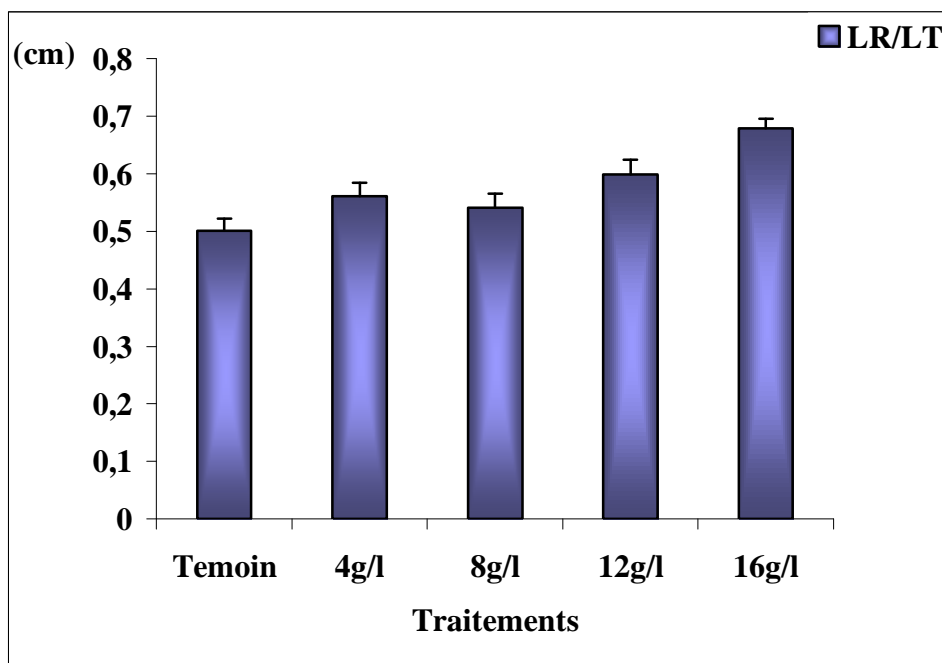


Figure 14 : Rapport en longueur L R /LT d'*Acacia cyanophylla*

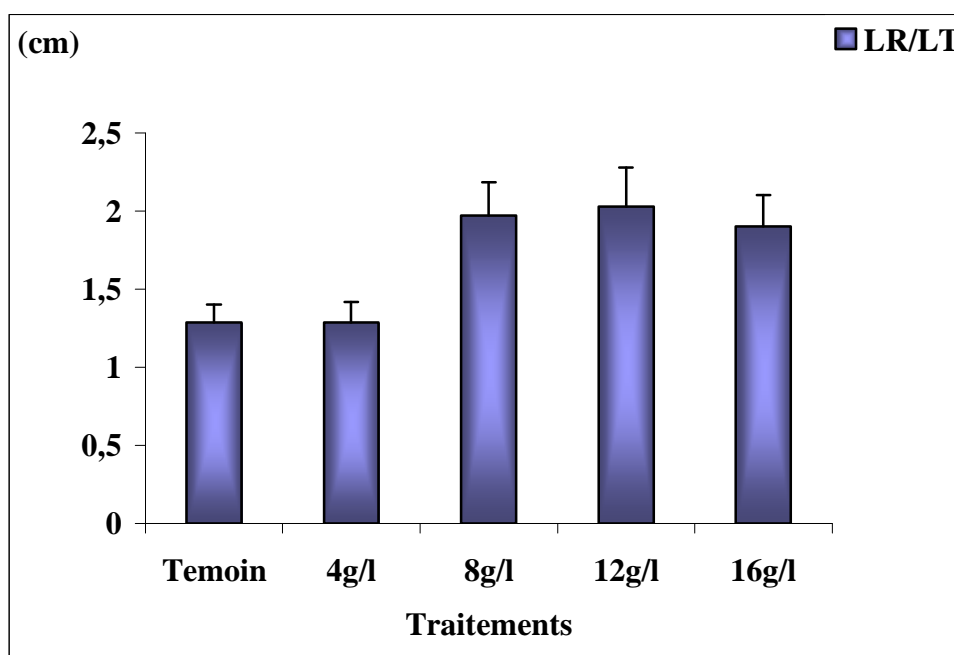


Figure 15 : Rapport en longueur L R /LT d'*Eucalyptus gomphocephala*

1-4 Biomasse de la partie aérienne et racinaire

La matière sèche des racines produite par les plantes de *Schinus mölle*, *Acacia cyanophylla* et *Eucalyptus gomphocephala* à la fin du traitement est enregistrée en tableaux (11,12, et 13) illustrée en figures (16, 17 et 18).

Tableau 12 : Effet des différents traitements salins sur la variation de la biomasse sèche aérienne et souterraine par rapport à la biomasse sèche totale et par rapport à la biomasse sèche du témoin chez *Schinus mölle*

<i>Schinus mölle</i>	Témoin	4g/l	8g/l	12g/l	16g/l
BSR	0,658	0,600	0,677	0,502	0,389
BSA	2,684	1,994	2,073	1,145	0,779
BST	3,342	2,594	2,75	1,647	1,168
(BSR/BPST)X100	19,69	23,14	24,62	30,48	33,30
(BSA/BST)X100	80,31	76,86	75,38	69,52	66,70
Taux de réduction BSR (%)	/	-8,81	+2,88	-23,70	-40,88
Taux de réduction BSA (%)	/	-25,70	-22,76	-57,34	-70,97

Tableau 13: Effet des différents traitements salins sur la variation de la biomasse sèche aérienne et souterraine par rapport à la biomasse sèche totale et par rapport à la biomasse sèche du témoin chez *Acacia cyanophylla*

<i>Acacia cyanophylla</i>	Témoin	4g/l	8g/l	12g/l	16g/l
BSR	1,390	1,317	1,180	1,130	0,624
BSA	3,252	2,837	2,742	2,093	1,122
BST	4,642	4,059	4,017	3,223	1,746
(BSR/BST)X100	29,94	32,45	29,38	35,06	35,74
(BSA/BST)X100	70,06	67,55	70,62	64,94	64,26
Taux de réduction BSR (%)	/	-5,25	-15,10	-18,70	-55,10
Taux de réduction BSA (%)	/	-12,76	-15,68	-35,64	-65,49

Tableau 14: Effet des différents traitements salins sur la variation de la biomasse sèche aérienne et souterraine par rapport à la biomasse sèche totale et par rapport à la biomasse sèche du témoin chez *Eucalyptus gomphocephala*

<i>Eucalyptus gomphocephala</i>	Témoin	4g/l	8g/l	12g/l	16g/l
BSR	0,061	0,056	0,051	0,043	0,042
BSA	0,205	0,238	0,178	0,085	0,085
BST	0,266	0,294	0,229	0,128	0,127
(BSR/BST)X100	22,93	19,05	22,27	33,59	33,07
(BSA/BST)X100	77,07	80,95	77,73	66,41	66,93
Taux de réduction BSR (%)	/	-8,19	-16,39	-29,50	-31,14
Taux de réduction BSA (%)	/	16,09	-13,17	-58,53	-58,53

BSR : Biomasse sèche racinaire

BSA : Biomasse sèche aérienne

BST : Biomasse sèche totale

Pour ce paramètre l'analyse de la variance à un critère de classification montre une différence très hautement significative ($p < 0,001$) chez *Schinus molle*. Le teste de Newman et Keuls fait ressortir quatres groupements homogènes, le premier groupe (A) représenté par le témoin et le traitement (8g/l) dont la moyenne est la plus élevée, le deuxième groupe (AB) représenté par (4g/l), le groupe (BC) représenté par (12g/l) et le dernier groupe (C) (16g/l) qui reflète la moyenne la plus faible.

Pour l'*Acacia cyanophylla* l'analyse, de la variance à un critère de classification montre une différence significative ($p = 0,018$). Le test de Newman et keuls fait ressortir deux groupements homogènes, le groupe (A) représenté par les traitements (témoin, 4g/l, 8g/l et 12g/l) qui reflète les moyennes les plus élevées, le groupe (B) représenté par le traitement (16g/l) reflète la moyenne la plus faible ce qui explique l'effet néfaste du stress salin sévère sur la production de matière sèche qui est en étroite relation avec la perturbation du système photosynthétique.

Chez l'*Eucalyptus gomphocephala* la comparaison des moyennes par l'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence significative entre les traitements ($p = 0,020$).

Le test de Newman et Keuls fait ressortir trois groupements homogènes, le groupe (A) représenté par les traitements (témoin, 4g/l, et 8g/l) ce groupe reflète les moyennes les plus élevées. Le groupe (AB) représenté par le traitement (12g/l) et le dernier groupe qui reflète la moyenne la plus faible, représenté par le traitement (16g/l).

En résumé les racines des trois espèces étudiées conserve une biomasse plus ou moins stable malgré l'intensité du stress sauf en cas du traitement (16g/l).

Concernant la biomasse sèche des parties aériennes illustrée en figures (16, 17 et 18), le stress salin appliqué influe sur les trois espèces étudiées. Effectivement l'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative ($p < 0,001$) pour les moyennes enregistrées chez *Schinus molle*, le test de Newman et Keuls fait ressortir trois groupements homogènes, le groupe (A) présenté par le témoin dont la moyenne est la plus élevée, le groupe (B) représenté par les traitements (4g/l, et 8g/l), le troisième groupe (C) est représenté par les traitements (12g/l et 16g/l) reflète les moyennes les plus faibles.

Pour l'*Acacia cyanophylla*, l'analyse de la variance à un critère de classification montre une différence très hautement significative ($p < 0,001$), le test de Newman et Keuls fait ressortir deux

groupes homogènes (A) et (B), le groupe (A) représenté par les traitements (témoin, 4g/l et 8g/l) qui reflète les moyennes les plus élevées, et le groupe (B) représenté par les traitements (12g/l et 16g/l) qui reflète les moyennes les plus faibles. Toujours l'effet du stress sévère se fait sentir en réduisant la biomasse aérienne.

Chez *Eucalyptus gomphocephala* la comparaison des moyennes par l'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative ($p < 0,001$). Le test de Newman et Keuls fait ressortir deux groupements homogènes, le groupe (A) représenté par les traitements (témoin, 4g/l, 8g/l) ce groupe reflète les moyennes les plus élevées. Le groupe (B) représenté par les traitements (12g/l et 16g/l) qui reflète les moyennes les plus faibles.

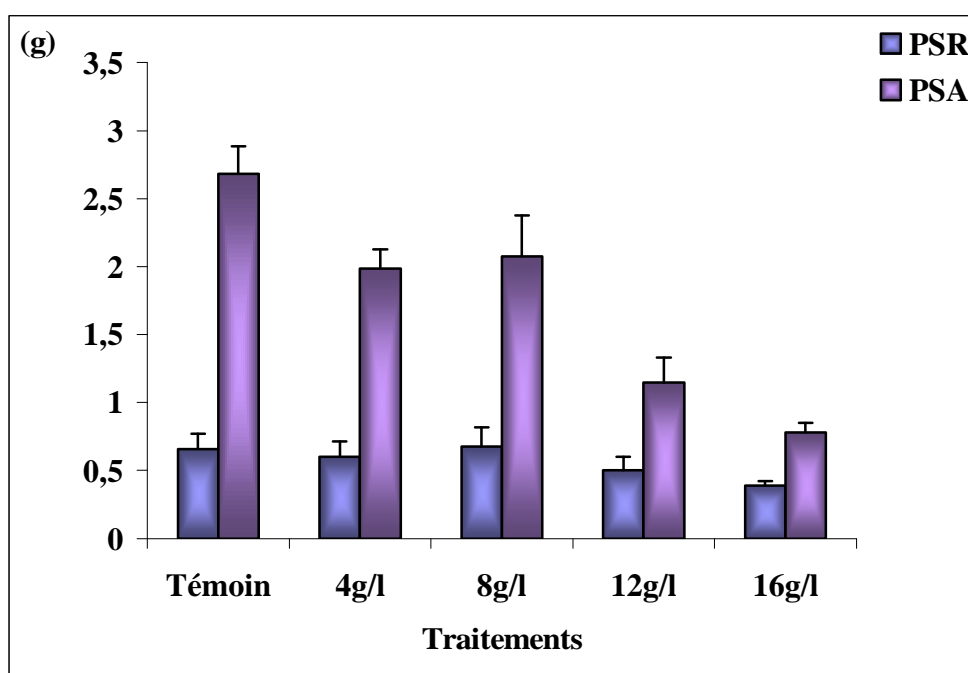


Figure 16 : Poids sec de la partie aérienne et des racines de *Schinus molle*

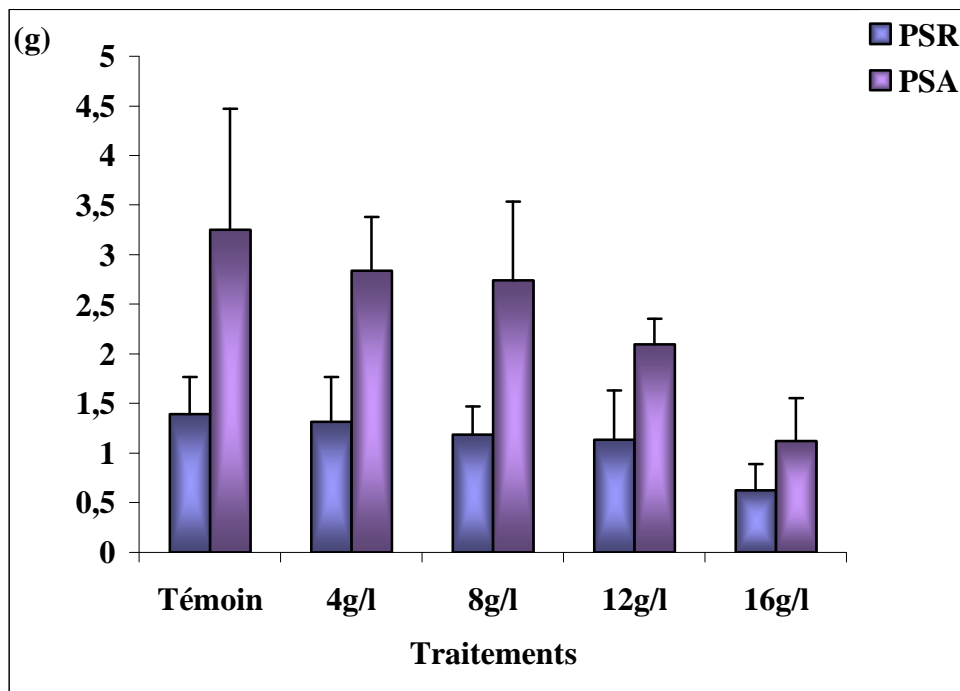


Figure 17 : Poids sec de la partie aérienne et racinaire d'*Acacia cyanophylla*

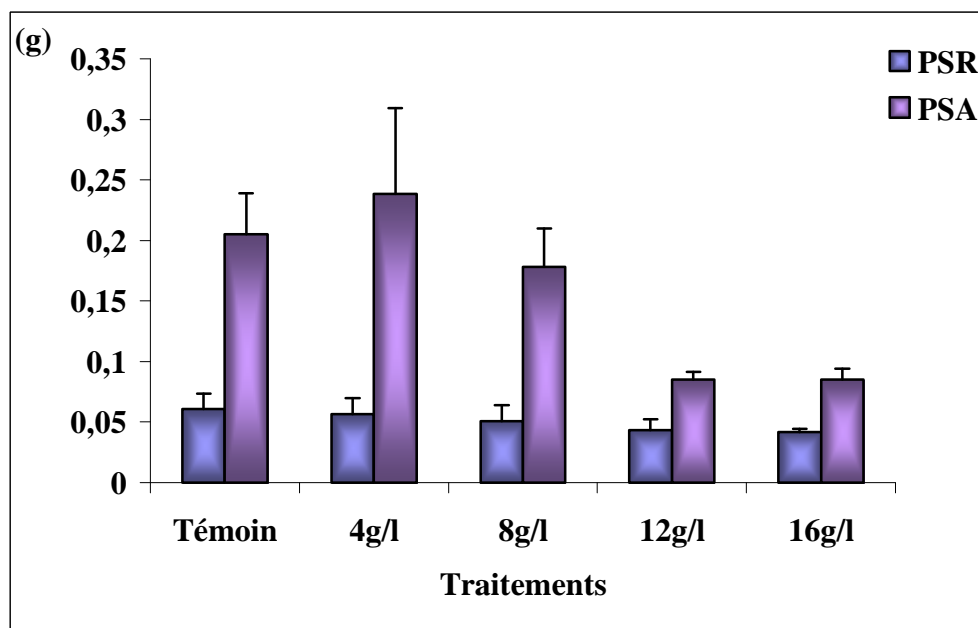


Figure 18 : Poids sec de la partie aérienne et des racines d'*Eucalyptus gomphocephala*

1-5 Rapport de biomasse

Le rapport de biomasse est un critère important pour l'évaluation de l'effet du stress salin sur les végétaux ainsi on peut déterminer qu'elle est la partie la plus sensible est la plus résistante au stress salin.

Donc les rapports de biomasse sèche des plants de *Schinus mölle*, *Acacia cyanophylla*, et *Eucalyptus gomphocephala* illustrés aux figures (19, 20, et 21) sont respectivement (0,258 ; 0,300 ; 0,346 ; 0,443 ; 0,501) ; (0,429 ; 0,402 ; 0,435 ; 0,686 ; 0,557) ; (0,309 ; 0,254 ; 0,288 ; 0,506 ; 0,498) tous ses rapports sont inférieurs à l'unité, mais on remarque une augmentation de ce rapport en fonction de l'importance du stress salin concernant les trois espèces étudiées ce qui est en rapport avec les résultats précédents.

L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative chez *Schinus mölle* ($p < 0,001$). Le test de Newman et keuls fait ressortir deux groupements homogènes (A) et (B), le groupement (A) représenté par les traitements (témoin, 4g/l et 8g/l) qui reflète les moyennes les plus faibles. Le groupe (B) représenté par les traitements (12g/l et 16g/l) qui reflète les moyennes les plus élevées.

Pour *Acacia cyanophylla* l'analyse de la variance à un seul critère de classification ne montre aucune différence significative ($p = 0,077$). De ce test statistique, on peut déduire que cette espèce comparativement au deux autres ne présente pas une sensibilité différentielle entre ses deux parties, racines et partie aérienne.

Pour l'*Eucalyptus gomphocephala* l'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative ($p < 0,001$), le test de Newman et Keuls fait ressortir deux groupements homogènes (A) et (B), le premier groupe est représenté par les traitements (témoin, 4g/l et 8g/l) qui reflète les moyennes les plus faibles, le deuxième groupe est représenté par les traitements (12g/l et 16g/l) qui reflète les moyennes les plus élevées.

L'analyse de la variance à deux critères de classification montre une différence très hautement significative ($p < 0,001$) entre espèces et entre traitement pour le rapport de biomasse. Se test confirme que les espèces étudiées répondent différemment l'une de l'autre vis-à-vis du stress salin.

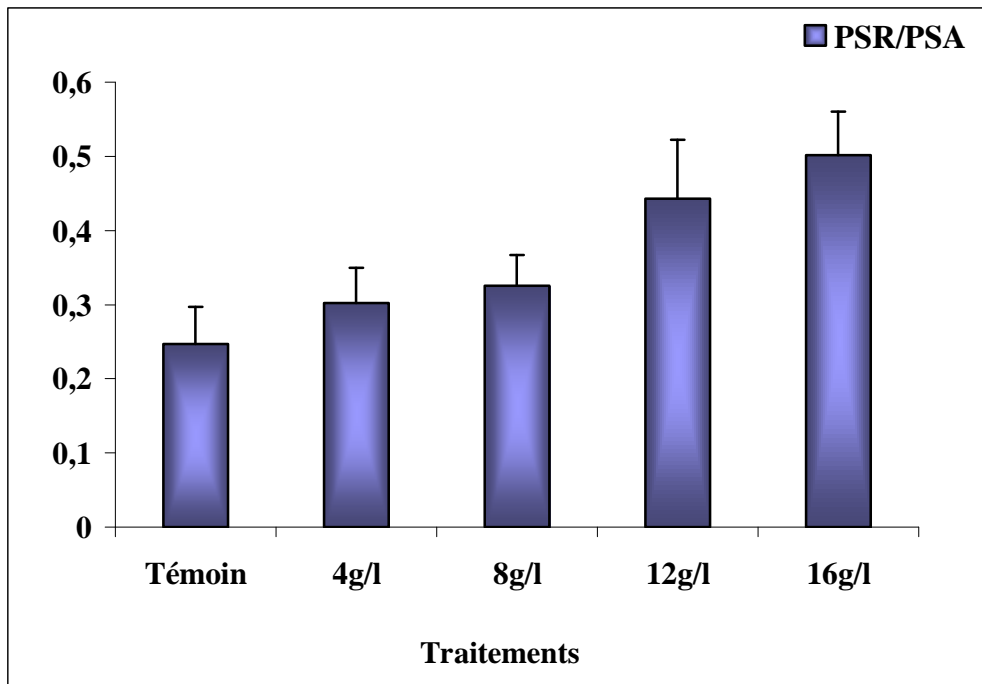


Figure 19 : Rapport de biomasses PSR/PSA chez *Schinus mölle*

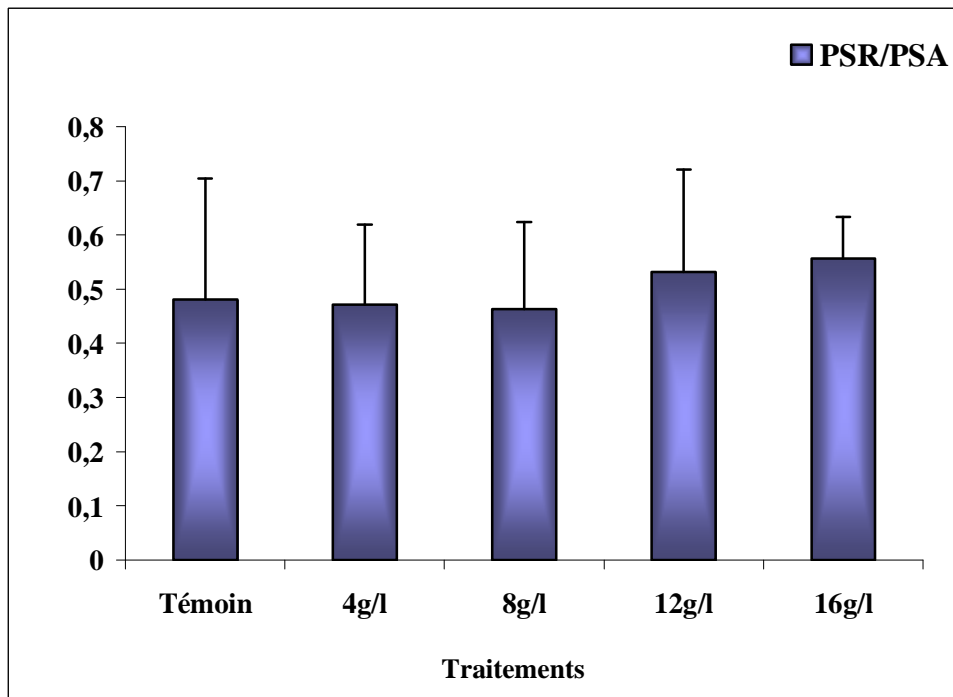


Figure 20 : Rapport de biomasses PSR/PSA chez *Acacia cyanophylla*

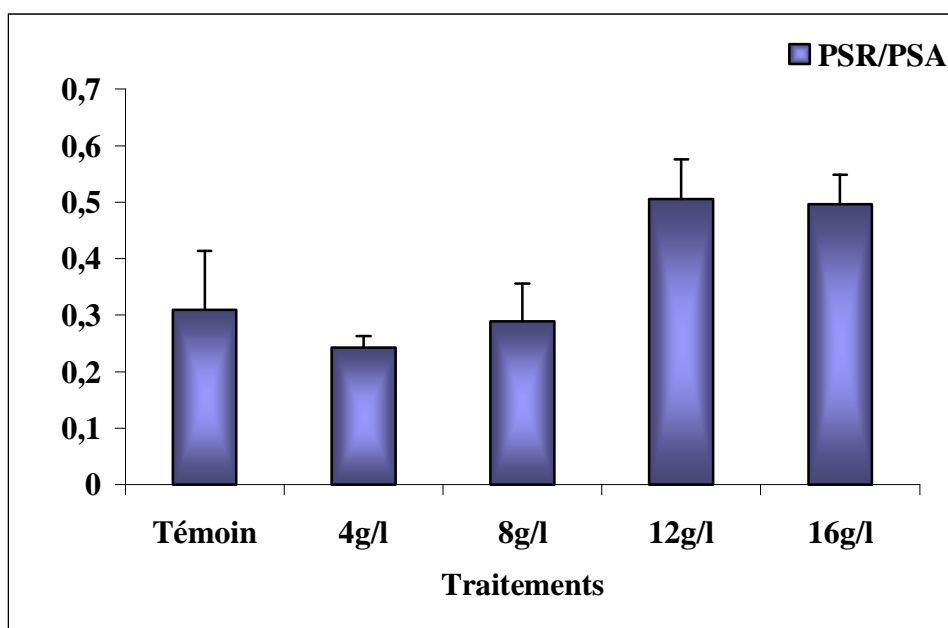


Figure 21: Rapport de biomasses PSR/PSA chez *Eucalyptus gomphocephala*

1-6 La surface foliaire

Les mesures de la surface foliaire présentent aussi des variations notables qui sont illustrées dans les tableaux (15, 16, et 17). Avec leur représentation graphique illustrée à la figure 22.

Tableau 15: Taux de variation de la surface foliaire chez *Schinus mölle* en fonction de l'intensité du stress salin et par rapport au témoin

<i>Schinus mölle</i>	Témoin	4g/l	8g/l	12g/l	16g/l
Surface foliaire	3009,666	2944,333	2313,166	1981,333	1806,833
Taux de variation (%)	/	-2,170	-21,436	-14,345	-8,807

Tableau 16: Taux de variation de la surface foliaire chez l'*Acacia cyanophylla* en fonction de l'intensité du stress salin et par rapport au témoin

<i>Acacia cyanophylla</i>	Témoin	4g/l	8g/l	12g/l	16g/l
Surface foliaire	4226,333	4394,666	3795,833	3009,666	3002,333
Taux de variation (%)	/	3,982	-13,626	-20,711	-28,961

Tableau 17: Taux de variation de la surface foliaire chez *Eucalyptus gomphocephala* en fonction de l'intensité du stress salin et par rapport au témoin

<i>Eucalyptus gomphocephala</i>	Témoin	4g/l	8g/l	12g/l	16g/l
Surface foliaire	667,3	703,2	768,3	776,0	662,7
Taux de variation (%)	/	+5,38	+15,14	+16,29	-0,69

Chez *Schinus molle*, l'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative ($p < 0,001$) (annexe2, tableau 64). Le test de Newman et Keuls fait ressortir deux groupements homogènes (A) et (B), le groupe (A) est représenté par les traitements (témoin et 4g/l) qui reflète les moyennes les plus élevées (annexe1, tableau 19), le groupe (B) est représenté par les traitements (8g/l, 12g/l et 16g/l) qui reflète les moyennes les plus faibles (annexe1, tableau 19). L'effet d'un stress salin est senti par les plantes par une réduction de leur surface foliaire.

En effet ces même observations s'appliquent pour *Acacia cyanophylla*, l'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence significative ($P = 0,021$), (annexe2, tableau 65). Le test de Newman et Keuls fait ressortir deux groupements homogènes (A) et (B), le groupe (A) est représenté par les traitements (témoin, 4g/l et 8g/l) ce groupe reflète les moyennes les plus élevées (annexe1, tableau 20), le groupe (B) est représenté par les traitements (12g/l et 16 g/l) il reflète les moyennes les plus faibles (annexe1, tableau 20).

La réponse de *Eucalyptus gomphocephala* vis-à-vis du stress Salin diffère par rapport aux deux autres espèces *Schinus molle* et *Acacia cyanophylla* ; cela est démontré par l'analyse de la variance à un seul critère de classification dont la différence entre les moyennes est non significative ($P = 0,293$), (annexe2, tableau 66). Donc d'après les moyennes enregistrées (annexe1 tableau 21), cette espèce, un de ces mécanismes de tolérance à la salinité réside dans le fait de maintenir un taux de croissance plus ou moins stable, la surface foliaire influe impérativement sur la photosynthèse, les taux de réduction ou d'évolution par rapport au témoin (tableau 16) sont faibles. La réduction de la surface foliaire est enregistré à 16g/l néanmoins cette réduction est inférieure à 1%.

Ces constatations mènent à une conclusion ; *Eucalyptus gomphocephala* représente une tolérance au sel par une maintenance de sa croissance foliaire plus ou moins stable même si le niveau de salinité augmente par comparaison de tous les plants du témoin.

En plus si on compare la croissance de notre témoin avec les individus à l'état naturel dont la croissance est plus ou moins importante, on trouve une inhibition importante de sa croissance. On peut expliquer la faible croissance du témoin en se basant sur les constatations de (Yeo,1983, Zhu 2001, in Bois 2005) qui révèlent qu'un effet de stress antérieur peut être réversible ou irréversible et c'est le cas d'*Eucalyptus gomphocephala* sujet de notre expérimentation prélevés de pépinière en une année de basses température a Constantine (Janvier 2005) les températures minimales ont chuté et les plants ont ainsi reçu un stress thermique qui a occasionné des dégâts importants au niveau de la pépinière. Effectivement *L'Eucalyptus gomphocephala* selon Latreuch-Belaaroussi (1994) et Alexandrien (1999) ne tolère pas les basses températures.

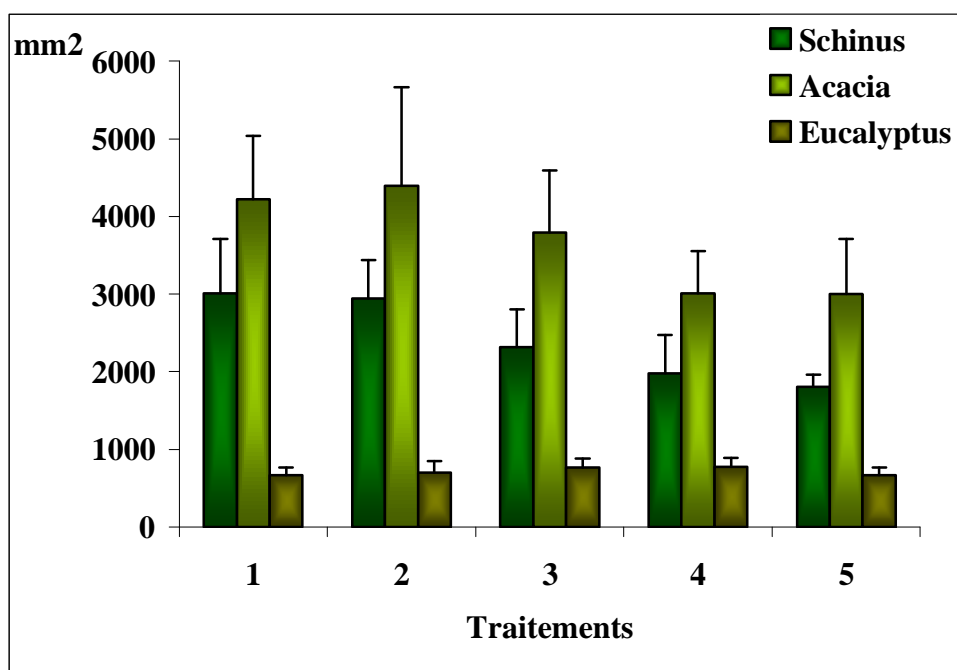


Figure 22: Evolution de la surface foliaire en fonction de l'intensité du stress salin chez les espèces étudiées

Discussion :

Les stress abiotiques sont responsables d'une perte de rendement estimé à 50% pour les cultures les plus répondues (Bray *et al.* 2000 in Vincent , 2006). Ils constituent donc des facteurs limitants non négligeables. Ces stress se traduisent par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance de la plante et sa productivité (Ben Naceur *et al.*, 1994, 1997, 1998, 2001 ; Semmadi et Rahmoune, 1995; Wang *et al.*,2001).

La tolérance au sel s'exprime habituellement en terme de croissance, de rendement ou de survie. Chez la Laitue (*lactuca sativa*) cultivée sous serre sur un milieu sableux et arrosée avec des solutions nutritives contenant (30 mM NaCl et 15 mM CaCl₂), la production de matière fraîche présente une forte variabilité entre les 85 génotypes testés (Shannon, 1985 in Zid et Grignon,1991). Le même type de réponse est obtenu après un et deux mois de culture sur sel, ce qui confère à ce teste une certaine fiabilité pour l'évaluation de la résistance au sel aux stades de développement ultérieurs.

Chez le riz, 14 caractères morphologiques ont été mesurés sur six variétés, cultivées sous serres sur du sable fin à trois niveaux de salinité. Là aussi, les variétés montrent des différences significatives pour les caractères étudiés. Les interactions variété/salinité indiquent la possibilité d'une sélection de variétés résistantes au sol sur la base de trois caractères: poids du chaume, poids de la paille et nombre de panicules. Le caractère précoce susceptible d'être utilisé dans la prévision du rendement serait le nombre de thalles au stade plantule, en raison de la corrélation hautement significative qu'il présente avec la longueur et le poids du panicule (Lehman *et al.*, 1984 in Zid et Grignon, 1991).

Dans un travail de sélection réalisé sur quatre graminées sauvages âgées de trois semaines, Ashraf *et al.* (1986) cités par Lachaal, (1998) utilisent avec succès la longueur des racines comme critère de sélection pour la tolérance au stress hydrique.

Symeonds *et al.* (1985 in Lachaal, 1998), utilisent ce critère de sélection pour la tolérance au stress métallique, (Azhar et Mc Neilly, 1989, Ashraf et Mc Neilly, 1989, Kebebew et Mc Neilly, 1995 cités par Lachaal 1998) utilisent ce critère comme un indicateur fiable de la tolérance au sel chez le sorgho et le maïs. La longueur des parties aériennes peut aussi prédire la tolérance au stade adulte. Ashraf *et al.* (1986) in Lachaal , (1998) utilisent ce critère pour sélectionner des lignées de *Trifolium alessandrinum*, *Medicago sativa*, et *Trifolium pratense*, au stade plantule après deux

semaines de croissance en solution nutritive salinisée, les lignées sélectionnées produisent significativement plus de matière sèche. (Shu *et al.*, 2002, Zalecka et Wierzbicka , 2002) in Beaton et Dudley, (2004), indiquent que la longueur des racines est un des critères de sélection de plantes vis-à-vis d'un stress salin.

Pour s'adapter au stress salin, la plante peut éviter les dommages par la réduction de la croissance (Yeo, 1983, Zhu, 2002). C'est l'effet le plus commun des stress abiotiques sur la physiologie des plantes; la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil ou les dommages seront irréversibles. La croissance est inversement corrélée à la résistance au stress salin d'une espèce / variété (Zhu, 2001 in Bois, 2005).

Pour mettre en évidence les potentialités d'adaptation de *Schinus molle* , *Acacia cyanophylla*, et *Eucalyptus gomphocephala* en milieu urbain perturbé par une contrainte saline, un stress salin était induit par l'application de différents niveaux de stress en phase de croissance.

La tolérance de ces espèces a été étudiée par la capacité de développement. En effet, la hauteur moyenne des tiges, la longueur racinaire, la biomasse sèche aérienne et racinaire, leurs rapports respectives et la surface foliaire à la fin de l'expérience varient en fonction du niveau de stress salin.

Nos résultats montrent que la partie aérienne est plus sensible à l'effet de stress salin que la partie racinaire. La diminution de la croissance de l'appareil végétatif chez les plants testés est observées surtout à 12 g / l et à 16 g / l. Plusieurs travaux concordent avec nos résultats.

Mülling et Läubli (2002), trouvent que l'augmentation de la salinité, conduit à la diminution du rendement de la partie aérienne des pousses de maïs cependant elle n'a pas d'effet significatif sur la croissance des racines.

Chez *Anacardium occidentale* L. cultivée en milieu salin 50 et 100 mM.m⁻³ de NaCl en solution nutritive pendant 30 jours, présente une réduction du poids sec des pousses de 23 à 50%, la réduction du poids sec des racines n'était observé qu'à des niveaux élevés de NaCl comparativement avec le contrôle (Viégas et Silveira, 1999).

La réduction du poids sec des plantes est la réponse typique des non halophytes à la salinité (Munns et Teraat, 1986 ; Allarcon *et al.*, 1993, Nabil et Coudret, 1995 cités par Viégas et Silveira 1999).

Schinus mölle présente le même comportement; le stress salin mène aussi à une réduction de la biomasse aérienne et souterraine (tableau12) une réduction de la surface foliaire (tableau 15) et un ralentissement de l'élongation des tiges et des racines. La biomasse des racines se maintient au dépend de la biomasse aérienne un taux d'augmentation qui atteint 23, 14% à 33, 30% par rapport au témoin où la biomasse sèche racinaire présente 19,69% de la biomasse sèche totale et la biomasse sèche aérienne présente 80,31% de la biomasse sèche totale.

Cette influence du stress salin est confirmée par les corrélations positives (annexe) entre la longueur des tiges et la biomasse sèche racinaire ($r = 0,951$, $P = 0,013$), la biomasse sèche aérienne et la biomasse sèche racinaire ($r = 0,929$, $P = 0,023$) surface foliaire et longueur de la tige ($r = 0,857$, $P = 0,043$), surface foliaire et biomasse sèche aérienne ($r = 0,894$, $P = 0,041$).

Des résultats similaires obtenus par (çiçek *et al.*, 2002) montrent que l'effet du stress salin sur deux cultivars de maïs se manifeste par une nette diminution du poids total frais et sec, de la longueur de la tige et de la surface foliaire.

Hadji (1980), démontre que les symptômes de sensibilité au chlorure de sodium (NaCl) chez le laurier rose (*Nerium oléander*) n'apparaissent qu'aux doses supérieures à 6g/l par une réduction de 50% de la production de matière sèche.

Epron *et al.* (1995), signalent que la biomasse sèche des tiges et des racines des plants de chêne (*Quercus robur* L.) est affectée en présence de NaCl en solution nutritive 22% de réduction du poids sec aérien à 50 mM, et 59 % de réduction du poids sec racinaire à 250 mM. La surface foliaire moyenne des plants est aussi diminuée de 21% à 50 mM. et de 62% à 250 mM, ces auteurs signalent aussi que les traitements salins modérés et élevés altèrent fortement l'élongation des racines.

Nabil et Coudret, (1995) cités par Viégas et Silveira (1999), montrent que le traitement salin mène aussi à la réduction de la surface foliaire totale, un ralentissement de l'élongation racinaire suivie d'une augmentation de volume. En plus les symptômes de sénescence et de nécrose sont visibles au niveau des feuilles basales c-à-d les feuilles adultes, c'est symptômes peuvent être le résultat d'excès de Na^+ et des Cl^- qui provoque la chlorose ensuite la mort des feuilles adultes.

L'étude de Beaton et Dudley (2004), concerne l'analyse de caractères de résistance des plantes urbaines (*Dipsacus sylvestris*) à la salinité spécialement par le NaCl et MnSO₄. dans cette étude ces auteurs pose l'hypothèse que les glycophytes ont développé une grande tolérance à la salinité dans les milieux urbains. Ils comparent l'influence du sel chez *Dipsacus sylvestris*, ils trouvent que les pousses issues de graines de plantes urbaines présentent des racines plus longues que celles issues des graines de plantes de leur ancien site naturel (*Dipsacus sylvestris*, *Asclepias syriaca*, et *Hesperis matronalis*). Néanmoins les plantes urbaines présentent un déclin de la longueur de la racine par rapport au contrôle.

La croissance des plantes et les réponses physiologiques de deux ssp d'*Acacia nilotica* (ssp *Cupressiformis* et ssp *tomentosa*) analysées par Mohamed et Coudret (1995), après un mois de stress salin (0,75, 100 et 200 mM de NaCl à 200 mM.) présentent une croissance active jusqu'à 100 mM, elle surcroît difficilement à 200mM.

Effectivement l'*Acacia cyanophylla* présente une réduction de biomasse aérienne qui était de l'ordre de (65, 49 %) une réduction de la biomasse racinaire qui atteint (55,10 %) (tableau 12) et une réduction de surface foliaire qui atteint (28,24 %) en réponse au stress sévère (16g / l), néanmoins il y a une légère stimulation de la surface foliaire (3, 982 %) en cas de stress modéré (tableau 15) des corrélations positives (annexe 4) sont observées chez cette espèce; biomasse sèche aérienne et longueur de la tige ($r = 0,978$, $P = 0,004$), biomasse sèche racinaire et longueur de la tige ($r = 0,905$, $P = 0,034$), surface foliaire et longueur de la tige ($r = 0,897$, $P = 0,039$), surface foliaire et biomasse sèche aérienne ($r = 0,864$, $P = 0,049$). La réponse des plantes d'*Acacia cyanophylla* à la salinité se manifeste aussi par un développement de la biomasse racinaire sèche au dépend de la biomasse sèche aérienne expliqué par l'augmentation des taux de la biomasse sèche totale comparativement au témoin (tableau 13) (témoin, 29,94 %), (4g/l, 32,45%), (8 g/l 29,38%), (12 g/l, 35,06%), et (16 g/l , 35,74%).

Le comportement d'*Eucalyptus gomphocephala* est un peu différent. Une inhibition apparente de l'appareil végétative en comparaison avec l'état naturel, une réduction de la biomasse sèche racinaire est observée par rapport au témoin allant de (8,19% à 31,%) tandis qu'il y a une stimulation de la biomasse sèche aérienne à 4 g/ l puis une réduction de (13,17% à 58,53%) (tableau 14), une allocation de la biomasse sèche au racine au dépend de la partie aérienne en cas de stress sévère (12g/l et 16g/l) (tableau) par contre une stimulation est observée à 4 g/l et à 8 g/l comparativement au témoin.

La surface foliaire présente un comportement qui laisse prédire que malgré l'intensité du stress salin l'espèce *Eucalyptus gomphocephala* arrive à améliorer sa surface, on observe une augmentation allant de (5,38% à 16,29%) de 4g/l à 12 g/l (tableau 17) par contre au stress sévère (16 g/l) la réduction de la surface foliaire n'atteint même pas (1%).

Il n'existe pas une corrélation entre les paramètres biométriques analysés pour cette espèce sauf pour la biomasse sèche racinaire et biomasse sèche aérienne. ($r = 0,927$, $P = 0,023$) (annexe4).

En générale l'allocation de biomasse vers les racines chez les espèces s'est traduite aussi par des valeurs des rapports longueur de la partie racinaire/hauteur de la partie aérienne, biomasse racinaire /biomasse aérienne, toujours supérieure chez les plants les plus stressés, les valeurs sont représentées en (annexe 1, tableaux 7, 8, 9, 16, 17 et 18).

Le développement de la partie racinaire au dépend de la partie aérienne est considéré par plusieurs auteurs comme un critère de résistance à la salinité; l'augmentation du rapport racine / tige est la réponse typique des glycophytes à la salinité (Greenway et Munns, 1980). D'après les résultats on voit clairement que la croissance des espèces étudiées est perturbée par le stress Salin.

Comme la croissance des plantes est contrôlée par des signaux hormonaux (Heller, 1990), le stress salin provoque une augmentation de la concentration en acide abscissique (ABA) dans la partie où il y a une réduction des concentrations en cytokinines. Ceci résulte en une croissance et une transpiration réduite (Itai, 1999in Bois, 2005).

La réduction de la croissance résulte de la dépense de ressources dans les stratégies d'adaptation; lors du stress salin la disponibilité de l'eau du sol est réduite, or une plante pour survivre et croître doit faciliter le flux d'eau conduit par la transpiration contre les forces osmotiques, matricielles et gravitationnelles du sol. Ainsi pour s'adapter au manque d'eau et maintenir l'hydratation et la turgescence de ses tissus la plante va par exemple faciliter l'entrée d'eau au niveau des racines, l'absorption d'eau peut être facilitée notamment en augmentant la conductivité hydraulique (composition membranaire) ou en effectuant un ajustement osmotique.

Ces stratégies mise en oeuvre pour maintenir l'homéostasie en condition de stress hydrique ou ionique sont consommatrice d'énergie et de ressources qu'elles détournent au dépend de la croissance. Néanmoins, l'essentiel de l'inhibition de la croissance sur l'ensemble de la période d'exposition est régulée par des signaux hormonaux en provenance des racines exposées (Munns et Termaat 1986; Hasegawa et al., 2000,Mulholland et al.,2003, Munns, 2002, 2005 in Bois 2005).

La croissance est d'autant plus réduite que la plante est sensible à l'effet spécifique de l'ion en excès dans ces tissus (Levitt, 1980).

Munns (1993), a proposé un modèle biphasique distinct pour expliquer la réponse de la plante à la salinité. D'après ce modèle, les plantes dans la première phase présentent une dominance du stress osmotique général qui peut se produire sur une période de jours ou de semaines. Dans cette phase, le stress physiologique est causé par l'excès d'ions à l'extérieur de la plante et est similaire à un stress hydrique. Ce stress hyperosmotique entraîne immédiatement une réduction de la pression de turgescence et de façon subséquente de la croissance.

Cette réduction graduelle de la croissance mène à la deuxième phase déterminée par un stress ionique pendant laquelle les effets spécifiques de salinité se sont installés, manifestée comme des dommages dans les vieilles feuilles.

C'est plus commun pour les concentrations toxiques internes du sel pour être responsable de la réduction de la croissance et la mort des plantes sensibles (Munns et Termaat, 1986; Gorham, 1992). Cette phase spécifique d'inhibition de la croissance est causée par l'accumulation de sels au-dessus d'un niveau critique dans les feuilles mûres. Quand la vacuole devient pleine, la concentration de sels dans les parois cellulaires ou le cytoplasme augmentera rapidement, et les feuilles meurent respectivement de déshydratation ou de toxicité (Oertli, 1968; Munns et Passioura, 1984; Flowers et Yeo, 1986).

Une intensification de sels dans la paroi cellulaire causera une perte excessive d'eau et d'où la plasmolyse, et une perturbation du métabolisme. Par conséquent, c'est la concentration résultante dans les feuilles qui est responsable des dommages. La perte nette de productivité de la feuille est alors finalement responsable de la perte du rendement (Munns et Termaat, 1986). Si le taux auquel les feuilles meurent devient plus rapide que le taux auquel les nouvelles feuilles grandissent, la surface foliaire photosynthétique diminuera, avec ou sans réduction de la photosynthèse. La production d'hydrocarbures déclinera, et l'énergie n'est plus suffisante pour soutenir la croissance. Finalement, la plante meurt.

Ces Résultats sont reportés pour le maïs par (Fortmeier et Shubert, 1995), le blé et l'orge par (Munns *et al.*, 1995) convenu avec ce modèle bi-phasique, alors que la réponse de riz ne s'applique pas à ce modèle. La différence dans la réponse d'une plante à un niveau donné de salinité dépend de la concentration et de la composition des ions dans la solution, aussi bien que du génotype qui est exposé (Cramer, 2000).

Sur un autre volet, chez les trois espèces, *Schinus molle*, *Acacia cyanophylla* et *Eucalyptus gomphocephala*, nos résultats ont montrés une sensibilité différente de la croissance exprimée en longueur et en biomasse sèche entre la partie aérienne et système racinaire, dans la majorité des cas les racines se trouvent les moins affectées. De ces résultats l'hypothèse de la responsabilité du système racinaire dans la tolérance à la salinité peut être ainsi formulée en se basant sur le rapport biomasse racinaire/biomasse aérienne qui augmente en fonction de l'intensité du stress salin.

Les racines du riz, maintiennent une concentration en Na^+ assez constante expliquée par un rapport biomasse racinaire/ biomasse aérienne qui augmente en fonction de l'intensité du stress salin (Yeo et Flowers, 1986).

Des résultats de Essah (2000), il est clair que le traitement salin avait un impact considérable sur la croissance d'*Arabidopsis*. Les fortes concentrations de Na^+ dans les tissus de plantes stressées relatives aux contrôles suggère qu'*Arabidopsis* n'est pas un excluer particulièrement efficace de l'ion (Na^+), mais plutôt l'accumule dans les racines. Le contenu ionique de la racine dépend de la rétention ionique et de l'efflux ionique.

C'est possible que les plantes sont capables d'expulser peu d'ions Na^+ hors de la racine à travers le mécanisme utilisant l'antiport Na^+ / H^+ . Les résultats montrent aussi cependant, que les espèces étaient incapables d'inhiber efficacement la translocation du sodium aux tiges et aux feuilles, se fait et en rapport avec les dégâts constatés. Donc, dans cette étude, les racines ont été peu affectées par la salinité que les tiges et les feuilles.

Munns (1993), ont fait aussi une observation semblable ; les racines répondent différemment par rapport aux feuilles en étant beaucoup moins sensible à la salinité. La raison de cette différence de réponse des parties de la plante à la salinité n'est pas claire, et exigerait des enquêtes supplémentaires. Les plantes peuvent être réparties comme étant tolérantes ou sensibles au sel par leur production de matière sèche ou rendement en graine après une période longue dans un sol salin ou en solution .

Donc si on analyse les résultats d'Essah (2000), la corrélation négative entre le poids total de la matière sèche d'*A. thaliana* et la concentration en (Na^+) de ces feuilles fournit l'évidence de l'effet inhibiteur de fortes concentration de (Na^+) sur la croissance. Ces résultats, par conséquent, confirment l'observation fait par Hajibagheri *et al.*, (1989) in Essah (2000), la capacité du système

racinaire de contrôler la translocation d'ions à la pousse est d'une importance cruciale pour la survie de plantes en présence de NaCl.

Ces constatations sont en accord aussi avec l'observation de Salim et Pitman (1983), la réduction de la croissance chez quelques plantes peut être proportionnelle au contenu de Na⁺ dans la tige et les feuilles. Ces plantes sont relativement résistant à la salinité, avec une concentration de (Na⁺) dans les feuilles semblable à, ou plus importante que celle dans les racines, les espèces étudiées peuvent posséder ce mécanisme de tolérance au sel.

Cependant, on pourrait argumenter que la réduction de la croissance serait attribuable aux effets osmotiques. Cependant, ce n'est pas possible de décider, clairement, le degré auquel chaque facteur a affecté la croissance de plantes. C'est aussi possible que le modèle biphasique proposé par Munns (1993), était opérationnel ici, afin que les plantes aient éprouvé en premier un effet osmotique, suivi par un effet ionique en analysant les rapports qui changent surtout en condition de stress sévère. Effectivement Alaoui-Sosse et Dizengremel (1996), montrent qu'après application d'un stress salin chez *Quercus robur* L. (20 mM ou 40 mM de NaCl), les parties âgées des plants semblent plus affectées par le sel que les parties jeunes. Le sodium est compartimenté essentiellement dans la partie racinaire alors que le chlore, absorbé en moindre quantité passe plus facilement du compartiment racinaire aux différents compartiments de la partie aérienne. L'accumulation de ces ions toxiques dans les feuilles peut être à l'origine de l'augmentation du pourcentage d'endommagement foliaire tandis que la baisse de la teneur en ATP surtout dans les jeunes feuilles s'expliquerait par son utilisation pour refouler les ions sodium en dehors des compartiments foliaires.

Donc en analysant leurs constatations on peut conclure que l'effet du sel senti par les trois espèces au niveau de leurs parties aériennes est surtout la cause de l'allocation des ressources énergétiques pour la défense de tout l'organisme.

Aussi Nguyen-Queyren *et al.* (1995), ont testé la tolérance de jeunes plants de *pin maritime* (*Pinus pinaster*) de trois provenances différentes au chlorure de sodium et leur sélectivité Na/Cl.

Les trois provenances diffèrent dans leur sensibilité au stress salin, leur résultat est en faveur de l'hypothèse du sodium comme un des facteurs responsables du dépérissement pour les jeunes plants, la tolérance au (Na⁺) est essentiellement due à une plus forte sélectivité pour le (K⁺) qui dépend de (Na⁺) ce qui permet notamment le maintien de leur croissance. Le développement de la biomasse plus importante des racines permettrait également à ces génotypes de retarder les effets toxiques de (Na⁺) par dilution de ce cation. Ces mécanismes physiologiques, sont mis en évidence à un stade de croissance précoce.

Chapitre 2 : Paramètres physiologiques

Plusieurs travaux ont montré l'effet du stress salin chez les végétaux dont le plus commun est celui lié au métabolisme. Dans ce chapitre nous allons analyser les résultats issus de l'étude des paramètres physiologiques. Qui se résumes dans les chlorophylles, la proline, les sucres solubles et les peroxydases.

2-1 Teneur en chlorophylle

Les moyennes de la teneur en chlorophylle (a) et (b), et de la chlorophylle (a + b) illustrées en figure (23, 24 et 25) montrent que toutes les espèces étudiées répondent d'une façon variable en fonction de l'intensité du stress salin et de l'espèce en question. Les variations de ces moyennes sont aussi illustrées aux tableaux (18, 19, et 21).

Tableau 18 : Taux de variation de la chlorophylle (a + b) selon l'intensité du stress salin et par rapport au témoin

Espèces	Témoin	4g/l	8g/l	12g/l	16g/l
<i>Schinus mölle</i>	/	2,05 %	-29,14 %	-20,6 %	-26,21%
<i>Acacia cyanophylla</i>	/	17,88 %	08,86 %	-9,17 %	-50,53 %
<i>Eucalyptus gomphocephala</i>	/	8,66%	-8,24 %	-9,92 %	-24,86 %

Chlorophylle (a)

Dans le cas de *Schinus mölle*, cette espèce subie une diminution de sa teneur en chlorophylle (annexe 1, tableau 22) particulièrement lorsque le stress est sévère, néanmoins sa teneur est améliorée à 4g/L l'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative ($p < 0,001$) (annexe 2, tableau 67), le test de Newman et Keuls à 5% fait ressortir trois groupements homogènes (A), (B) et (C), le premier groupe (A)

correspond aux moyennes les plus élevées (témoin et 4g/l) le groupe (B) fait référence à (8g/l et 12g/l), le groupe (C) qui représente la moyenne la plus faible reflète le traitement (16g/l).

La chlorophylle (a) chez *Acacia cyanophylla* varie sous le stress salin en comparant tous les traitements, effectivement l'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence hautement significative ($p=0,004$) (annexe 2, tableau 68). Le test de Newman et Keuls fait ressortir deux groupements homogènes (A) et (B), le groupe (A) représenté par les traitements (témoin, 4g/l, 8g/l et 12g/l) qui reflète les moyennes les plus élevées le groupe (B) représenté par le traitement (16g/l) reflète clairement l'effet nuisible de l'intensité du stress salin.

Chez *Eucalyptus gomphocephala*, la chlorophylle (a) se trouve aussi réduite, cette diminution est d'autant plus importante que l'intensité du stress est plus accentué. L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence hautement significative ($p=0,007$), (annexe 2, tableaux 69). Le test de Newman et Keuls fait ressortir deux groupements homogènes (A) et (B) le premier groupe représente les traitements (témoin, 4g/l, 8g/l et 12g/l) qui reflète les moyennes les plus élevées, le deuxième groupe (B) représenté par le traitement (16g/l) reflète la moyenne la plus faible.

Chlorophylle (b)

L'analyse de la chlorophylle (b) illustrée au figure (23, 24, 25) montre qu'à l'inverse de la chlorophylle (a) elle est d'autant plus importante que le stress salin augmente.

L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence hautement significative ($p=0,003$, annexe 2, tableau 70) chez *Schinus molle*. Le test de Newman et Keuls fait ressortir deux groupements homogènes (A) et (B) le groupe (A) représenté par les traitements (témoin, 4g/L, 8g/L et 12 g/l) qui reflète les moyennes les plus faibles, le groupe (B) représenté par le traitement (16g/l) reflète la moyenne la plus élevée.

Chez *Acacia cyanophylla* la chlorophylle (b) (annexe 1, tableau 26) présente le même comportement vis-à-vis du stress que la chlorophylle (a), effectivement il y a une stimulation à 4g/l et 8g/l. L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative ($p = 0,001$, annexe 2, tableau 71). Le test de Newman et Keuls fait ressortir trois groupements homogènes ; (A) qui représente les traitements (témoins, 4g/l et 8g/l) qui reflète les moyennes les plus élevées. Le groupe (B) représenté par le traitement (12g/l) et le dernier

groupe (C) représenté par le traitement (16g/l) reflète la moyenne la plus faible. De cette analyse on peut déduire qu'il y a une dégradation de la chlorophylle (b) à ce stade de traitement salin.

Le comportement de *Eucalyptus gomphocephala* est similaire à celui de *Schinus mölle*. Il y a une augmentation de la teneur en chlorophylle (b) (annexe 1, tableau 27) en condition de stress sévère, néanmoins l'analyse de la variance à un seul critère de classification ne montre aucune différence des moyennes, ce qui laisse prédire que la chlorophylle (b) chez cette espèce est plus ou moins stable.

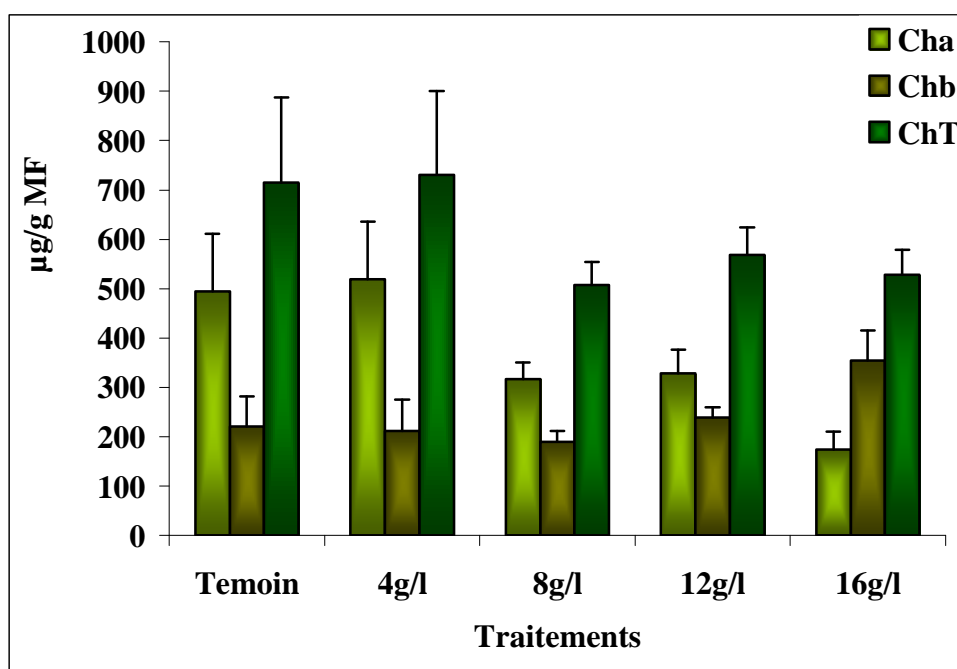


Figure 23 : Teneurs en chlorophylles chez *Schinus mölle* en fonction de l'intensité du stress salin

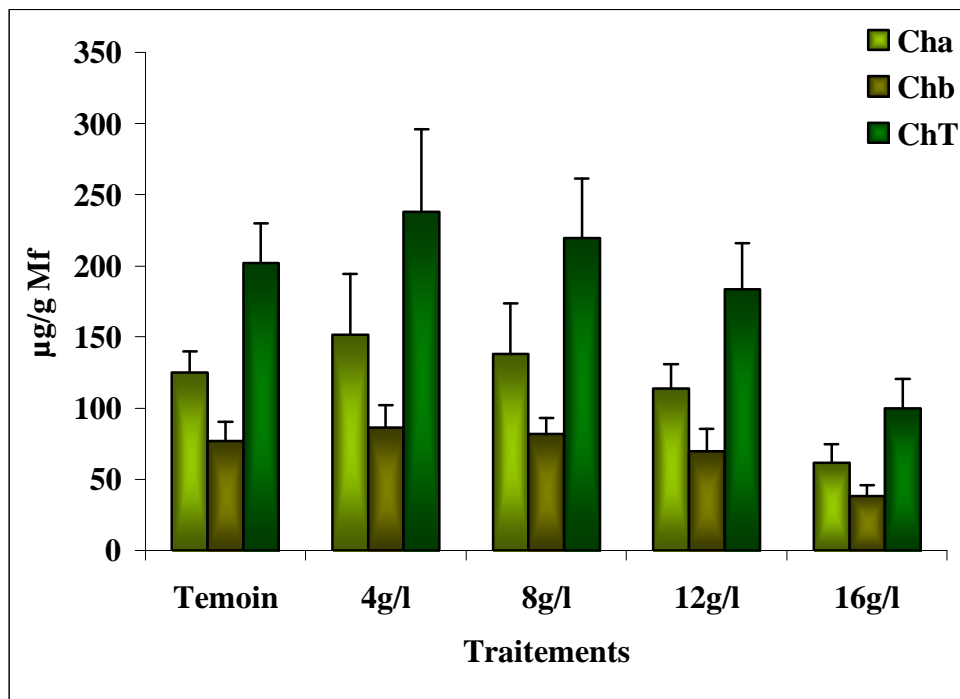


Figure 24 : Teneurs en chlorophylles chez *l'Acacia cyanophylla* en fonction de l'intensité du stress salin

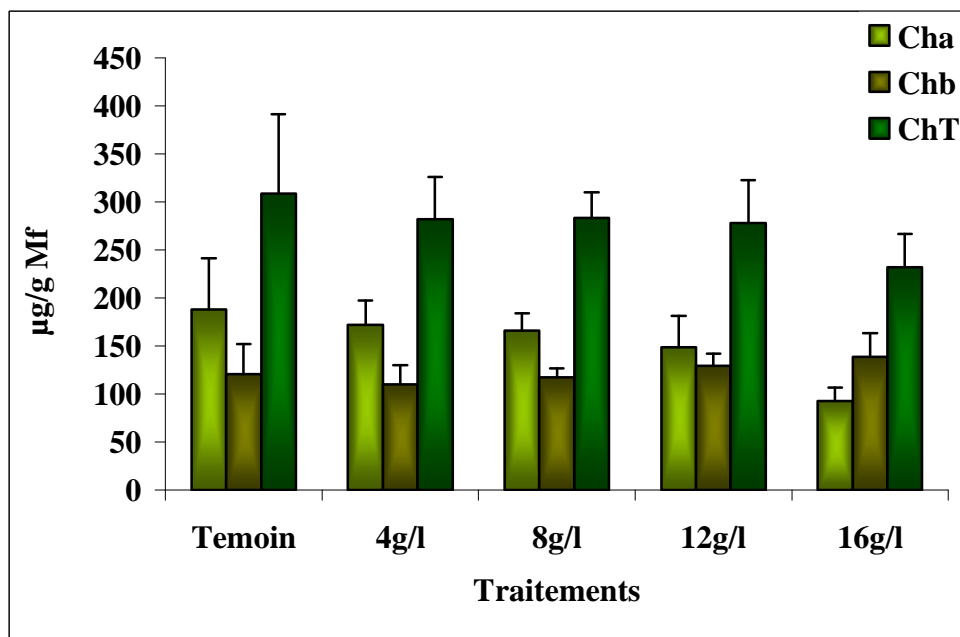


Figure 25 : Teneurs en chlorophylles chez *l'Eucalyptus gomphocephala* en fonction de l'intensité du stress salin

NB :

Cha : chlorophylle (a)

Chb : chlorophylle (b)

ChT : chlorophylle (a+b)

Chlorophylle (a + b)

La figure (26) relative à la teneur en chlorophylle (a + b) constitue une illustration comparative entre les trois espèces ainsi que le tableau (18).

Les résultats montrent que l'espèce la plus riche en chlorophylle est le *Schinus mölle* la plus faible est *Acacia cyanophylla*. L'*Acacia* et l'*Eucalyptus* sont celles qui élaborent moins de chlorophylle dans les conditions normales.

La chlorophylle (a + b) chez *Schinus mölle* diminue en fonction de l'intensité du stress salin (annexe 1, tableau 28). En effet, nous avons des taux de réduction allant de 20,6% et 29,05% par rapport au témoin. L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence significative ($P = 0.038$), annexe 2, tableau 73). Le test de Neweuman et Keuls fait ressortir deux groupements homogènes (A) et (B), le premier groupe représenté par les traitements (témoin et 4g/l) qui reflète les moyennes les plus élevées ; le deuxième groupe (B) représenté par les traitements (8g/l, 12g/l et 16g/l) reflète les moyennes les plus faibles.

Chez *L'Acacia cyanophylla* la chlorophylle (a + b) tend à diminuer en fonction de l'intensité du stress, en effet, nous enregistrons un taux de réduction de 50,53% en réponse à un stress très sévère (16g/l) (annexe 1, tableau 29). L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative ($p < 0,001$, annexe 2, tableau 74).

Le test de Neweuman et Keuls fait ressortir deux groupements homogènes (A) et (B), le premier groupe (A) est représenté par les traitements (témoin, 4g/l, 8g/l et 12g/l) qui reflètent les moyennes les plus élevées, le deuxième groupe représenté par le traitement (16g/l) qui reflète la moyenne la plus faible.

Chez *l'Eucalyptus gomphocephala* l'analyse de la variance à un seul critère de classification ne montre aucune différence significative entre les moyennes enregistrées ($P = 0,346$) (annexe 2, tableau 75). En effet, la valeur la plus élevée est affichée au témoin et la plus faible est représenté par (16g/l) (annexe 1, tableau 30). Ce test confirme les résultats précédents et montre que les composantes de la chlorophylle chez cette espèce sont plus ou moins stables.

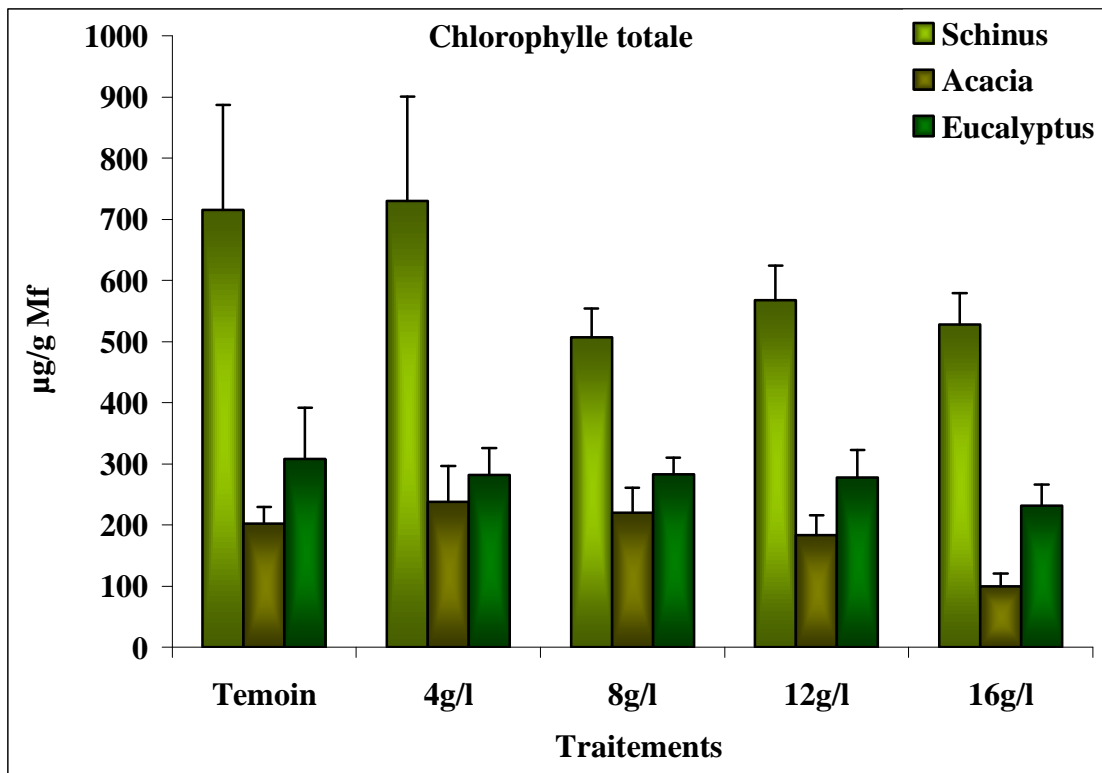


Figure 26: Teneurs en chlorophylles totales chez les trois espèces en fonction de l'intensité du stress salin

NB : Chlorophylle totale : chlorophylle (a+b)

Chlorophylle a/b

Le rapport chlorophylle a/b est un paramètre important pour connaître l'influence d'un stress salin, en condition normale chez les plantes supérieures, ce rapport varie entre 2 et 3. La chlorophylle a est deux fois plus que la chlorophylle b cette dernière est plus stable.

En condition de stress ce rapport diminue, nos résultats concernant ce rapport sont illustrée aux figures (27, 28, et 29).

Chez *Schinus mölle* l'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative ($p < 0,001$), (annexe 2, tableau 76). Le test de Newman et Keuls fait ressortir trois groupements homogènes (A), (B) et (C), le groupe (A) est représenté par les traitements (témoin et 4g/L) ; en condition de stress modéré la chlorophylle et nom affectée. Le groupe (B) représenté par les traitements (8g/l et 12g/l) là il y a une dégradation de la chlorophylle (a) le groupe (C) représenté par le traitement 16g/l reflète une moyenne très faible qui est de l'ordre

de (0,51), le stress salin a provoqué un déséquilibre entre la chlorophylle (a) et (b) qui mène à une dégradation de la chlorophylle (a) en (b). Le rapport a/b est un indice de stress et de toxicité.

Chez *L'Acacia cyanophylla*, la moyenne n'est pas significative à différents niveaux de salinité, testée par l'analyse de la variance à un seul critère de classification ($p = 0,959$). Le rapport a/b chez cette espèce montre la proportionnalité entre la chlorophylle (a) et la chlorophylle (b) ces deux composantes présentent le même comportement vis-à-vis de la contrainte saline.

Chez *Eucalyptus gomphocephala* par contre, l'analyse de la variance montre une différence très hautement significative ($p < 0,001$), (annexe 2, tableaux 78). Le test de Newman et Keuls fait ressortir trois groupements homogènes (A), (B) et (C), le groupe (A) représenté par les traitements (témoin, 4g/l et 8g/l). Le groupe (B) représenté par le traitement (12g/l) et le groupe (C) représenté par le traitement (16g/l).

Il y a une réduction graduelle de ce rapport en fonction de l'intensité du stress salin néanmoins l'analyse de ces résultats montre que *L'Acacia* présente une stabilité de ce rapport en comparaison avec *Schinus molle* et *Eucalyptus gomphocephala*.

L'analyse de la variance à deux critères de classification montre que ce paramètre diffère très hautement significativement ($P < 0,001$) (annexe 3, tableau 93) entre les espèces étudiées ce qui est en rapport avec la nature génétique de chaque espèce.

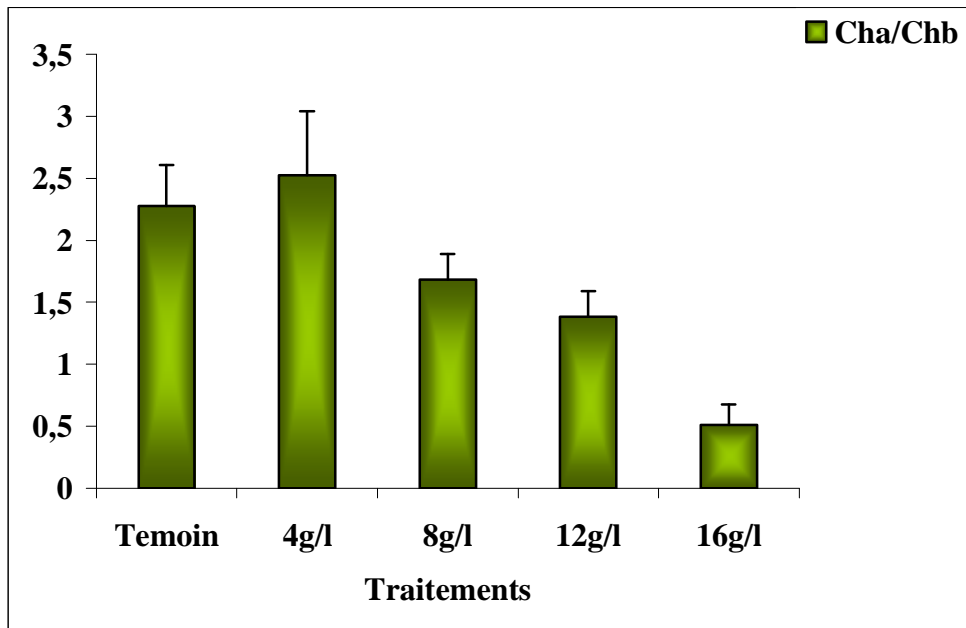


Figure 27: Rapport a/b chez *Schinus molle*

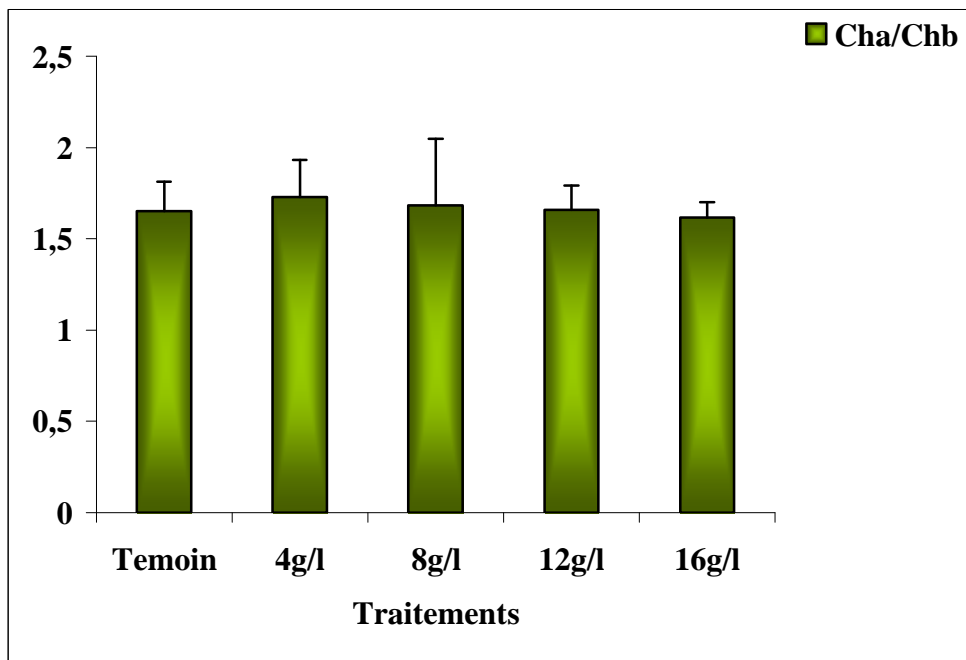


Figure 28: Rapport cha/chb chez *Acacia cyanophylla*

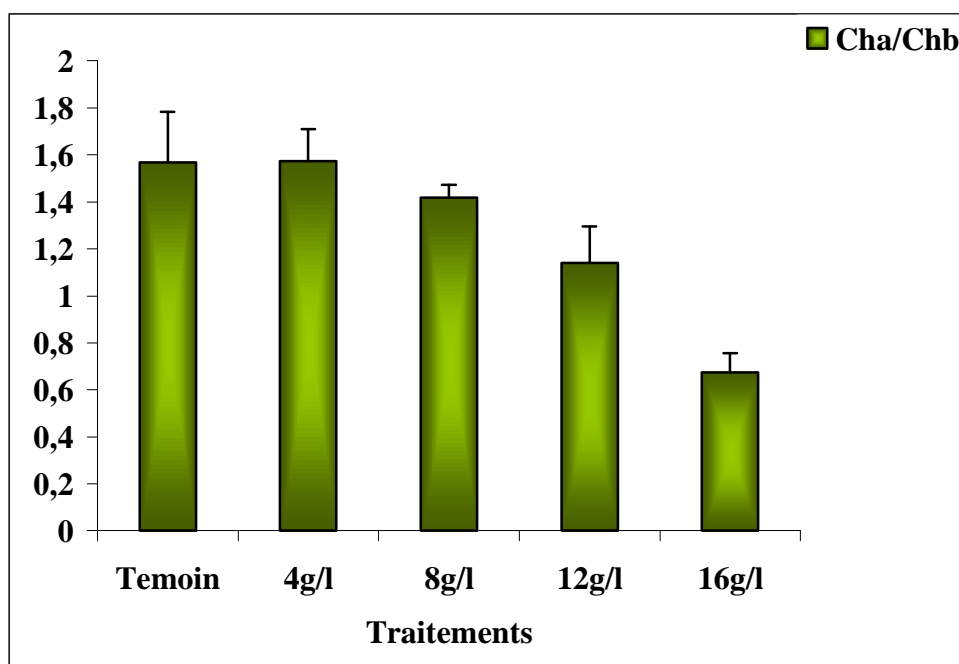


Figure 29: Rapport *cha/chb* chez *Eucalyptus gomphocephala*

2-2 Teneurs en sucres solubles

Les différentes moyennes enregistrées relatives aux taux des sucres dans les feuilles des espèces étudiées sont illustrées aux figures (30, 31 et 32). Les résultats illustrés des taux des sucres solubles accumulés dans les feuilles sont variables dans leur globalité. Les taux de variation sont illustrés au tableau 22.

Tableau 19: Taux de variation des sucres solubles selon l'intensité du stress salin et par rapport au témoin

Espèces	Témoin	4g/l	8g/l	12g/l	16g/l
<i>Schinus mölle</i>	/	7,94 %	6,19 %	0,85 %	-5,25 %
<i>Acacia cyanophylla</i>	/	11,62 %	44,52 %	47,81 %	59,33 %
<i>Eucalyptus gomphocephala</i>	/	2,03 %	19,37 %	36,08 %	67,88 %

Chez *Schinus Mölle* les teneurs en sucres solubles sont peu variables dans leur globalité, les taux de variation par rapport au témoin sont (7.94%, 6.19%, 0.85% et - 5,25%) respectivement à 4g/l , 8g/l, 12g/l et 16 g/l. Effectivement l'analyse de la variance ne montre aucune différence significative ($P=0.916$), (annexe 2, tableau 82). De ce fait cette espèce n'est pas accumulatrice de sucres solubles en conditions de stress salin.

Chez *l'Acacia Cyanophylla*, l'accumulation des sucres est graduelle en fonction de l'intensité du stress salin, les taux d'augmentation ont atteint (11.62%, 44.52%, 47.81% et 59.33) respectivement à (4g/l , 8g/l , 12g/l et 16g/l) par rapport au témoin. L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative ($P<0.001$), (annexe 2, tableau 83), le test de Newman et Keuls fait ressortir deux groupements homogènes (A) représenté par le témoin et le traitement (4g/l) qui reflète les moyennes les plus faibles et le groupe (b) présenté par les traitements (8g/l, 12g/l et 16g/l) qui reflète les moyennes élevées. Donc en remarque une accumulation des sucres solubles chez cette espèce.

Chez *l'Eucalyptus gomphocephala*, l'accumulation des sucres solubles accuse une variation graduelle en fonction du stress salin qui atteint 2.03%, 19.37%, 36.08% et 67.88% respectivement à (4g/l, 8g/l, 12g/l et 16g/l), l'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence hautement significative ($p=0.002$), (annexe 2, tableau 84). Le test de Newman et Keuls fait ressortir trois groupements homogènes, (A), (AB), et (B), le groupe (A) représenté par les traitements (témoin, 4g/l) qui reflète les moyennes les plus faibles. Le groupe (AB) représenté par les traitements (8g/l, et 12g/l). Le groupe (B) représenté par le traitement (16g/l) qui reflète la moyenne la plus élevée. Donc *l'Eucalyptus gomphocephala* est une plante accumulatrice de sucres solubles en conditions de stress salin.

L'analyse de la variance à deux critères de classification montre que ce paramètre diffère très hautement significativement ($P< 0,001$) (annexe 3, tableau 94). Se test confirme que les espèces étudiées répondent différemment l'une de l'autre vis-à-vis du stress salin.

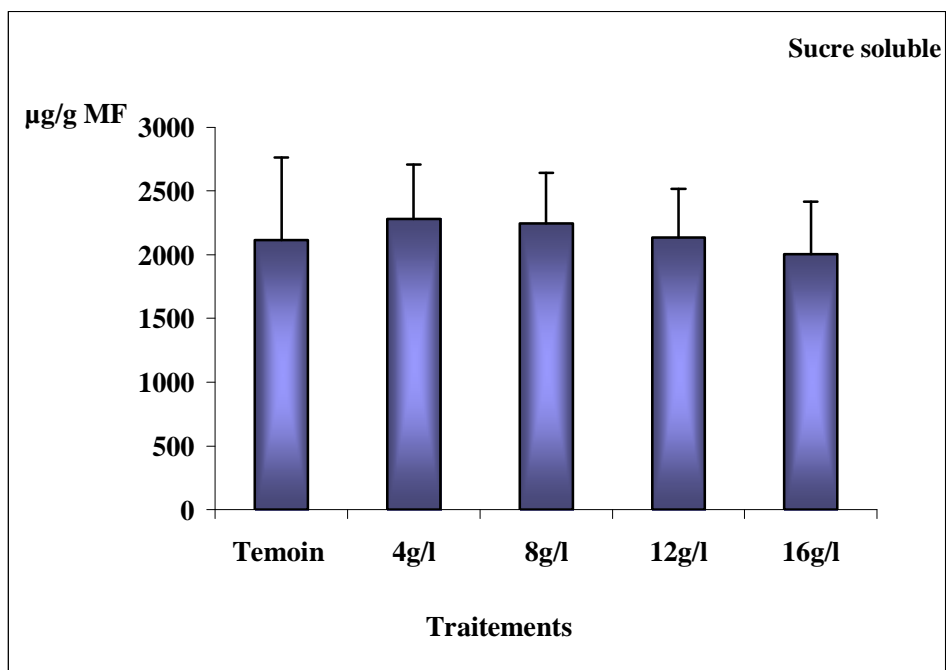


Figure 30: Teneurs en sucres solubles chez *Schinus molle*

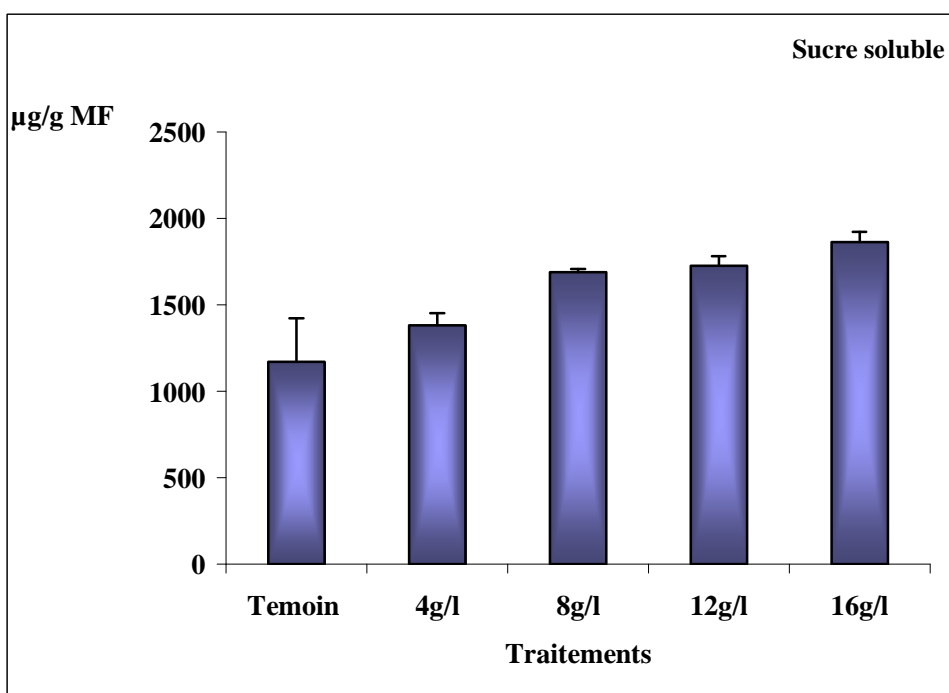


Figure 31 : Teneurs en sucres solubles chez *Acacia cyanophylla*

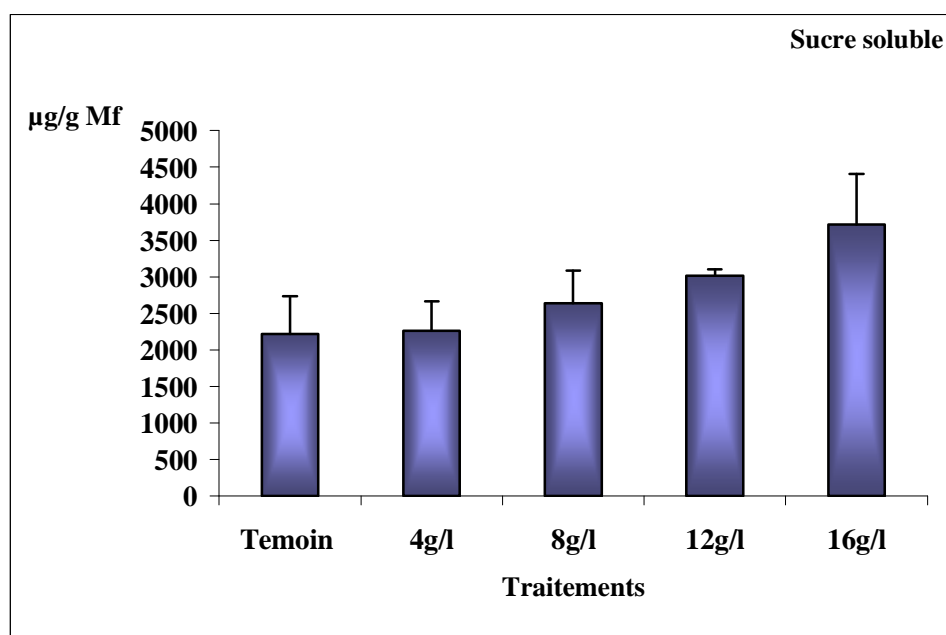


Figure 32 : Teneurs en sucres solubles chez l'Eucalyptus gomphocephala

2-3 Teneurs en proline

Les fonctions métaboliques des plantes se trouvent souvent perturbées en conditions de stress salin et notamment le métabolisme des acides aminés libres dont la proline constitue, pour de nombreuses espèces l'élément principal de modification.

Les figures (33, 34, 35) représentent les variations de la teneur en proline des différentes espèces étudiées en fonction de l'intensité du stress salin ainsi que le tableau 20.

Tableau 20: Taux de variation de la proline selon l'intensité du stress salin et par rapport au témoin

Espèces	Témoin	4g/l	8g/l	12g/l	16g/l
<i>Schinus mölle</i>	/	32,05 %	40,24 %	45,56 %	52,92 %
<i>Acacia cyanophylla</i>	/	-27,27 %	- 51,83 %	-39,63 %	-65,52 %
<i>Eucalyptus gomphocephala</i>	/	2,08 %	24,86 %	13,16 %	-17,87 %

Chez *Schinus mölle* le stress Salin a provoqué une accumulation de la proline dans les feuilles. Les taux d'augmentation de la proline ont atteint (32,05 %, 40 ,24 % ,45.56% et 52.92%)

(tableau 20) par rapport aux plantes non stressées, respectivement à (4g/l ,8g/l ,12g/l et 16g/l) de NaCl. Cependant, les moyennes respectives (annexe 1, tableau 34) sont statistiquement différentes ; l'analyse de la variance a un seul critère de classification montre une différence significative (P=0.027), (annexe 2, tableau 79). Le test de Newman et keuls fait ressortir deux groupements homogènes (A) et (B), le groupe (A) est représenté par les traitements (témoin, 4g/l, 8g/l et 12g/l) qui reflète les moyennes les plus faibles. Le groupe (B) est représenté par le traitement (16g/l) qui reflète la plus forte accumulation de la proline. Donc des tests élaborés, cette espèce est accumulatrice de proline au niveau de ses feuilles au fur et a mesure que la salinité augmente.

Chez l'*Acacia cyanophylla* le taux de la proline chez les plantes témoins est supérieur a celui de *Schinus Mölle* et *Eucalyptus gomphocephala*. Les taux de réduction de la proline sont (27,27%, 51,83 % ,39.63% et 65,52%) par rapport au témoin (tableau 20) respectivement à (4g/l ,8g/l ,12g/l et 16g/l) de NaCl , ces taux correspondent aux moyennes (annexe 1, tableau 35) dont l'analyse de la variance a un seul critère de classification montre une différence très hautement significative($p < 0.001$), (annexe2, tableau 80).

Le test de Newman et Keuls fait ressortir trois groupements homogènes (A), (B) et (C) ; le groupe (A) représenté par le témoin dont la moyenne est la plus élevée. Le groupe (B) représenté par le traitement (4g/l), et le dernier groupe (C) représenté par les traitements (8g/l, 12g/l, et 16 g/l) dont les moyenne sont les plus faibles.

De ces tests on peut conclure que l'*Acacia cyanophylla* n'accumule pas la proline, cette dernière se dégrade au fur et a mesure que l'intensité du stress salin augmente. Donc on peut conclure que cette espèce utilise la proline comme précurseur d'azote vu que la salinité limite la fixation symbiotique d'azote atmosphérique, elle affecte négativement le processus de nodulation (Benkhaled *et al.*, 2003).

Chez l'*Eucalyptus gomphocephala* les taux d'accumulation de la proline par rapport au témoin (tableau 20) sont respectivement 24,86%, 17,87% et 2,08% pour les traitements (8g/l, 12g/l et 4 g/l), ces taux correspondent à des moyennes (annexe 1, tableau 36) dont l'analyse de la variance montre une différence très hautement significative ($p < 0.001$), (annexe 2, tableau 81), le test de Newman et Keuls fait ressortir trois groupements homogènes (A), (AB), et (B). Le groupe (A) est représenté par les traitements (12g/l et 16g/l), qui reflète les faibles moyennes, le groupe (AB) qui est représenté par les traitements (témoin, et 4g/l), le groupe (B) représenté par le traitement (8g/l) qui reflète la moyenne la plus élevée.

Cette espèce présente une accumulation de la proline à 8g/l puis une dégradation en conditions de stress plus sévère. Donc on peut conclure que l'*Eucalyptus gomphocephala* n'utilise pas la proline comme une substance de résistance au stress salin.

L'analyse de la variance à deux critères de classification montre que ce paramètre diffère très hautement significativement ($P < 0,001$) (annexe 3, tableau 95) entre les espèces étudiées. Se test confirme que les espèces étudiées répondent différemment l'une de l'autre vis-à-vis du stress salin.

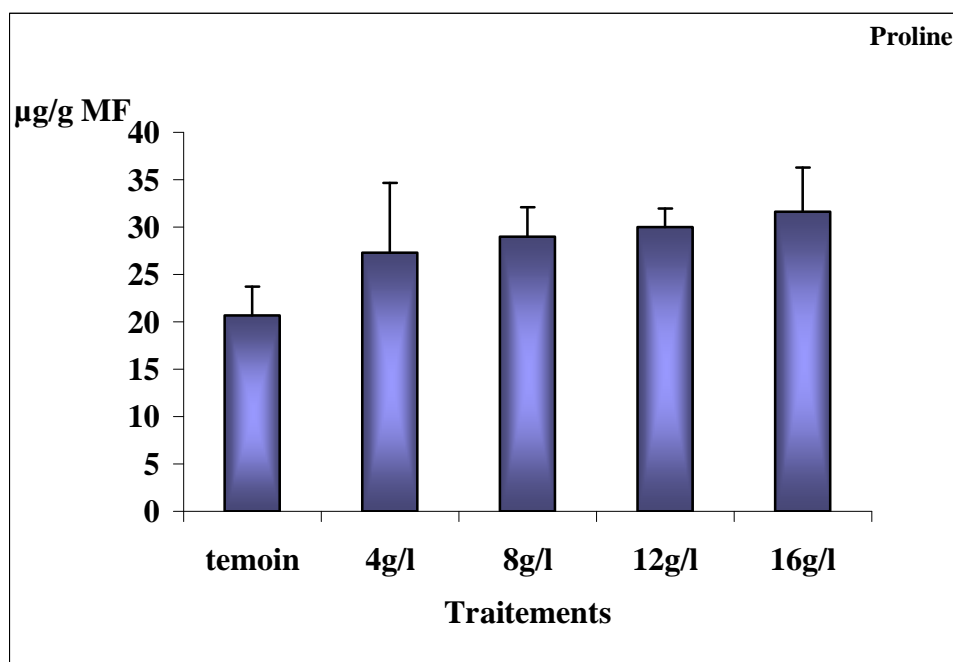


Figure 33 : Teneurs foliaires en proline chez *Schinus molle*

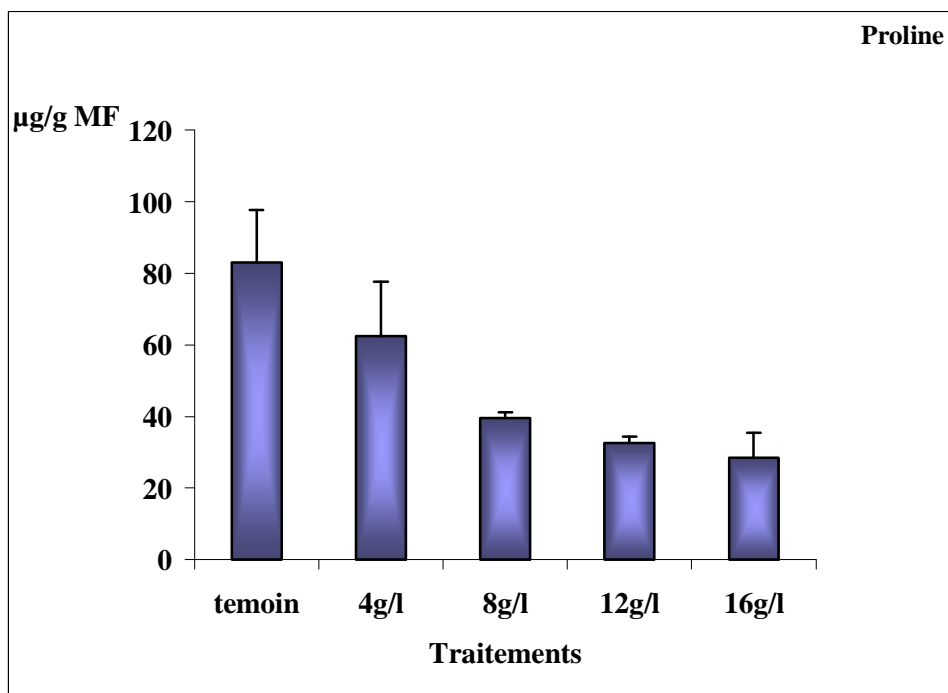


Figure 34 : Teneurs foliaires en proline chez *l'Acacia cyanophylla*

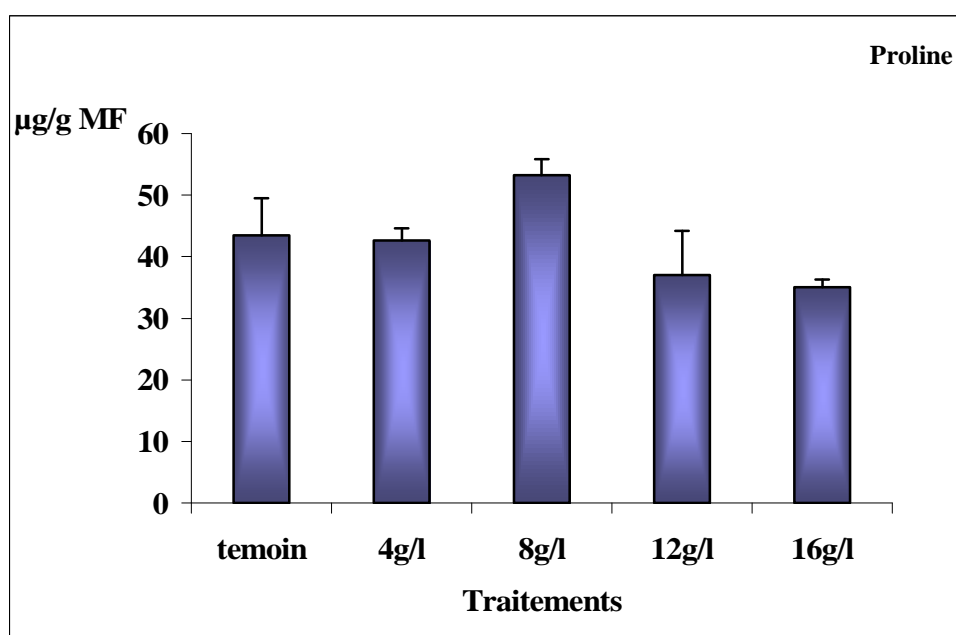


Figure 35: Teneurs foliaires en proline chez *l'Eucalyptus gomphocephala*

2-4 Activité des peroxydases

Les peroxydases sont des enzymes synthétisées par les plantes et appartiennent à une famille hétérogène. Il est toujours suggéré que l'augmentation des peroxydases peut aussi contribuer à la résistance à la salinité vue qu'elles sont impliqués dans la détoxification des espèces réactives à l'oxygène produites en conditions de stress (Smirnoff, 1999 ; Siegel, 1993 in Bajji, 1998).

Le Dosage de l'activité des peroxydases a été faite séparément dans les tissus racinaires et aériens. L'évolution de l'activité du guaiacol peroxydase en réponse à la salinité est illustrée dans les figures (36, 37, et 38).

Tableau 21 : Taux de variation de l'activité des peroxydases selon l'intensité du stress salin et par rapport au témoin

	Témoin		4g/l		8g/l		12g/l		16g/l	
	Feuilles	Racines	Feuilles	Racines	Feuilles	Racines	Feuilles	Racines	Feuilles	Racines
<i>Schinus mölle</i>	/	/	119,29%	157,23%	142,96%	106,64%	115,55%	31,89%	-37,04%	66,37%
<i>Acacia cyanophylla</i>	/	/	-1,98%	58,92%	71,05%	33,38%	32,89%	-47,96%	-40,79%	-79,56%
<i>Eucalyptus gomphocephala</i>	/	/	1058,18%	287,18%	431,01%	130,83%	295,37%	- 0,24%	187,96%	-13,28%

Chez *Schinus mölle* le stress Salin a provoqué une intensification de l'activité des peroxydases dans les feuilles. Les taux d'augmentation ont atteint (142,96%, 119,29% et 115,55% (tableau 21) par rapport aux plantes non stressées, respectivement à (8g/l, 4g/l et 12g/l) de NaCl. Cependant, les moyennes respectives (annexe1, tableau 40) sont statistiquement différentes ; l'analyse de la variance a un seul critère de classification montre une différence très hautement significative ($P < 0.001$), (annexe2, tableau 85). Le test de Newman et keuls fait ressortir deux groupements homogènes (A) et (B), le groupe A est représenté par les traitements (témoin et 16g/l) qui reflète les moyennes les plus faibles .Le groupe (B) est représenté par les traitements (4g/l, 8g/l et 12g/l) qui reflète les moyennes les élevées.

Chez *l'Acacia cyanophylla* l'intensité de l'activité des peroxydases foliaires a diminuée à 4g/l elle atteint 1.98% de réduction cette activité semble être stimulée à 8g/l et 12g/l avec des taux de variation allant de 71.05% à 32.89% respectivement (tableau 21) elle sembles être inhibée à 16g/l atteignant 40.79% de réduction. L'analyse de la variance a un seuil critère de classification montre une différence hautement significative ($P = 0,002$), (annexe2, tableau 86). Le test de Newman et Keuls fait ressortir deux groupements homogènes (A), et (B); le groupe (A) représenté par les traitements (8g/l et 12g/l) qui reflète les moyennes les plus élevées . Le groupe (B)

représenté par les traitements (témoin, 4g/l et 16g/l), dont les moyennes sont les plus faibles. Du test en voie clairement que l'activité des peroxydases est dépendante de l'intensité du stress salin

Chez l'*Eucalyptus gomphocephala* l'intensité enzymatique par rapport au témoin (tableau 21) atteint respectivement (1058%, 431,01%, 295,37% et 187,96%) de variation ; à 4g/l et 8g/l elle est très importante. Ces taux correspondent à des moyennes (annexe 1, tableau 42) dont l'analyse de la variance montre une différence très hautement significative ($p < 0.001$), (annexe 2, tableau 87), le test de Newman et Keuls fait ressortir quatre groupements homogènes (A), (B), (C) et (D). Le groupe (A) est représenté par le traitement (4g/l), le groupe (B) est représenté par le traitement (8g/l), le groupe (C) représenté par le traitement (12g/l), ces trois groupes reflètent les moyennes les plus élevées. Le groupe (D) représenté par les traitements (Témoins et 16g/l) reflète les moyennes les plus faibles.

Au niveau des racines de *Schinus molle*, le stress Salin a provoqué une intensification de l'activité des peroxydases. Les taux d'augmentation ont atteint (157,23%, 106,64%, 66,37% et 31,89%) (tableau 21) par rapport aux plantes non stressées, respectivement à (4g/l, 8g/l, 16g/l et 12g/l) de NaCl. Cependant, les moyennes respectives (annexe1, tableau 43) sont statistiquement différentes ; l'analyse de la variance a un seul critère de classification montre une différence significative ($P = 0.003$), (annexe2, tableau 88). Le test de Newman et Keuls fait ressortir deux groupements homogènes (A) et (B), le groupe A est représenté par les traitements (témoin, 12g/l et 16g/l) qui reflète les moyennes les plus faibles. Le groupe (B) est représenté par les traitements (4g/l, et 8g/l) qui reflète les moyennes les élevées.

Chez l'*Acacia cyanophylla* les taux de variation ont atteint respectivement (58,92% , 33,38%, -47,96% et -79,56%) à 4g/l, 8g/l, 12g/l et 16g/l de NaCl par rapport au témoin (tableau 21) respectivement cette activité accuse une réduction importante au traitement 16g/l. L'analyse de la variance a un seul critère de classification montre une différence très hautement significative ($p < 0.001$), (annexe 2, tableau 89). Le test de Newman et Keuls fait ressortir cinq groupements homogènes (A), (B), (C), (D) et (E) ; le groupe (A) représenté par le traitement (4g/l) qui reflète les moyenne les plus élevées. Le groupe (B) représenté par le (témoin), le groupe (C) représenté par le traitement (8g/l), le groupe (D) représenté par le traitement (12g/l), et le groupe (E) représenté par le traitement (16g/l), dont les moyenne sont les plus faibles.

Chez *Eucalyptus gomphocephala* la variation de l'intensité enzymatique par rapport au témoin (tableau 21) est respectivement (287,18%, 130,83%, - 0,24%, et -13,28%) ces taux correspondent à des moyennes des traitements (4g/l, 8g/l, 12g/l et 16g/l) (annexe1, tableau 45). L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative ($p < 0.001$), (annexe2, tableau90), le test de Newman et Keuls fait ressortir quatre groupements homogènes (A), (B), (C) et D. Le groupe (A) est représenté par le traitement (4g/l), le groupe (B) est représenté par le le traitement 8g/l ces deux groupes reflètent les moyennes les plus élevées. Le témoin et le traitement (12g/l), représentent le groupe (C), le groupe (D) représenté par le traitement (16g/l) reflète la moyenne la plus faible.

L'analyse de la variance à deux critères de classification montre une différence très hautement significative ($P < 0.001$) pour les peroxydases foliaire et racinaires entre les espèces et les traitements.

L'activité spécifique ne tiendra pas compte de la quantité d'enzymes présentes dans le milieu mais plutôt de l'intensité de cette activité sous stress. Dans les conditions normales (absence de stress), l'activité des peroxydases est pratiquement similaire chez toutes les espèces sauf pour *Eucalyptus gomphocephala*.

Le stress salin a induit un état de stress oxydatif. Lorsque le stress est faible (4g/l), l'activité spécifique augmente pour la majorité des espèces étudiées comparativement à leurs témoins respectifs. Cette augmentation est très importante chez *Eucalyptus* pratiquement dans ses racines. De l'analyse des résultats on déduit que *Schinus molle* peut maintenir une activité peroxydasique importante malgré l'intensité du stress comparativement à *Acacia cyanophylla* et *Eucalyptus gomphocephala*, ceci pourrait être expliqué par une stabilité des réactions physiologiques de cette plante sous le stress le plus intense. *Acacia* présente une baisse remarquable de l'activité des peroxydases surtout à 16g/l. *Eucalyptus* présente aussi une baisse modérée de son activité toujours à 16g/l. Ce qui signifierait une dénaturation de ces peroxydases.

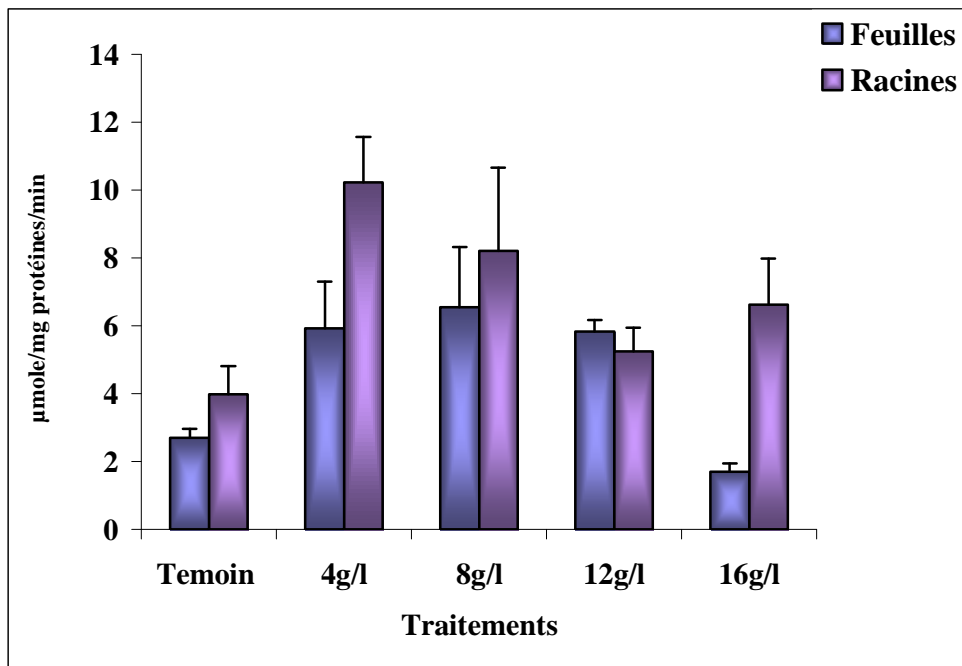


Figure 36 : Activité des peroxydases au niveau des feuilles et des racines de *Schinus molle* en fonction de l'intensité du stress salin

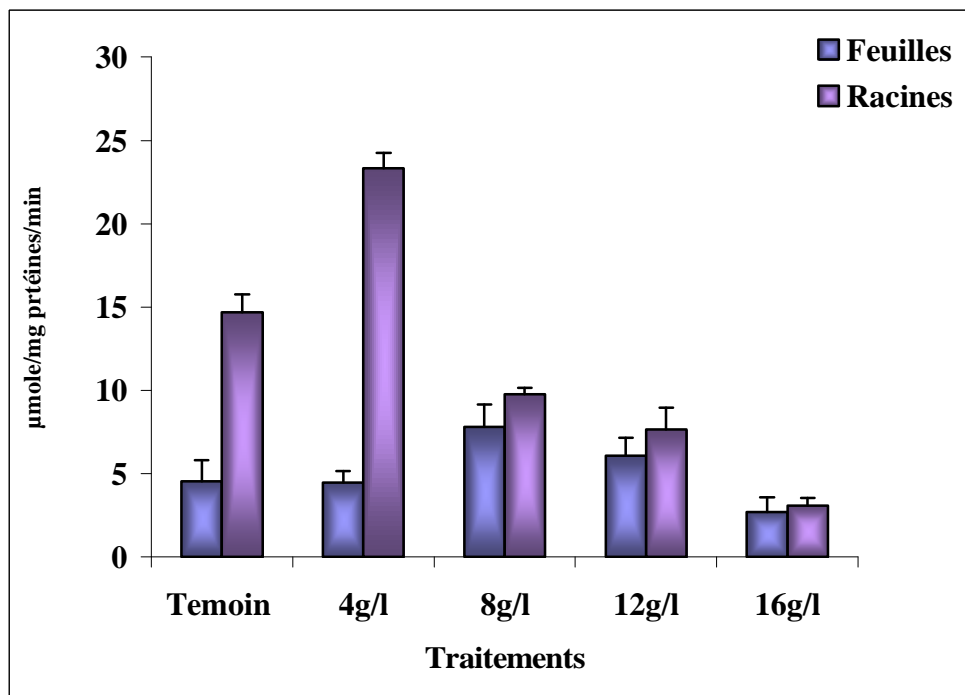


Figure 37 : Activité des peroxydases au niveau des feuilles et des racines d'*Acacia cyanophylla* en fonction de l'intensité du stress salin

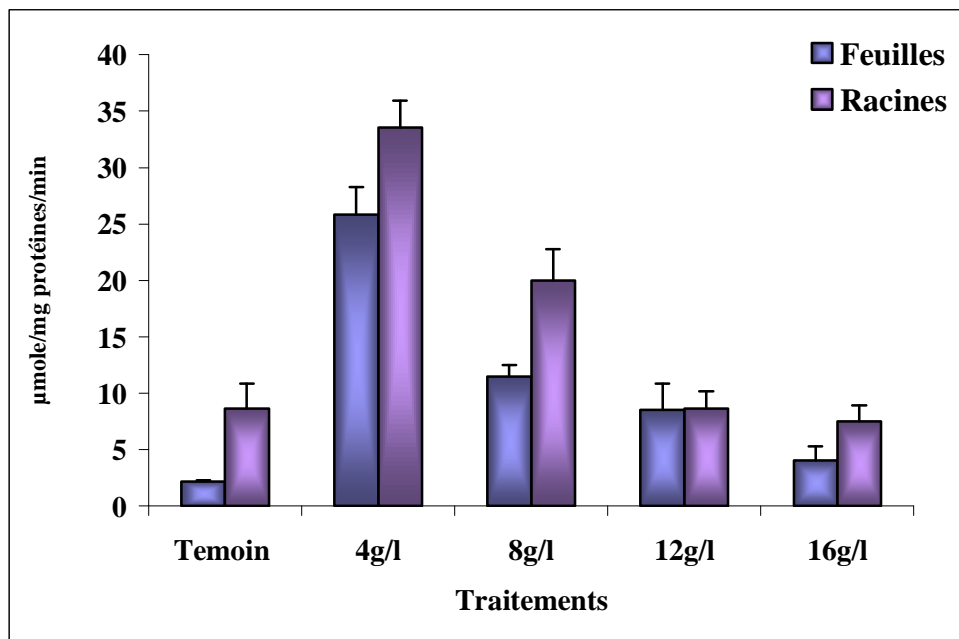


Figure 38 : Activité des peroxidases au niveau des feuilles et des racines d'*Eucalyptus gomphocephala* en fonction de l'intensité du stress salin

Discussion

Un excès de sel est d'abord un stress chimique mais qui provoque également un stress physique en limitant la disponibilité de l'eau pour les organismes exposés. C'est pourquoi les composantes explicatives de la réponse physiologique sont plutôt d'ordre biochimique (ajustement osmotique, protection du métabolisme et des structures), alors que les composantes biophysiques ne sont souvent que des résultantes de ces processus d'adaptation ou de dépérissement (turgescence, perméabilité membranaire, conductivité hydrique).

Dans le présent travail, nous avons étudiés les effets du stress salin chez *Schinus mölle*, *Acacia cyanophylla* et *Eucalyptus gomphocephala*. Cette étude a été abordée par la recherche de marqueurs biochimiques (proline, sucres solubles et chlorophylle) et d'indicateur de stress oxydatif, éventuellement la réponse antioxydante par la voie enzymatique.

Le contrôle de l'ajustement osmotique a plusieurs origines ; l'augmentation des ressources allouées à la production de solutés compatibles, la réduction de catabolisme de ces osmolites et ou la réduction de leur diffusion dans le milieu extérieur (Bois, 2005).

Chez les plantes supérieures, la proline est accumulée en cas de stress, aussi bien suite à une augmentation de sa synthèse que par une réduction de sa dégradation (Nakashima *et al.*, 1998). Chez le tabac et *Arabidopsis thaliana*, des études décrivant simultanément la surexpression du gène codant la delta-pyroline-5-carboxylase, (Konstantinova *et al.*, 2002) et l'inactivation du gène codant la proline déshydrogénase. (Maggio *et al.*, 2002; Mani *et al.*, 2002) montrent que les plantes ainsi modifiées résistent mieux à un stress salin.

Globalement, les espèces qui se sont montrées les plus sensibles au sel sur le plan morpho-physiologique, réagissent en accumulant plus rapidement de la proline. Par contre, celles qui se sont montrées tolérantes, présentent une stabilité relative ou une faible accumulation de leur teneur en proline comparativement à celles sensibles.

Comme la réduction de la croissance et l'accumulation d'osmolytes, les deux typiquement un résultat d'adaptation, une observation intéressante, rapportée par (Maggio *et al.*, 2002), pour les plantes transgéniques qui ont été créée pour surproduire, des osmolytes, est qu'ils sont souvent exposés à une réduction de la croissance en l'absence de tous stress.

Effectivement *Schinus molle* présente une corrélation négative significative entre sa teneur en proline et sa biomasse aérienne ($r=-0.882$, $P=0.048$), elle présente aussi des corrélations significative entre sa teneur en chlorophylle (a) et sa surface foliaire ($r=0.948$, $P=0.014$) et une corrélation négative significative entre sa teneur en chlorophylle (b) et sa biomasse racinaire ($r=-0.918$, $P=0.028$) ; la réduction de la photosynthèse de ce fait est en étroite relation avec la réduction de sa croissance.

L'Acacia cyanophylla présente une corrélation significative entre sa teneur en proline et la longueur de sa tige ($r=0.891$, $P=0.043$), une corrélation significative négative entre sa teneur en sucres solubles et la longueur de la tige ($r=-0.899$, $P=0.038$). Chez cette espèce on remarque une corrélation très hautement significative négative entre sa teneur en proline et sa teneur en sucres solubles, en effet l'*Acacia* n'accumule pas la proline au niveau de ses feuilles mais plutôt des sucres pour pour l'ajustement osmotique ($r=-0.993$, $P=0.001$). Elle présente aussi des corrélations significatives entre sa teneur en chlorophylle (a), (b), chlorophylle (a+b) et sa biomasse souterraine et aérienne ($r=0.910$, $P=0.032$; $r=0.879$, $P=0.049$) ($r=0.936$, $P=0.019$; $r=0.907$, $P=0.034$) ($r=0.920$, $P=0.027$; $r=0.890$, $P=0.043$) respectivement. Cette espèce présente aussi des corrélations hautement significatives entre la chlorophylle (a+b) et la chlorophylle (a) et (b), ($r=0.999$, $P=0.000$; $r=0.998$, $P=0.000$) respectivement. Le rapport a/b est corrélé significativement à la chlorophylle a

($r=0.896, P=0.040$) ce qui laisse prédire que cette espèce présente une certaine stabilité de sa teneur en chlorophylle ($r=0.995, P=0.000$).

Eucalyptus gomphocephala présente des corrélations négatives significatives entre ses sucres solubles et sa biomasse souterraine et aérienne respectivement ($r=-0.923, P=0.025$; $r=0.899, P=0.038$), cette espèce présente aussi des corrélations hautement significatives entre sa teneur en sucres solubles et le contenu en chlorophylle (a) et des corrélations négatives significatives avec la chlorophylle chT (a+b) respectivement ($r=-0.974, P=0.005$; $r=-0.916, P=0.029$). *l'Eucalyptus* présente aussi une corrélation significative entre les peroxydases foliaires et la longueur des tiges ($r=0.951, P=0.013$), et une corrélation hautement significative entre les peroxydases racinaires et la longueur de la tige ($r=0.974, P=0.0052$).

Nos résultats sont conformes à ce que Bennaceur *et al.*, (2004) ont montré pour la tomate soumise au stress salin.

De même Hubac et Vieira Da Silva (1980) et Benfattoum (2003) cités par Cheikh Mhamed (2004), ont signalé le même comportement respectivement pour le cotonnier et pour les agrumes. L'accumulation de la proline est le résultat d'effet inhibiteur du sel sur l'assimilation du CO_2 et l'augmentation du catabolisme des protéines (Viégas et Silveira, 1999).

Chez *Anacardium occidentale* L. les acides aminés totaux libres, la proline libre, et l'azote ; leur concentration augmente dans les feuilles par contre dans les racines elle reste inchangée en réponse à la salinité. Ces résultats indiquent que le stress salin provoque un comportement différent d'assimilation de l'azote et du métabolisme des protéines entre les feuilles et les racines.

L'accumulation de la proline dans les feuilles est reliée au glutamate du cycle GS/ GOGAT se qui peut être expliqué à la fin d'une part par la forte disponibilité du NH_3 dans les plantes stressées probablement due à l'augmentation de la photorespiration et d'une part au catabolisme des protéines foliaires (Viégas et Silveira, 1999).

A l'appui de l'hypothèse de Maggio *et al.* (2002), ils montrent que le niveau d'accumulation de la proline et le degré de la croissance est inversement corrélés dans les cellules de *Saccharomyces cerevisiae* se développant sous des conditions osmotiques normales. De plus, la concentration intracellulaire de la proline a aussi résulté de l'accroissement du taux de la ploïdie, la vacuolisation et l'altération de différentes transcriptions en rapport avec la division cellulaire et le contrôle de l'expression des gènes. Parce que ces modifications cellulaires sont des réponses communes pour le stress salin dans la levure et les plantes, ils proposent que cette proline et les

autres osmolytes peuvent agir comme une molécule du signal/régulateur capable d'activer des réponses multiples qui font partie du processus de l'adaptation. Comme dans des études antérieures avec les plantes transgéniques qui sur accumulent des osmolytes, ils observent quelques accroissements de la sur accumulation en proline dans un milieu hyper osmotique.

Même si certains travaux laissent sous-entendre que l'augmentation de la proline est induite par sa dégradation cela mène toujours à un ajustement osmotique.

L'augmentation de transcrite de la P5CR : Δ^1 -pyrroline-5-carboxylate synthétase, corrélée à une augmentation de proline, a été montrée chez *Arabidopsis* par (Savouré *et al.*, 1995, Yoshida *et al.*, 1995, Peng *et al.*, 1996, Kiyosue *et al.*, 1996 cités par Dubos, 2001). Ces auteurs ont montré que cette augmentation était directement reliée à l'apparition du stress. En effet lors de la phase de récupération juste après l'application du stress, le contenu en proline diminue en même temps que la quantité de transcrits correspondant à la P5CR.

L'induction de ce gène est directement reliée à la régulation du taux de proline dans les cellules, en fonction du stress. Sur des plants transgéniques de tabac (*Nicotiana tabacum*) contenant un gène codant une BADH d'orge, Ishitami *et al.*, (1995) cités par Dubos, (2001) ont mis en évidence la sur-expression du transcrit correspondant, lors d'un stress hydrique (sel et sécheresse) ou après un traitement à l'ABA. Cette augmentation de transcrite était multipliée par huit dans les feuilles et par deux dans les racines.

La croissance des plantes et les dépenses physiologiques de deux ssp. *D'Acacia nilotica* (ssp. *cupressiformis* et ssp. *tomentosa*) analysées par (Mohamed *et al.*, 1995) après un mois de stress salin (0, 75, 100, et 200 mM NaCl), présentent une croissance active jusqu'à 100 mM elle surcroît difficilement à 200 mM. La photosynthèse, la conductance stomatique et la teneur en eau diminuent de façon très importante. Les potentiels hydriques foliaires et osmotiques baissent avec la salinité. L'ajustement osmotique et les modules d'élasticité en condition de stress élèvent la capacité des deux sous espèces. Pour maintenir une balance hydrique positive ; l'accumulation du K^+ , Na^+ , Cl^- et en proline pourrait expliquer un tel ajustement. *Acacia nilotica* ssp. *cupressiformis* présente une meilleure absorption de K^+ que *tomentosa*. L'ajustement osmotique observé est dû à une accumulation en sucre et en Cl^- . Le stress diminue la teneur en proline dans les feuilles alors que sa concentration est multipliée dans les racines. Ces observations concordent avec nos résultats dans le cas de *l'acacia cyanophylla*.

D'une autre façon les symptômes de sénescences observés sur nos plants montrent clairement la toxicité ionique du sel et fournit la conviction qu'il y a systématiquement une réduction de l'assimilation du CO₂ indiqué par la réduction du contenu en chlorophylle (a + b).

Selon Munns et Termaat (1986), durant une exposition à long terme à la salinité. Les symptômes visuels de la sénescence des feuilles en réponse à la salinité sont associés à la réduction du contenu de la chlorophylle (Viégas et Siveira, 1999). La salinité provoque une dégradation de la chlorophylle et une accumulation de la fraction soluble des composés azotés (Viégas et Siveira, 1999).

Des génotypes potentiellement tolérants à la salinité de peuplier (*Populus deltoides* var. *wislizenii* (S.wats.) Ecknw) montrent un rabougrissement significatif dû à une salinité élevée qui affectait la dimension moyenne des feuilles, la hauteur des plants, la masse des racines et la masse des pousses sans qu'il y ait d'effets sur le contenu en chlorophylle ou sur le rapport racine/tige (Rowland *et al.*, 2004).

En condition de stress salin sévère le contenu de la chlorophylle diminue considérablement chez les plants sauvages *d'Arabidopsis thaliana* en comparaison avec les plants mutants. Une production élevée de peroxyde d'hydrogène dans les feuilles est synonyme de dommages photooxydatives qui est moindre chez les plants transgéniques (Mitsuya *et al.*, 2006).

La salinité détruit la structure fine des chloroplastes et provoque l'instabilité des complexes protéines-pigments (Lapina et Popov, 1984) et la diminution de la teneur en chlorophylle (Kingsbury *et al.*, 1984 ; Downton and Millhouse, 1985 ; Reddy and Vora, 1986). La réduction de la concentration en chlorophylle en conditions de stress salin est attribuée à l'augmentation de l'activité des enzymes catalitiques, les chlorophyllases (Rao and Rao, 1981).

Nos résultats concordent aussi avec ceux de Kaya *et al.*(2002), les plants de cultivar de fraise (*a Duch*) soumis à une forte salinité présente une faible matière sèche un faible rendement et une faible teneur en chlorophylle par rapport aux plants témoins.

Les symptômes visuels de stress salin mènent à la sénescence des feuilles chez les plantes de Cajou, qui est associée à la teneur en chlorophylle et à l'augmentation de la teneur foliaire en protéines solubles par contre dans les racines une réduction du taux de ces protéines solubles, de cette manière le stress salin mène très tôt à la sénescence des feuilles estimée par la dégradation de la chlorophylle et l'accumulation des fractions azotées solubles.

Les peroxydases végétales réagissent avec plusieurs donneurs artificiels d'électrons. In vivo les peroxydases végétales participent à la décarboxylation de l'auxine, la biosynthèse d'éthylène, la lignification des parois cellulaires, il participent à la réponse aux stress...etc (Rowland *et al.*, 2004). Les peroxydases constituent un groupe hétérogène d'enzymes qui assurent la réduction du peroxyde d'hydrogène en eau. L'activité de ce groupe a été essayée avec un substrat universel le guaiacol peroxydase.

Nous avons cherché, en outre, à travers ce volet de:

- Comparer la réponse antioxydante des trois plantes *Schinus molle*, *Acacia cyanophylla* et *Eucalyptus gomphocephala*;
- Comparer également la réponse d'une même plante à différents traitements salins;
- Comparer les réponses antioxydantes des différents organes (feuilles et racines).

Nos résultats ont montré que sous une contrainte saline il y a une réponse d'enzymes antioxydantes initiée par les peroxydases. Cela indiquerait l'installation d'un état de stress oxydatif induit par le (NaCl) chez les plantes testées au niveau des différents organes. Si nous comparons l'ampleur du stress oxydatif dans les différents organes nous remarquons qu'elle est plus importante au niveau du système racinaire qu'au niveau des organes aériens. Cela peut être expliqué par le fait que les racines sont en contact direct avec le sel dans le sol.

Il est connu que les peroxydases interviennent dans de nombreuses fonctions physiologiques. Sur un premier plan, les peroxydases interviennent dans le catabolisme de l'auxine et dans le contrôle de la croissance cellulaire (Barcelo *et al.*, 1989, Zheng et Van Huystee, 1992 in Baccouch, 2001). D'autre part, il a été démontré que les peroxydases ioniques à localisation pariétale sont impliquées dans les processus de lignification et de rigidification des parois cellulaires (Aoued, 1997, Sato *et al.*, 1995 cités par Majourhat et Baaziz, 2004). Indépendamment de leur rôle, les peroxydases assurent, communément la réduction du peroxyde d'hydrogène en eau au dépend d'autres molécules à haut pouvoir réducteur.

Cependant, d'autres travaux ont montré une inhibition des peroxydases sous l'action de sel. Il est connu que le stress salin induit une formation accrue d'EAO d'où le H₂O₂ ce dernier à des

concentrations supérieures à 4mM à permis de mettre en évidence un effet inhibiteur de ce substrat sur les peroxydases (Majourhat et Baaziz, 2004).

En outre, les peroxydases sont connues jouer un rôle dans la stratégie de défense cellulaire contre le stress oxydant induit par des conditions autres que celles des traitements salins comme les agents pathogènes (Hammer Schmidt *et al.*, 1982 in Baccouch, 2001), les polluants atmosphériques; le dioxyde de soufre (Pfanzen et Oppman, 1991) et l'ozone (Castillo *et al.*, 1987, Peters *et al.*, 1989; Mehlhorn, 1990 cités par Baccouch, 2001). Ainsi l'augmentation de l'activité des peroxydases pourrait être considérée comme une réponse générale à toute une variété de stress. Cette réponse est très souvent associée au rôle des peroxydases dans la lignification des parois qui aboutit à la diminution de leur plasticité et la limitation de l'élongation cellulaire (Fielding et Hall, 1978, Gaspar *et al.*, 1985, Lamport, 1986, Castillo, 1987, Sanchez *et al.*, 1995 cité par Baccouch, 2001).

Dans notre cas, cette hypothèse reste spéculative pour deux raisons:

- l'activité des peroxydases a été déterminée sur des extraits totaux de protéines sans faire la séparation entre peroxydases solubles, pariétales (liées de manière ionique ou covalente)
- l'activité de ces peroxydases n'a pas été déterminée avec des substrats spécifiques de la lignification. Dans le processus de lignification, la polymérisation des monomères formant la lignine est couplée à une consommation de peroxyde d'hydrogène .

Ainsi cette hypothèse resterait plus générale et nous supposons que la stimulation des peroxydases même si elle aurait une signification physiologique celle-ci inclut un renforcement des mécanismes qui éliminent le peroxyde d'hydrogène.

La détoxification de ce composé peut être envisagé par plusieurs systèmes enzymatiques. Ce fait est bien prouvé par plusieurs travaux dont ceux de Laurence et Dizengremel (1995). Ces auteurs mettent en évidence la réponse globale du système de détoxification de deux espèces d'arbres soumis à divers stress environnementaux, cinq isoformes sont présentes dans les aiguilles d'Epicéa ; la forme mitochondriale est une Mn-SOD tandis que l'une des isoformes Cu,Zn-SOD₁, SOD₄ est chloroplastique. Dans le cas du chêne cinq isoformes appartenant toutes à la famille des Cu,Zn-SOD sont détectées ; SOD₁ est une forme mitochondriale tandis que SOD₅ est une isoforme chloroplastique. Le système de détoxification de l'Epicéa et du chêne soumis à différents stress était

stimulé dans tous les cas. L'isoforme chloroplastique voit toujours la part d'activité qu'elle représente dans l'activité totale augmenter sauf dans le cas particulier du stress salin où l'activité de cette isoforme est pratiquement supprimée.

La peroxydase fonctionne comme un indicateur de l'effet nuisible d'émissions sur les arbres forestiers (Hantge, 1992 in Boleček *et al.*, 2001). Les résultats obtenus par (Boleček *et al.*, 2001) concernant des reliques d'arbres de Sapin (*Abies alba Mill.*) grandissant dans une localité polluée pour la description des aspects physiologiques des Sapins stressés, montrent que le plus haut niveau d'activité spécifique des peroxydases est localisé dans les aiguilles au fond de la couronne.

L'augmentation de l'activité des peroxydases était rapportée aussi par (Sancho *et al.*, 1996, Chen *et al.*, 1993 in Harinasut *et al.*, 2003) indique que l'augmentation de l'activité totale des peroxydases dans le milieu des cellules adaptées reflète le changement des propriétés mécaniques des parois cellulaires qui sont reliés aux processus d'adaptation à la salinité, les propriétés des parois cellulaires sont connu d'être modifiées par le stress salin.

Il y a une relation étroite entre l'activité des peroxydases et le changement de la paroi et de l'intégrité membranaire sous le stress salin. Dhindsa et Matowe in Harinasut *et al.*, 2003 rapportent que la production des radicaux libres est responsable de la peroxydation des lipides membranaires. Cette peroxydation augmente en cas de stress salin. Leurs résultats montrent que la concentration de NaCl active l'expression de l'activité des peroxydases chez le melon (Harinasut *et al.*, 2003). Ce qui confère l'évidente conviction que la concentration de NaCl active l'expression de l'activité des peroxydases chez *Schinus mölle*, *Acacia cyanophylla*, et *Eucalyptus gomphocephala*.

Le rôle des peroxydases dans la défense antioxydative a été évoqué par Baccouch (2001), il démontre que l'activité peroxydasique testée par le guaiacol est stimulée par le cadmium au niveau de tous les organes de tournesol et seulement au niveau de la partie aérienne dans le cas du maïs. Au niveau de la partie aérienne du maïs, ce sont les peroxydases qui semblent jouer un rôle capital dans l'élimination du peroxyde d'hydrogène causé par le stress cadmié. Toutefois, au niveau des racines c'est la catalase qui assure ce rôle.

La réaction des arbres étudiés en face du stress salin résulte entre autres d'une activité spécifique des peroxydases. A notre niveau de recherche on ne peut pas déduire que c'est une conséquence de défense et de tolérance spécifique mais néanmoins elle reste un moyen actif.

Lors d'un stress salin de faible intensité, le potentiel hydrique de la plante peut être maintenu par un ajustement osmotique. Cet ajustement implique l'accumulation, au niveau cellulaire, de sucres, d'acides aminés, d'ions ou d'autres solutés compatibles (c'est-à-dire non toxiques). L'accumulation d'osmolites permet de créer un influx d'eau dans la cellule ou tout du moins d'éviter un eflux, en augmentant la force de rétention des molécules d'eau (Crowe *et al.*, 1992 in Dubos, 2001). L'accumulation d'osmolites semblerait aussi reliée à la protection des cellules contre les espèces réactives de l'oxygène (Rhodes et Hanson, 1993). Cependant, une augmentation d'osmolites n'est pas toujours reliée à une augmentation de la tolérance (Maggio *et al.*, 2000).

Ainsi même en présence de systèmes de détoxification les plantes ne pourraient pas éviter les conséquences d'un stress salin mais uniquement les atténuer. Si une réduction de la croissance (la résultante de toutes les activités cellulaires) a été observée c'est que le métabolisme de la plante a subi la conséquence du stress salin.

Il est important de signaler que cette étude a montrée une différence entre *Schinus molle*, *Acacia cyanophylla* et *Eucalyptus gomphocephala*. Ceci pourrait rejoindre les résultats selon lesquels plusieurs auteurs ont montrés que la réponse aux différents stress diffère entre les espèces végétales et également entre cultivars (Cramer, 2000 ; Pedersen *et al.*, 2000).

Nous pouvons dire que chaque plante à une tolérance au sel qui lui est propre exprimée par les gènes qui la composent.

CONCLUSION

La recherche sur les conséquences potentielles de l'utilisation de l'eau salée dans l'agriculture irriguée s'est intensifiée. L'essentiel de cette recherche a porté sur l'étude des possibilités existantes pour améliorer la gestion de l'eau grâce à une utilisation efficace des ressources en eau saumâtre. Nous pouvons nous interroger sur la possibilité de l'utilisation des eaux salées pour l'arrosage des arbres urbains.

Pour autant que cet effort de recherche doit être encore poursuivi, des résultats notables ont déjà été atteints, en particulier l'identification des espèces tolérantes.

Les mécanismes de réponse aux stress, font intervenir un certain nombre de réactions au sein de ce processus physiologique. Chez les plantes, ces différentes étapes correspondent à la perception et la reconnaissance du stress, la transduction du signal qui en résulte à l'intérieur de la cellule, l'amplification de ce signal, la modification de l'expression de certains gènes et la production de molécules impliquées dans le rétablissement de l'homeostasie cellulaire. La chlorophylle, les molécules d'osmorégulation et les enzymes impliquées dans cette cascade de réactions peuvent être considérées comme des marqueurs de la réponse au stress salin.

Notre travail de recherche a porté sur l'identification de ces marqueurs chez des arbres forestiers d'usage fréquent en milieu urbain pour lesquels ces mécanismes étaient très peu connus. Cette approche de types exploratoire a permis d'obtenir une grande quantité d'information sur *Schinus molle*, *Acacia cyanophylla* et *Eucalyptus gomphocephala* en condition de stress salin induit par l'application de différentes doses de NaCl.

De plus une telle stratégie était employée avec succès dans plusieurs travaux. La comparaison entre la réponse de chaque espèce nous a permis de constater que les différences enregistrées sont d'origines génétiques ; même s'il existe des similitudes de comportement, chaque espèce possède ces propres caractères dans certaines étapes des mécanismes de la réponse au stress. Par conséquent, ces observations valident le choix de ces espèces pour la réhabilitation des milieux urbains salins. Nous avons supposé que ces espèces orienteraient leur métabolisme vers la synthèse de molécules osmorégulatrices afin de répondre aux conditions de stress salin.

Perspectives

Bien que ce travail ait tenté de caractériser la réaction de quelques espèces urbaines vis-a-vis du stress salin, en se basant sur des critères physiologiques et biochimiques au stade de la croissance, rendant compte de l'aptitude des espèces étudiées à supporter le sel et sur la base de quelques critères physiologiques dans des conditions semi-controlées, plusieurs autres questions restent encore posées et nécessitent d'être approfondies à savoir:

- l'étude de ces paramètres en fonction des stades de développement afin de déterminer le stade le plus sensible et celui à partir duquel le sel n'a plus d'effet, pour programmer l'intervention des irrigations avec l'eau saline en pépinière avant la transplantation. À chaque âge ses problèmes, or le milieu urbain est assez hostile aux végétaux.

- L'identification des osmoticums autre que la proline et les sucres solubles, car il est connu que, l'ajustement osmotique est l'un des plus efficaces mécanismes utilisés par les plantes, en conditions de stress salin.

- L'approfondissement de l'étude de l'action des sels sur les micro-structure et l'ultra-structure cellulaires en relation avec la teneur en chlorophylle, telles que l'intégrité des membranes cytoplasmiques et celles des chloroplastes (thylakoïdes) dans leur capacité dynamique d'adaptation;

- Ainsi qu'une études génétique pour identifier les gènes responsables de la tolérance à la salinité.

Références bibliographiques

-Alaoui – Sosse, B. et Dizengremel, P. (1996).

Croissance rythmique et modèle de gestion du Carbone chez les jeunes plantes de chêne pédonculé (*Quercus robur* L.). Influence du stress salin. Université de Nancy 1. Travaux Universitaires. 96 NAN 1 0006.

-Alatou, D., Benderradji, M.H., Achi, D. et Megoura, H. (2001).

La foresterie urbaine. L'environnement en Algérie Impacts sur l'écosystème et stratégies de protection, laboratoire d'études et de recherche sur le Maghreb et la Méditerranée. Université Constantine : 135-140.

-Alexandrien, D. (1992).

Essences forestières, Guide technique du forestier méditerranéen français. Edition techniques et documentation lavoisier, Paris. 80p.

-Allen, G. J., Wyn Jones, R. G. and Leigh, R. A. (1995).

Sodium transport in plasma membrane vesicles isolated from wheat genotypes differing in K⁺/Na⁺ discrimination traits. *Plant, Cell Environment* 18, 105-115.

-Allen, R. (1995).

Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. *Plant Physiol.* 107: 1049-1054.

-Anonyme, 1. (2005).

Guide de l'arbre-2005. www.ville.saint-eustache.qc.ca

-Asada, K. (1994).

Production and action of active oxygen species in photosynthetic tissues. In Foyer C.H. et Mullineaux P.M.(eds.), causes of photooxidative stress and amelioration of defence systems in plants. CRC press, Boca Raton. Pp.77-104.

-Ashraf, M. (1994).

Breeding for salinity tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 13 (1): 17-42.

- Baccouche, S. (2001).

Etude de la contribution des enzymes antioxydantes dans les processus de détoxification de métaux lourds (Ni, Cd) chez le maïs et le tournesol. Thèse de doctorat en physiologie végétale. Université de Tunis El Manar, 237p.

- Bajji, M., Kinet, J.M., and Stanley L. (1998).

Salt stress effects on roots and leaves of *Atriplex halimus* L. and their corresponding callus cultures. *Plant Science* 137: 131-142.

-Bartle, j., Cooper, d., Olsen g. and Carslake, j. (2002).

Acacia species as large-scale crop plants in the Western Australian wheatbelt. *Conservation Science W. Aust.* 4 (3) : 96-108.

- Beaton, L.L and Dudley S.A. (2004).

Tolerance to salinity and manganese in three common roadside species. *J. Plant Sci.* 165 (1): 37-51.

-Bell, D. T. (1999).

Australian trees for the rehabilitation of waterlogged and salinity-damaged landscapes. *Aust. J. Bot.* (47) : 697-716.

-Benkhald, L. Morte gomz,A., Ouarraqi, E. et Oihabi, A.(2003).

Réponse physiologiques et biochimiques du tréfle.(trifolium alescandrinum 1.) à la double association mycorhizes-rhizobium sous une contrainte saline.INRA, eopsciences,agronomie 23 : 571-580.

-Ben Naceur, M., Rahmoune, C. and Paul, R. (1994).

Evaluation of drought tolerance in Barley leaves *Rev. Sc. Technol.* 5:1-5.

-Ben Naceur, M. Chorfi, A., Rahmoune, C. El Jaafari, S. et Paul, R. (1997).

Potentialité de production de quelques variétés de blé dur au maghreb. *Rev. Sci. Technol.* 8 : 69-74.

-Ben Naceur, M., Ben Salem, M. Rahmoune, C., Chrfi, A., El Jaafari, S. et Paul ,R. (1998).

Etude comparée du comportement de quelques variétés anciennes et quelques variétés nouvelles de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous contrainte hydrique. *Annales de l'INRA* 71 : 251-273.

-Ben Naceur, M., Rahmoune, C., Sdiri, H., Maddah, M. et Selmi, M. (2001).

Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sécheresse* 12 (3) : 167-174.

-Ben Naceur, M., Ben Salem, M. Rouissi, M., El Brji, Z. et Rahmoune, C. (2002).

Influence du manque d'eau sur le comportement écophysologique de quatre variétés de blé dur. *Annales de l'INRGEF* 5 : 133-152

-Ben Naceur, M., Rahmoune, C. et Dellaa, Y. (2004).

Les peroxydases sont des indicateurs de tolérance au stress salin chez l'Eucalyptus au stade de la germination. *Séminaire International Ecologie Environnementale Urbaine : Etat actuel et Perspective.* Constantine 15-17.

-Ben Nacer, M., Cheikh-M'hamed, H., Maalem, S. et Rahmoune, C. (2005).

Les indicateurs précoces de la tolérance à la salinité 1^{er} Colloque Euroméditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba 28-30 Novembre 2005.

-Bensaid, S., Hamimi, S. et Tabti, W. (1998).

La question du reboisement en Algérie. Cahiers Sécheresse, Volume 9, Numéro 1 :5 -11.

-Bernstein, L. (1975).

Effects of salinity and sodicity on plant-growth. Annual Review of Phytopathology 13: 295-312.

-Berthomieu, P., Conéjéro, G., Nublat, A., Brackenbury, W.J., Lambert, C., Savio, C., Uozumi, N., Oiki, S., Yamada, K., Cellier, F., Gosti, F. Simonneau, T., Essah, P.A., Tester, M., Very, A-A., Sentenac, H. et Casse, F. (2003).

Functional analysis of AtHKT1 in Arabidopsis shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. Embo Journal. (22) : 2004-2014.

-Bezauger, L. (1986).

Les plantes dans la thérapeutique moderne, édition maloine. Paris.

-Binzel, M.L., Hasegawa, P.M., Handa, A.K. and Bressan, R.A. (1985).

Adaptation of tobacco cells to NaCl. Plant Physiology 79: 118-125.

-Bois, G.(2005).

Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et sodique. Thèse de doctorat. 187p.

-Boleček ,P. and Kormuřák, A. (2000).

Peroxidase activity in different parts of the crown of silver fir trees. JCEA (2): 1-2.

- Buckstrup, M., Bassuk, N. L., DiRenzo, O. and Hammer, A. (2003).

Recommended urban trees. Ed. Urban Horticulture Instit, Ithaca, New York.

- Burley; J. (2004).

The Acacia tree : a sustainable resource for Africa .Overview of research .Oxford Forestry Institute, Nerc University of Dundee.

-Cartica, F-M. et Quinn, .J-A. (1980).

Responses of populations of *Solidago sempervirens* (compositae) to salt spray accross a barrier beach. Am. J. Bot. (67):1236-1242.

-Cheikh M'hamed, H. (2004).

Evaluation de la tolérance de certaines accessions d'orge vis-à-vis du stress salin. Mémoire du master 127Pp.

- Cheng, S. H., Willmann, M.R., Chen, H.C. and Sheen, J. (2002).

Calcium signalling tgoth protéin kinases. The Arabidopsis calcium dependent protein kinase gene family. Plant. Physiol. 129 (4): 69-85.

-Çiçek, N. and Çakırlar, H. (2002).

- The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. *Bulg. J. Plant Physiol.* 28 (1–2): 66–74.
- Conklin, P.L., Williams, E.H. and Last, R.L. (1996).**
Environmental stress sensitivity of an ascorbic acid-deficient *Arabidopsis* mutant. *Proc. Natl. Acad. USA.* 93, 9970-74
- Cramer, G.R. (1997).**
Uptake and role of ions in salt tolerance. *In: Strategies for Improving Salt Tolerance in Higher Plants.* P.K. Jaiwal, R.P. Singh and A.Gulati (eds). Oxford and IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New, Dehli, pp 55-86.
- Cramer, G.R. (2000).**
Sodium-calcium interactions under salinity stress. *In: Salinity: Environment - Plants - Molecules.* A. Läuchli and U. Lüttge (eds.). In press.
- Cuda, J. P., Medal, J. C., Pedrosa-Macedo, J. H. and Habeck, D. H. (2002).**
Request for Field Release of a Nonindigenous Thrips *Pseudophilothrips ichini* (Thysanoptera: Phlaeothripidae) for Classical Biological Control of Brazilian peppertree, *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae), in Florida. Entomology & Nematology Department, University of Florida, Gainesville, FL, USA, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brazil Internet jcuda@ifas.ufl.edu
- Dagnelie, P. (1999).**
Statistique théorique et appliquée. Tome 2. Inférence statistique à une et à deux dimensions. Bruxelles. Université de Boeck et Larcier. 659PP.
- Diédhiou, G.J. (2006):**
Mechanisms of salts tolerance: Sodium, Chloride, and potassium Homeostasis in two rice lines with different tolerance to salinity stress. Dr. Rer.nat theses. Faculty of biology University of Bielefeld, Germany. PP.
- Downton, W. J. S. and Millhouse, J.(1985).**
Chlorophyll fluorescence and water relations of salt stressed plant. *Plantsci.lett* 37: 205-212.
- Dsikan, R., A-H-M-Mackerness, S. Hancock, J.T. et Neill, S.J. (2001).**
Regulation of the *Arabidopsis* transcriptosome by oxidative stress. *Plant Physiol.* 127: 159-172.
- Dubos, C. (2001).**
Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat. Biologie forestière. INRA. 225 PP.
- El Ayeb N., Henchi B., Garrec J.P. and Rejeb M. N. (2004).** Effets des embruns marins pollués sur les feuilles d'*Acacia cyanophylla* Lindl. et d'*Eucalyptus gomphocephala* Dc. du littoral tunisien. *Ann. For. Sci.* 61: 283-291.

- El Euch, F. (2000)**
Rôle de l'Acacia cyanophylla dans l'alimentation du cheptel en Tunisie. Ministère de l'Agriculture Direction Générale des Forêts Tunis, Tunisie.
- Elstner, E.F. (1982).**
Oxygen activation and oxygen toxicity. *Annu. Rev. Plant Physiol*, (33) 73-96.
- Epron D., Toussat M.L. and Badot P.M. (1999).**
Effect of sodium chloride salinity on root growth and respiration in oak seedlings. *Ann. For. Sci.* 56: 41-47.
- Essah, P. A. (2000).**
Sodium Transport in *Arabidopsis thaliana*.
Master of Philosophy. Department of Plant Sciences and Pembroke College, Cambridge. 80Pp
- FAO, Rome. (1982).**
Les Eucalyptus dans le reboisement, N° 11, 648p.
- FAO, Rome. (1992).**
Foresterie en zones arides - Guide à l'intention des techniciens de terrain
- FAO, Rome. (1995).**
L'avenir de la foresterie urbaine dans les pays en développement.
- FAO, Rome. (2001).**
La foresterie urbaine et peri-urbaine.
- Flowers, T.J. and Yeo, A.R. (1986).**
Ion relations of plants under drought and salinity. *Australian Journal of Plant Physiology* 13: 75-91.
- Flowers, T.J., Troke, P.F. and Yeo, A.R. (1977).**
The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annual Review of Plant Physiology* 28: 89-21.
- Foyer, C.H., Lelandais, M. et Kunert, .K.J. (1994).**
Photooxidation stress in plants. *Physiol. Plant.* (92): 696-717.
- Fortmeier, R. and Schubert, S. (1995).**
Salt tolerance of maize (*Zea mays* L.): the role of sodium exclusion. *Plant, Cell and Environment* 18: 1041-1047.
- Frank, S. and Santamour, JR. (2002).**
Trees for urban planting: diversity uniformity, and common sense. U.S. National Arboretum Agricultural Research Service. U.S. Department of Agriculture. Washington, D.C.
- Garrec, J-P. et Peulon, V. (1989).**
Traitement, entretien et gestion des arbres en villes. *Rev. For. Fr.* XLI-n° sp.
- Gavrilovic, M., Maginot, M-J., Schwartz, Gavrilovic, C. et Wallach, J. (1996).**

Manipulations d'analyses biochimiques. Doin éditeurs, 3^e édition.

-Gorham, J. (1992).

Salt tolerance in plants. *Science Progress* 76: 273-285.

-Greenway, H. and Munns, R. (1980).

Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology* 3: 149-190.

-Guignard, J. L. (1983).

Abrégé de botanique, édition masson. paris.

- Guo, Y., Halfter, U., Ishitani, M. and Zhu, J-K. (2001).

Molecular characterization of functional domains in the protein kinase SOS2 that is required for plant salt tolerance. *The Plant. Cell* 13, 1383-00.

-Guo, X. Cao, K and Xu, Z. (2004).

Response of photosynthesis and antioxygenic enzymes in seedlings of three tropical forest tree species to different light environments. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*.15 (3):377-81.

-Hadji M. (1980).

La responsabilité de la racine dans la sensibilité du laurier rose au chlorure de sodium. *Physiologie végétale* 18 (3) : 505-515.

-Halfeter, U., Ishitani, M., Zhu, J-K (2000).

The Arabidopsis SOS2 proteine kinase physically interacts with and is activated by the calcium binding protein SOS3. *Proc. Natl. Acad. Sci, USA* 97, 3735-40.

-Halliwell, B. and Gutteridge, J.M.C.(1984).

Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition metals and diseases. *Biochem.J.*(219):114.

-Hanson, A.D., Peacock, W.J., Arntzen, C.J. and Khush, G.S. (1990).

Drought resistance in rice. *Nature* 345, 26-27.

-Harinasut,P.,Poonsopa,D.,Roengmongkol, K. And charoensata porn, R. (2003).

S'alinity effects on antioxioidant enzymes in mulberry cultivar. *Sienciasia*. 29: 109-113.

-Hare, P. D. Cress, W. A. And Van Staden, J. (1998).

Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant, Cell and Environment*. (21): 535–553.

-Harmon, A.C., Gribskov, M., gbrum, E., Harper, J.F. (2001).

The CDPK superfamily of protein kinases. *New phytologist* 151: 175-83.

Harmon, A.C., Yoo, B.C. and Mc Caffery, C. (1994).

Pseudosubstrate inhibition of CDPK, a protein kinase with a calmodulin-like domain. *Biochemistry* 33: 7278-87.

-Hellali, R. (2002).

Rôle du Potassium dans la physiologie de la plante, atelier sur la Gestion de la fertilisation potassique , Institut National Agronomique Tunis III- 7.

- Heller, R. (1990).**
Abiégé de physiologie végétale. Tom 2. Développement 4^{ème} édition.
- Halfter U., Ishitani M., Zhu J-K. (2000).**
The Arabidopsis SOS2 protein kinase physically interacts with and is activated by the calcium-binding protein SOS3. *proc. Proc. Natl. Acad. Sci, USA* 97: 3735-400.
- Hernandez, S., Deleu, C. And Larher, F. (2000).**
Accumulation de proline dans les tissus foliaire de tomate en réponse à la salinité. *Life Science*, 323 : 551-557.
- Hwang, I., Chen, H-C., Sheen, J. (2002).**
Two-component signal transduction pathways in Arabidopsis. *Plant Physiol.* 129: 500-15.
- Ishitani, M., Liu, J., Halfter, U., Kim, C-S., Shi,W. and Zhu, J-K. (2000).**
SOS3 function in plant salt tolerance requires N-myristoylation and calcium-binding. *The plant Cell* 12: 1667-77.
- Jeschke, W.D. (1983).**
Cation fluxes in excised and intact roots in relation to specific and varietal differences. *Plant and Soil* 72: 197-212.
- Kaya, C.,akbekir ,E., Higgs, D. and murillo-amador, B. (2002).**
Influence of foliar – applied calcium nitrat on strawberry plants grown under salt-stressed conditions *aust. J. Exp.agric. Vol(42) 5:631-636.*
- Kessiran, M . M^{ed} . (2003).**
Gestion de l'irrigation dans le milieu salin. Recueil des communications des journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du Sud. Volume III, El-Oued les 19 et 20 mai 2003.
- Kiegle, E., Moore, CA, Haseloff, J., Tester, MA and Knight, MR (2000).**

Cell-type specific calcium responses to drought, salt and cold in the Arabidopsis root. *Plant J.* 23 (2): 267-78.
- Kingsbury, R.W., Epstein, E. and pearcy, R.W. (1984).**
Physiological responses to salinity in selected lines of wheat *physiol*, 106: 281-133.
- Knight, H., Trewavas, A.J. and Knight, M.R. (1997).**
Calcium signalling in Arabidopsis thaliana responding to drought and salinity. *The Plant Journal* 12: 1067-78.
- Knight H. (2000).**
Calcium signaling during abiotic stress in plants. *Int. Rev. Cytol.* 195: 269-325.
- Konstantinova, T., Parvanova, D., Atanassov, A. and Djilianov, D. (2002).**
Freezing tolerant tobacco, transformed to accumulate osmoprotectants. *Plants. Sci.* 163 : 157-164.
- Kovtun, Y., Chiu, W-L., Tena, G. and Sheen, J. (2000).**

- Functional analysis of oxidative stress-activated mitogen-activated protein kinase cascade in plants. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 97 : 2940-45.
- Lachaal, M. (1998).**
Variabilité de la réponse à la salinité chez la lentille, et variation en fonction du stade de développement. Thèse de doctorat. Université de Tunis II. Faculté des sciences de Tunis.
- Lagadic,L. Caquet, T. Amiard, JC. et Ramade, F. (1997).**
Biomarqueurs en ecotoxicologie , Aspects fondamentaux. Edition Masson. Paris.
- Lapina, I.P.and popov, B.A.(1984).**
Effect of sodium chloride on the photosynthetic apparatus of tomatoes.Fiziol. rast. 17: 580-585.
- Laurence, S et Dizengremel,P.(1995).**
Effets de divers stress environnementaux sur le système de détoxification de deux espèces ligneuses : l'Epicéa (*Picea abies* L .) et le chêne pédonculé (*quercus robur*.L .). Université de Nancy 1 Travaux universitaires 95 NAN 1 0397.
- Letrech-Belarouci, N. (1995).**
Sylviculture speciale. Eléments de réflexion de la mise en valeur des taillis de chêne vert. Etude d'un cas concret. Office des publications universitaires. Ben-Aknoun, Alger. Edition 2.01.4081.(07p56-pp68)
- Letrech-Belarouci, N.(1995).**
Réflexion autour du développement forestier. Office des publications universitaires. Ben-Aknoun, Alger. Edition 2.01.4082.(07p24-pp52)
- Levigneron, A. Lopez, F. Varisuyt,G. Berthomien, P. et Casse-Delbar,T. (1995).**
Les plantes face au stress salin. Cahier d'agriculture. (4): 263-273.
- Levitt, J. (1980).**
Responses of Plant to Environmental Stress Chilling, Freezing and High Temperature Stresses, 2nd edn. Levitt, J. (ed.). Academic Press, New York, NY.
- Li, W., Li, M., Zhang, W. and Welti, R., W. (2004).**
The plasma membrane bound phospholipase delta enhances freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana* . Nat. Biotechnol 22: 427-433.
- Liu, J., Ishitani, M., Halfter, U., Kim, C-S. and Zhu, J-K (2000).**
The *Arabidopsis thaliana* SOS2 gene encodes a protein kinase that is required for salt tolerance. Pro. Natl. Acad. Sci., USA 97: 3730-34.
- Maathuis, F. J. M. and Amtmann, A. (1999).**
K⁺ nutrition and Na⁺ toxicity: the basis of cellular K⁺/Na⁺ ratios. Annals of Botany 84: 123-133.
- Maggio, A. Miyazaki, S. Veronese, P. Fujita, T. Ibeas, J.I. Damsz, B. Narasimhan, M.L. Hasegawa, P. M. Joly, R. J. and Bressan, R. A. (2002).**
Does proline accumulation play an active role in stress-induced growth reduction?
The Plant Journal 31(6): 699-712.

- **Majourhat, K. et Baaziz, M.(2004).**
Diversité et caractéristiques des peroxydases foliaire du palmier dattier. Congrès international de biochimie, massakech, maroc : 153-156.
- **Mani, S., Van de Cotte, B., Van Montagu, M. and Verbruggen, N. (2002).**
Altered levels of proline deshydrogenase cause hypersensitivity to proline and its analogs in *Arabidopsis* . Plant Physiol. 128: 73-83
- Maniguet, M. (2003).**
Les pays secs environnement et développement. Ellipse Edition marketing. Paris. P (24-32).
- Marschner, H. (1990).**
Miniral nutrition of higher plants. Ed, Academic Press, London, New York, (341-350). 526-542.
- Marschner, H. (1995).**
Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd edn., Academic Press, London.
- **Maslin, B.R. and McDonald, M.W. (2004).**
Evaluation of Acacia as a woody crop option for southern Australia. Rural industries research and development corporation.
- **Mishra, S. K, Tripp, J., Winklerhaus, S., Tshiersch, B., Theres, K., Nover, L. and Scharf, K.D. (2002).**
In the complex family of heat stress transcription factors, HsfA1 has a unique role as master regulator of thermotolerance in tomato; Genes Dev. 16: 1555-67.
- Mitsuya, S.,Tanigochi, M.,Miake,H. and Takabe, T. (2006).**
Overese pression of RCI 2A decreases Na⁺ uptak and mitigates salinity –induced damages in arabidopsis thaliana plants.physiolgia plantarum,128 (1): 95-102.
- Mohamed, N.et Coudret, A.(1995).**
Etude des mechanisms de tolerance au chlorure de sodium et à une contrainte hydrique chez acacia nilotica ssp.cupressiformis et ssp.tomentosa. Université de Clermont Ferrant .2.Travaux Universitaires .95 clef 211687.
- Mokrani, A. (2002).**
Etude de la germination des semences des espèces : *Casuarina glauca*, *Eucalyptus gomphocephala*, *Cupressus sempervirens*, et *Atriplex halimus*, les plus utilisées dans les reboisements en tunisie. Mémoire de magister, université el manar, faculté des sciences de Tunis département de biologie, 79Pp.
- Mulhing K.H. et Lauchli A. (2002).**
Effect of salt stress on growth and cation compartimentation in leaves of two plant species differing in salt tolerance. J. Plant Physiol. 159: 137-146.
- Munns, R. (1993).**
Physiological processes limiting plant growth in saline soils : some dogmas and hypothèses. Plant Cell Environ.(16): 15-24.
- Munns, R. and Passioura, J.B. (1984).**

Effect of prolonged exposure to NaCl on the osmotic pressure of leaf xylem sap from intact, transpiring barley plants. *Australian Journal of Plant Physiology* 11: 497-507.

-Nakagami, H., Pitzeschke, A. and Hiert, H. (2005).

Emerging MAP kinase pathways in plant stress signalling. *Trends Plant Sci.* 10 : 339-46

-Nakashima, K., Satoh, R., Kiyosue, T., Yamaguchi-Schinozaki K., and Schinozaki, K. (1998).

A gene encoding proline deshydrogenase is not only induced by proline and Hypoosmolarity, but is also developmentally regulated in the reproductive organs of *Arabidopsis*. *plant Physiol.* 118: 1233-41.

-Nguyen-Queyrens, Derren, N., Lamant, A. et Seillac, P. (1995).

Tolérance au chlorure de sodium et sélectivité Na / K. chez 3 races géographiques de pin Maritime (*Pinus pinaster* Ait) . *Annales des Sciences Forésièrès* , vol 52 , N°5, PP.465-474.

- Nilsson, K. et Randrup, T. (1997).

La foresterie urbaine et peri-urbaine. XI congres forestier mondial 13- 22 octobre 1997, antalya, turquie, volume 1, theme 3.

- Niu, G. (2004).

Impact of drought on salinity tolerance of landscape woody plants irrigated with reclaimed water. gniu@ag.tamu.edu.

-Niu, X., Naarasimhan, M.L., Salzman, R.A., Bressan, R.A. and Hasegawa, P.M. (1993).

NaCl regulation of plasma membrane H⁺-ATPase gene expression in a glycophyte and a halophyte. *Plant Physiology* 103: 713-718.

-Niwa, Y. and Sasaki, Y. (2003).

Plant self-defense mechanisms against oxidative injury and protection of the forest by planting trees of triploids and tetraploids. *Ecotoxicol Environ Saf.* 55 (1):70-81.

-Oertli, J.J. (1968).

Extracellular salt accumulation, a possible mechanism of salt injury in plants. *Agrochimica* 12: 461-469.

-Orvar, B.L., Sangwan, V., Omann, F. and Dhindsa, R. (2000).

Early steps in cold sensing by plant cells: the role of actin cytoskeleton and membrane fluidity. *Plant.J.* 23: 785-794.

- Paridaa, A. K. and Dasa, A.B. (2005).

Sollt tolerance and salinity effects in plants: a review ecotoxycology and environment safety 60: 324-349.

-Pelmont, J. (1995).

Enzymes, catalyseurs du monde vivant. Presses universitaires de grenoble.

-Percival1, G.C., Fraser, G.A. and Oxenham, G. (2003).

- Foliar salt tolerance of *acer* genotypes using chlorophyll fluorescence. Journal of Arboriculture (2)29.
- Peterson, L.,Randrup, T-B. et Ingersler, M.(2000).**
Effect of road distance and protective measures on deicing NaCl deposition and soil solution chemistry in planted median strips. Journal of arboriculture 26 (5): 239-245.
- Plieth, C. (1999).**
Temperature Sensing by Plants : calcium-Permeable Channels as Primary Sensors A. Model J. Membrane Biol. 172: 121-127.
- Quinn, J., Findlay, V. J., Dawson, K., Millar, J.B., Jones, N., et al. (2002).**
Distinct regulatory proteins control the graded transcriptional response to increasing H₂O₂ levels in fission yeast *Schizosaccharomyces pombe*. Mol. Biol. Cell. 13: 805-16.
- Quintero, F.J., Ohta, M., Shi, H., Zhu, J-K and Pardo, J.M. (2002).**
Reconstitution in yeast of the Arabidopsis SOS signalling pathway for Na⁺ homeostasis. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 99: 906-66.
- Rahmoune, C., Semadi, A., Auad,H. and Tahar, A. (1997).**
Air quality and lichenic distribution in the northeast Algeria. Proc of Second International Scientific Conference. "Science, Development and Environment, 17-20 March 1997, Cairo (Egypt), pp. 333-344.
- Rahmoune, C., Paul, R. and Dreze, P. (1998).**
Interaction between foliar and root intake of Zn by peas .Proc. Symposium: Foliar fertilisation "A technic to improve production and disease pollution", 10-14 dec 1995, Cairo (Egypt), MM El Fouly et al., Eds, Publ. NCR. Pp. 181-184
- Rahmoune, C., Seridi, R., Paul, R. and Drez, P. (2000).**
Influence on Zn concentration in solution Applied to leaves and Roots on the absorption and translocation of Cd by leave. Agricultural Sciences, 27(1): 72-77.
- Rahmoune, C., Seridi, R., Ben Nacer, et Paul,R. (2004).**
Etude de la cinétique de désorption du cadmium à partir de racines intactes de pois (*Pisum sativum* L.) cultivé en milieu hydroponique enrichi en zinc. Revue Sciences et Technologie 21 : 39-43.
- Rahmoune, C., Ben Nacer M., Seridi, R., et Paul, R. (1997).**
Les acides aminés comme indicateurs de stress cadmié chez le pois et le maïs. Second Colloque Maghrébin sur la Biologie Végétale et l'Environnement, 28- 29 Oct., 1997, Annaba.
- Rahmoune, C., Zaimeche, S., Wathelet, B. et Ben Naceur, M. (2005).**
Rôle des acides aminés comme bioindicateurs de stress métalliques chez les végétaux aquatiques. 1^{er} Colloque Euroméditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba 28-30 novembre 2005.
- Rao,G. G. and Rao,G. R.(1981).**
Figment composition and chlorophyllase activity in pigeon pea (*cajanius indicus spreng*) and yingelly (*sesamum indicum* L.) under NaCl salinity. Exp.biol. 19: 768-770.

- Räsänen, L- A. (2002).**
Biotic and abiotic factors influencing the development of N₂-fixing symbioses between rhizobia and the woody legumes *Acacia* and *Prosopis*. Academic dissertation in microbiology. Helsinki. Thesis. 80Pp.
- Rawland, D.L., sher,A,A. and marshall, D. L. (2004).**
Inter. and intra-population variation in seedling performance of Rio grande cottonwood under low and high salinity can. J. For. res. vol. 34(7):1458-1466.
- Reddy, M. P. and vora, A.B. (1986).**
Salinity induced changes in pigment composition and chlorophyllase activity in wheat. Indian J. Plant Physiol. 29:331-334.
- Rhodes, D. and Hanson, A.D. (1993).**
Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. Ann Rev plant Physiol Plant Mol Biol 44: 357-384
- Rush, D-W. et Epstein, E. (1981).**
Breeding and selection for salt-tolerance by incorporation of wild germplasm into a domestic tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. (106): 699-704.
- Sahki, R. Boucheneb, N. et Sahki, A. (2004).**
Guide des principaux arbres et arbustes du Sahara central (Ahaggar et Tassili). Publication de l'INRF 105p-PP 141.
- Saijo, Y., Hata, S., Kyojuka, J., Shimamoto, K. and Izui, K. (2000).**
Overexpression of a single Ca⁺² dependent protein kinase confers both cold and salt/drought tolerance on rice plants. The Plant Journal 23, 319-27.
- Sairam, R. K. and Tyagi, A. (2004).**
Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. Review article. Current science 86 (3): 407.
- Salim, M. and Pitman, M. G. (1983).**
Effects of salinity on ion uptake and growth of mung bean plants (*Vigna radiata* L.). Australian Journal of Plant Physiology 10: 395-407.
- Sanders, D., Brownlee, C. and Harper, J.F. (1999).**
Communicating with calcium Plant. Cell 11: 691-706.
- Sangwan, V., Foulds, I., Singh J. and Dhindsa, RJ (2001).**
Coldactivation of Brassica napus BN115 promoter is mediated by structural changes in membrane and cytoskeleton, and requires Ca⁺² influx. Plant. J. 27 : 1-12.
- Schroeder, J.I., Allen, G.J., Hugouvieux, V., Kwak, J.M. and Warner, D. (2001).**
Guard cell signal transduction. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 52 : 627-658.
- Semmadi, A. et Rahmoune, C.(1995).**
Influence de la pollution atmosphérique sur les rendements agricoles. Rev. Sci. Technol. 6 : 31-41.

- Skiredj, A. (2005).**
Besoins des plantes en eau et en Aliments nutritifs. Département d'horticulture. IAV Hassan II. Rabat. Maroc. PP 1-12.
- Slama, F. (1986).**
L'effet de chlorure de sodium sur la croissance et la nutrition minérale de six espèces de plantes cultivées. Agronomie tropicale : 21-26.
- Smara, O. (1999).**
Etude d'une plante médicinale « le faux poivrier » (*Schinus molle*).
Mémoire de Magistère. Université. Badji Mokhtar. Annaba. 51 PP.
- Smirnoff, . (1999).**
The role of active oxygène in the response of plants to water deficit and desiccation.
New phytol 125: 27- 58.
- **Snoussi, S. A. Abdul Hussain, K.H and Abdul Hussain, M. S. (2005).**
Dynamics of absorption of some biogenics salts at tomato and bean plant cultivated in saline medium. Original paper. Journal of Central European Agriculture 6 (2): 151-156.
- **Sofa, A, Dichio, B, Xiloyannis, E. et Massia, A (2004).**
Effects of different irrachiance levels on some antioxidant enzymes and on malondialdehyde content during rewatering in olive tree, plant. Science 166, 293-303-YU, Q; then gel, Z. (1999): drought and salinity differentially influence activities of superoxide dismutas in narrow -leafed lupins, plant science 142: 1-110.
- Spennemann, D. and Marcar, N. (2004).**
Urban and heritage landscapes. Under the saline threat. The potential impact of salinity on cultural and natural values of urban landscapes. Australian Association of Natural Ressource Magement, Volume 2 Number 1, <http://www.Soil-Water .Org.au>.
- Tal, M. (1984).**
Physiological genetics of salt resistance in higher plants : Studies on the level of the whole plant and isolated organs, tissues and celles. In: Salinity tolérance in plants: stratégies of crop improvement. Staples R. C Toenissen G. H. (Eds). Wiley, New-york : 301-320.
- Termaat., A. and Munns, R. (1986).**
Use of concentrated macronutrient solutions to separate osmotic from NaCl-specific effects on plant growth. Australian Journal of Plant Physiology 13: 509-522.
- Teige, M., Scheikl, E., Eulgem, T., Doczi R., Ichimura, K., Shinozaki, K., Dangl and JL, Hirt, H. (2004).**
The MKK2 pathway mediates cold and solt stress signaling in Arabidopsis. Mol. Cell 15: 141-52.
- **Tester, M. and Davenport, R. (2003).**
Na⁺ Tolerance and Na⁺ Transport in Higher Plants. Annals of Botany (91): 503-527.
- Troll, W. et Lindesly, J. (1955).**
A photometric method for the determination of proline. J. Biol. Chem. (215): 655-660.

- Urao, T., Yakubov, B., Satoh,R., Yamaguchi-Shinozaki, K., Seki M., Hirayama,T. and Shinozaki, K. (1999).**
Atransmembrane hydrid-type histidine kinase in Arabidosis functions as an osmosensor. *Plant Cell*. 11(9): 1743-54.
- Urao, T., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Shinozaki, K. (2000).**
Two-component system in plant signal transduction. *Trend Plant Sci*. 5(2): 67-74.
- Urao, T., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Shinozaki, K. (2001).**
Plant histidine kinase: an emerging picture of two-component signal transduction in hormone and environmental responses. *Sci. STKE*. 20; 2001 (109): RE18.
- Vallejos, C. E. (1983).**
Enzyme activity staining. In : TANKESLEY, S. D et ORTON, T. J. Eds. Isoenzymes in Plant genetic and breeding. Part A. Elseivers Sciences Publishers B. V. Amesterdam. The Netherlands. Pp: 469-516.
- Viégas, R.A. et silveira, J.A.(1999).**
Ammonia assimilation and proline accumulation in younge cashew plante during longterm escposure to nall-salinity.revista brasileira de fisiologia vegetal,11 (3):153-159.
- Vincent, R. (2006).**
Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l’algue brune *Laminaria digitata*. Thèse de doctorat. Biologie. Université de Rennes 1. 237pp.
- Wang, W.X., Vinocur, B. and Altman, A. (2003).**
Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress telerance. *Planta* 218: 1-14.
- Wang, W.X., Vinocur, B., Shoseyov, O. and Altman, A. (2001).**
Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. *Acta Hort* 560: 285-292.
- Wang, X. (2002).**
Phospholipase D in hormonal and stress signaling. *Curr. Opin. Plant biol*. 5: 408-14.
- Wang, X. (2004).**
Lipid signalling. *Curr. Opin. Plant Biol*. 7: 329-36.
- Wang, X.Q., Ullah, H., Jones, A.M., and Assmann, S.M. (2001).**
G protein regulation of ion channels and assciscic acid signaling in Arabidopsis guard celle. *Science* 292, 2070-2072.
- Welti, R., Li, W., Sang, Y., Biesiada, H., Zhou, H.E., Rajashekar, C.B., Williams, T.D. and Wang, X. (2002).**
Prolifing membrane lipids in plant stress responses: role of phospholipase D alpha in freezing-induced lipid changes in Arabidopsis. *J. Biol. Chem*. 277: 31994-2002
- Wyn Jones, R.G. and Gorham, J. (1983).**
Aspects of salt and drought tolerance in higher plants. In: *Genetic Engineering of Plants, An Agricultural Perspective*. T. Kosuge, C.P. Meredith and A. Hollaender (eds.). Plenum Press, New York, pp 355-370.

- Xiong, L. and Zhu, J-K. (2002).**
Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress. *Plant, Cell and Environment* (25): 131–139.
- Xiong, L., Schumaker, K.S. and Zhu, J.K. (2002).**
Cell signaling during cold, drought and salt stress. *Plant Cell*. 14 Suppl: S165-83.
- Yeo, A.R., (1983).**
Salinity resistance: physiologies and prices. *Physiologia Plantarum* 58: 214-222.
- Yeo, A.R. and Flowers, T.J. (1986).**
Salinity resistance in rice (*Oryza sativa* L.) and pyramiding approach to breeding varieties for saline soils. *Australian Journal of Plant Physiology* 13: 161-173.
- Zhu, J-K. Liu, J. and Xiong, L. (1998).**
Genetic Analysis of Salt Tolerance in Arabidopsis: Evidence for a Critical Role of Potassium Nutrition. *The Plant Cell* 10 : 1181–1191.
- Zhu, J-K (2002).**
Salt and drought stress signal transduction in plants. *An. Rev. Of Plant Biol.* 53: 247-73.
- Zid, E. et Grignon, C. (1991).**
Test de sélection précoce pour la résistance des plantes au stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Eds. Chalbi, N., Dermanly, Y:91-104.
- <http://www.plantencyclo.com/>**

Annexe 1

Statistiques descriptives

Longueur tige

Tableau N° 1 : *Schinus mölle*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	6	86,13	87,15	86,13	3,61	1,47	A
4g/l	6	81,90	81,75	81,90	2,52	1,03	AB
8g/l	6	82,800	83,250	82,800	2,205	0,900	A
12g/l	6	78,483	78,850	78,483	1,966	0,803	B
16g/l	6	73,80	73,40	73,80	4,00	1,63	C

Tableau N° 2 : *Acacia cyanophylla*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	6	91,500	91,300	91,500	1,889	0,771	A
4g/l	6	84,72	84,75	84,72	3,60	1,47	B
8g/l	6	84,12	83,25	84,12	3,62	1,48	B
12g/l	6	75,22	75,35	75,22	3,15	1,28	C
16g/l	6	69,450	69,500	69,450	1,369	0,559	D

Tableau N°3 : *Eucalyptus gomphocephala*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	6	13,300	13,250	13,300	0,663	0,271	B
4g/l	6	19,23	18,25	19,23	3,51	1,43	A
8g/l	6	14,783	15,000	14,783	1,784	0,728	B
12g/l	6	13,067	12,950	13,067	1,878	0,767	B
² 16g/l	6	11,633	11,400	11,633	1,728	0,706	B

Longueur racine

Tableau N°4 : *Schinus mölle*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy
Témoin	6	26,05	26,80	26,05	2,54	1,04
4g/l	6	25,650	25,600	25,650	1,162	0,475
8g/l	6	25,43	24,15	25,43	2,69	1,10
12g/l	6	24,30	23,35	24,30	2,53	1,03
16g/l	6	25,867	25,250	25,867	1,791	0,731

Tableau N°5 : *Acacia cyanophylla*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy
Témoin	6	45,82	44,95	45,82	2,73	1,11
4g/l	6	47,533	47,800	47,533	1,159	0,473
8g/l	6	45,500	45,250	45,500	1,260	0,514
12g/l	6	45,050	44,800	45,050	1,627	0,664
16g/l	6	47,183	47,100	47,183	1,604	0,655

Tableau N°6 : *Eucalyptus gomphocephala*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	6	17,100	17,000	17,100	1,404	0,573	A
4g/l	6	24,72	25,15	24,72	3,19	1,30	B
8g/l	6	29,12	28,70	29,12	3,42	1,40	C
12g/l	6	26,50	27,65	26,50	4,33	1,77	BC
16g/l	6	22,117	21,350	22,117	1,961	0,801	B

Rapport en longueur**Tableau N°7 : *Schinus molle***

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	6	0,30208	0,30030	0,30208	0,02252	0,00919	A
4g/l	6	0,31361	0,31985	0,31361	0,02029	0,00828	A
8g/l	6	0,3068	0,2927	0,3068	0,0259	0,0106	A
12g/l	6	0,3093	0,2992	0,3093	0,0267	0,0109	A
16g/l	6	0,3512	0,3524	0,3512	0,0283	0,0116	B

Tableau N°8 : *Acacia cyanophylla*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	6	0,50055	0,49636	0,50055	0,02366	0,00966	A
4g/l	6	0,5619	0,5584	0,5619	0,0261	0,0106	B
8g/l	6	0,5417	0,5449	0,5417	0,0266	0,0109	B
12g/l	6	0,5996	0,5940	0,5996	0,0286	0,0117	C
16g/l	6	0,67937	0,67614	0,67937	0,01793	0,00732	B

Tableau N°9 : *Eucalyptus gomphocephala*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	6	1,2877	1,2602	1,2877	0,1168	0,0477	A
4g/l	6	1,2987	1,2861	1,2987	0,1323	0,0540	A
8g/l	6	1,9801	1,9118	1,9801	0,2125	0,0867	B
12g/l	6	2,036	2,023	2,036	0,248	0,101	B
16g/l	6	1,9210	1,8689	1,9210	0,2014	0,0822	B

Biomasse racinaire**Tableau N°10 : *Schinus molle***

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	6	0,6580	0,6575	0,6580	0,1102	0,0450	B
4g/l	6	0,6013	0,5950	0,6013	0,1104	0,0451	AB
8g/l	6	0,6775	0,6675	0,6775	0,1512	0,0617	A
12g/l	6	0,5022	0,5145	0,5022	0,0963	0,0393	BC
16g/l	6	0,3890	0,3980	0,3890	0,0342	0,0140	C

Tableau N°11 : *Acacia cyanophylla*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	6	1,390	1,352	1,390	0,377	0,154	A
4g/l	6	1,317	1,253	1,317	0,451	0,184	A
8g/l	6	1,187	1,066	1,187	0,279	0,114	A
12g/l	6	1,131	0,955	1,131	0,500	0,204	A
16g/l	6	0,624	0,539	0,624	0,261	0,107	B

Tableau N°12 : *Eucalyptus gomphocephala*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	6	0,06100	0,05550	0,06100	0,01239	0,00506	A
4g/l	6	0,05683	0,05500	0,05683	0,01297	0,00529	A
8g/l	6	0,05100	0,05100	0,05100	0,01301	0,00531	A
12g/l	6	0,04350	0,04350	0,04350	0,00864	0,00353	AB
16g/l	6	0,04200	0,04200	0,04200	0,00268	0,00110	B

Biomasse aérienne

Tableau N°13 : *Schinus molle*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	6	2,6843	2,6690	2,6843	0,2028	0,0828	A
4g/l	6	1,9863	2,0200	1,9863	0,1393	0,0569	B
8g/l	6	2,073	2,022	2,073	0,331	0,135	B
12g/l	6	1,1455	1,1875	1,1455	0,1876	0,0766	C
16g/l	6	0,7795	0,7510	0,7795	0,0713	0,0291	C

Tableau N°14 : *Acacia cyanophylla*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	6	3,252	2,751	3,252	1,222	0,499	A
4g/l	6	2,838	2,785	2,838	0,544	0,222	A
8g/l	6	2,742	2,642	2,742	0,789	0,322	A
12g/l	6	2,093	2,101	2,093	0,260	0,106	B
16g/l	6	1,122	1,004	1,122	0,427	0,174	B

Tableau N°15 : *Eucalyptus gomphocephala*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	6	0,2055	0,2010	0,2055	0,0338	0,0138	A
4g/l	6	0,2388	0,2250	0,2388	0,0705	0,0288	A
8g/l	6	0,1783	0,1795	0,1783	0,0317	0,0129	A
12g/l	6	0,08550	0,08850	0,08550	0,00622	0,00254	B
16g/l	6	0,08517	0,08550	0,08517	0,00915	0,00374	B

Rapport de biomasse

Tableau N°16 : *Schinus molle*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	6	0,2467	0,2410	0,2467	0,0501	0,0204	A
4g/l	6	0,3023	0,2892	0,3023	0,0478	0,0195	A
8g/l	6	0,3253	0,3292	0,3253	0,0456	0,0186	A
12g/l	6	0,4432	0,4525	0,4432	0,0794	0,0324	B
16g/l	6	0,5018	0,4885	0,5018	0,0585	0,0239	B

Tableau N°17 : *Acacia cyanophylla*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy
Témoin	6	0,4802	0,4642	0,4802	0,2242	0,0915
4g/l	6	0,4709	0,4725	0,4709	0,1484	0,0606
8g/l	6	0,4634	0,4759	0,4634	0,1602	0,0654
12g/l	6	0,5312	0,4522	0,5312	0,1900	0,0776
16g/l	6	0,5572	0,5852	0,5572	0,0764	0,0312

Tableau N°18 : *Eucalyptus gomphocephala*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	6	0,3095	0,2939	0,3095	0,1043	0,0426	A
4g/l	6	0,24229	0,24500	0,24229	0,02051	0,00837	A
8g/l	6	0,2889	0,3046	0,2889	0,0664	0,0271	A
12g/l	6	0,5055	0,4908	0,5055	0,0703	0,0287	B
16g/l	6	0,4969	0,5000	0,4969	0,0511	0,0208	B

Surface foliaire**Tableau N°19 : *Schinus molle***

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	6	3010	2799	3010	701	286	A
4g/l	6	2944	2903	2944	496	202	A
8g/l	6	2313	2313	2313	487	199	B
12g/l	6	1981	2033	1981	489	200	B
16g/l	6	1806,8	1765,0	1806,8	155,5	63,5	B

Tableau N°20 : *Acacia cyanophylla*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	6	4226	4460	4226	815	333	A
4g/l	6	4395	4649	4395	1274	520	A
8g/l	6	3796	3844	3796	798	326	A
12g/l	6	3010	3027	3010	543	221	B
16g/l	6	3002	3010	3002	709	289	B

Tableau N°21 : *Eucalyptus gomphocephala*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy
Témoin	6	667,3	659,5	667,3	101,2	41,3
4g/l	6	703,2	669,5	703,2	140,9	57,5
8g/l	6	768,3	776,5	768,3	113,7	46,4
12g/l	6	776,0	774,0	776,0	115,4	47,1
16g/l	6	662,7	634,0	662,7	103,1	42,1

Chlorophylle a

Tableau N°22 : *Schinus molle*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	4	494,1	491,4	494,1	116,9	58,4	A
4g/l	4	518,8	501,4	518,8	117,9	58,9	A
8g/l	4	317,1	313,8	317,1	33,2	16,6	B
12g/l	4	329,2	316,0	329,2	47,4	23,7	B
16g/l	4	173,9	188,8	173,9	36,2	18,1	C

Tableau N°23 : *Acacia cyanophylla*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	4	125,20	120,79	125,20	14,83	7,41	A
4g/l	4	151,5	145,6	151,5	42,9	21,5	A
8g/l	4	137,8	122,4	137,8	35,8	17,9	A
12g/l	4	113,94	110,94	113,94	16,97	8,48	A
16g/l	4	61,72	63,43	61,72	12,91	6,46	B

Tableau N°24 : *Eucalyptus gomphocephala*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	4	188,2	178,4	188,2	53,0	26,5	A
4g/l	4	171,9	169,2	171,9	25,6	12,8	A
8g/l	4	166,24	164,49	166,24	17,83	8,91	A
12g/l	4	148,8	161,2	148,8	32,3	16,2	A
16g/l	4	92,84	97,31	92,84	13,47	6,73	B

Chlorophylle b

Tableau N°25 : *Schinus molle*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	4	221,5	245,4	221,5	60,0	30,0	A
4g/l	4	211,5	201,2	211,5	63,6	31,8	A
8g/l	4	190,0	193,4	190,0	21,9	10,9	A
12g/l	4	238,9	238,8	238,9	21,0	10,5	A
16g/l	4	354,2	361,7	354,2	61,8	30,9	B

Tableau N°26 : *Acacia cyanophylla*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	4	76,68	75,88	76,68	13,89	6,95	A
4g/l	4	86,54	87,44	86,54	15,66	7,83	A
8g/l	4	81,91	82,66	81,91	11,01	5,51	A
12g/l	4	69,48	65,03	69,48	15,89	7,94	B
16g/l	4	38,16	39,27	38,16	7,67	3,83	C

Tableau N°27 : *Eucalyptus gomphocephala*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy
Témoin	4	120,4	113,9	120,4	31,8	15,9
4g/l	4	110,05	109,53	110,05	19,80	9,90
8g/l	4	117,01	114,86	117,01	9,49	4,75
12g/l	4	129,19	133,66	129,19	13,19	6,59
16g/l	4	139,1	137,9	139,1	24,7	12,3

Chlorophylle a+b**Tableau N°28 : *Schinus molle***

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	4	715,6	736,8	715,6	171,7	85,9	A
4g/l	4	730,3	701,5	730,3	170,5	85,3	A
8g/l	4	507,1	492,0	507,1	47,0	23,5	B
12g/l	4	568,2	565,1	568,2	56,2	28,1	B
16g/l	4	528,1	524,5	528,1	51,4	25,7	B

Tableau N°29 : *Acacia cyanophylla*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	4	201,9	196,7	201,9	27,9	14,0	A
4g/l	4	238,0	231,5	238,0	58,1	29,1	A
8g/l	4	219,8	207,7	219,8	41,9	20,9	A
12g/l	4	183,4	176,0	183,4	32,7	16,3	A
16g/l	4	99,9	102,7	99,9	20,4	10,2	B

Tableau N°30 : *Eucalyptus gomphocephala*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy
Témoin	4	308,7	292,3	308,7	82,7	41,3
4g/l	4	282,0	278,7	282,0	44,0	22,0
8g/l	4	283,3	279,3	283,3	27,0	13,5
12g/l	4	278,0	297,3	278,0	45,2	22,6
16g/l	4	231,9	239,2	231,9	34,8	17,4

Chlorophylle a/b

Tableau N°31 : *Schinus molle*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	4	2,277	2,245	2,277	0,330	0,165	A
4g/l	4	2,526	2,540	2,526	0,518	0,259	A
8g/l	4	1,680	1,682	1,680	0,208	0,104	B
12g/l	4	1,383	1,329	1,383	0,204	0,102	B
16g/l	4	0,5102	0,5466	0,5102	0,1636	0,0818	C

Tableau N°32 : *Acacia cyanophylla*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy
Témoin	4	1,6508	1,6508	1,6508	0,1617	0,0808
4g/l	4	1,729	1,702	1,729	0,204	0,102
8g/l	4	1,685	1,594	1,685	0,366	0,183
12g/l	4	1,6606	1,6760	1,6606	0,1324	0,0662
16g/l	4	1,6175	1,6231	1,6175	0,0848	0,0424

Tableau N°33: *Eucalyptus gomphocephala*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	4	1,569	1,548	1,569	0,215	0,107	A
4g/l	4	1,5733	1,5783	1,5733	0,1374	0,0687	A
8g/l	4	1,4189	1,4076	1,4189	0,0549	0,0275	A
12g/l	4	1,1411	1,1853	1,1411	0,1552	0,0776	B
16g/l	4	0,6737	0,6987	0,6737	0,0825	0,0413	C

Proline

Tableau N°34: *Schinus molle*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	4	20,65	20,91	20,65	3,05	1,53	A
4g/l	4	27,27	24,75	27,27	7,34	3,67	A
8g/l	4	28,96	27,94	28,96	3,10	1,55	A
12g/l	4	30,062	30,334	30,062	1,620	0,810	A
16g/l	4	31,58	31,29	31,58	4,65	2,32	B

Tableau N°35: *Acacia cyanophylla*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	4	82,27	79,57	82,27	12,11	6,06	A
4g/l	4	59,84	57,16	59,84	10,07	5,03	B
8g/l	4	39,630	39,630	39,630	1,506	0,753	C
12g/l	4	32,610	32,610	32,610	1,105	0,552	C
16g/l	4	28,37	28,21	28,37	7,14	3,57	C

Tableau N°36: *Eucalyptus gomphocephala*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	4	43,53	44,10	43,53	5,93	2,96	AB
4g/l	4	42,65	42,65	42,65	2,28	1,14	AB
8g/l	4	53,24	53,12	53,24	2,10	1,05	B
12g/l	4	37,03	37,35	37,03	7,20	3,60	A
16g/l	4	35,022	34,639	35,022	1,472	0,736	A

Sucres solubles**Tableau N°37: *Schinus molle***

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy
Témoin	4	2115	2079	2115	646	323
4g/l	4	2283	2137	2283	422	211
8g/l	4	2246	2259	2246	396	198
12g/l	4	2133	2114	2133	383	191
16g/l	4	2004	2144	2004	410	205

Tableau N°38: *Acacia cyanophylla*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	4	1168	1168	1168	203	101	A
4g/l	4	1378,8	1378,8	1378,8	52,8	26,4	A
8g/l	4	1687,8	1687,8	1687,8	72,4	36,2	B
12g/l	4	1726,5	1726,6	1726,5	37,5	18,8	B
16g/l	4	1861,2	1861,2	1861,2	127,6	63,8	B

Tableau N°39: *Eucalyptus gomphocephala*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	4	2214	2278	2214	423	211	A
4g/l	4	2259	2218	2259	410	205	A
8g/l	4	2643	2847	2643	446	223	AB
12g/l	4	3012,7	3006,1	3012,7	50,1	25,0	AB
16g/l	4	3717	3717	3717	704	352	B

Peroxydase des foliaire

Tableau N°40 : *Schinus molle*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	3	2,700	2,600	2,700	0,265	0,153	A
4g/l	3	5,921	5,337	5,921	1,388	0,801	B
8g/l	3	6,56	6,26	6,56	1,77	1,02	B
12g/l	3	5,826	5,826	5,826	0,347	0,200	B
16g/l	3	1,701	1,700	1,701	0,245	0,141	A

Tableau N°41 : *Acacia cyanophylla*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	3	4,560	4,152	4,560	1,255	0,725	B
4g/l	3	4,474	4,474	4,474	0,674	0,389	B
8g/l	3	7,803	7,603	7,803	1,344	0,776	A
12g/l	3	6,066	6,036	6,066	1,096	0,633	A
16g/l	3	2,705	2,405	2,705	0,894	0,516	B

Tableau N°42 : *Eucalyptus gomphocephala*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	3	2,1622	2,2258	2,1622	0,1428	0,0825	D
4g/l	3	25,80	25,80	25,80	2,46	1,42	A
8g/l	3	11,474	11,615	11,474	1,036	0,598	B
12g/l	3	8,54	8,34	8,54	2,32	1,34	C
16g/l	3	4,068	3,665	4,068	1,251	0,722	D

Peroxydase racinaire

Tableau N°43 : *Schinus molle*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	3	3,973	3,502	3,973	0,841	0,486	A
4g/l	3	10,226	10,006	10,226	1,347	0,778	B
8g/l	3	8,21	8,00	8,21	2,45	1,42	B
12g/l	3	5,245	5,005	5,245	0,704	0,407	A
16g/l	3	6,616	6,179	6,616	1,372	0,792	A

Tableau N°44 : *Acacia cyanophylla*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	3	14,680	14,555	14,680	1,068	0,617	B
4g/l	3	23,337	23,337	23,337	0,905	0,523	A
8g/l	3	9,781	9,571	9,781	0,372	0,215	C
12g/l	3	7,648	7,008	7,648	1,328	0,767	D
16g/l	3	3,096	3,086	3,096	0,438	0,253	E

Tableau N°45 : *Eucalyptus gomphocephala*

Variable	N	Moyenne	Médiane	Moyenne TR	EcarType	Er-T moy	Groupes homogènes
Témoin	3	8,66	9,59	8,66	2,19	1,27	C
4g/l	3	33,53	34,53	33,53	2,41	1,39	A
8g/l	3	19,99	20,79	19,99	2,79	1,61	B
12g/l	3	8,643	8,443	8,643	1,550	0,895	C
16g/l	3	7,510	7,010	7,510	1,400	0,808	D

Annexe 2

Analyse de la variance à un facteur contrôlé

Longueur tige

Tableau N°46 : *Schinus molle*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	527,19	131,80	14,93	0,000	***
Erreur	25	220,64	8,83			
Total	29	747,83				

Tableau N°47 *Acacia cyanophylla*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	1803,76	450,94	54,42	0,000	***
Erreur	25	207,16	8,29			
Total	29	2010,92				

Tableau N°48 : *Eucalyptus gomphocephala*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	204,90	51,23	11,39	0,000	***
Erreur	25	112,41	4,50			
Total	29	317,31				

Longueur racine

Tableau N°49 : *Schinus molle*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	11,38	2,84	0,58	0,682	N S
Erreur	25	123,32	4,93			
Total	29	134,69				

Tableau N°50 : *Acacia cyanophylla*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	28,22	7,05	2,26	0,091	N S
Erreur	25	77,94	3,12			
Total	29	106,16				

Tableau N°51 : *Eucalyptus gomphocephala*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	504,36	126,09	13,57	0,000	***
Erreur	25	232,23	9,29			
Total	29	736,59				

Rapport en longueur

Tableau N°52 : *Schinus molle*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	0,009402	0,002351	3,79	0,015	*
Erreur	25	0,015516	0,000621			
Total	29	0,024919				

Tableau N°53 : *Acacia cyanophylla*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	0,109852	0,027463	44,45	0,000	***
Erreur	25	0,015447	0,000618			
Total	29	0,125299				

Tableau N°54 : *Eucalyptus gomphocephala*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	3,4257	0,8564	23,98	0,000	***
Erreur	25	0,8927	0,0357			
Total	29	4,3185				

Biomasse racinaire

Tableau N°55 : *Schinus molle*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	0,3453	0,0863	7,49	0,000	***
Erreur	25	0,2883	0,0115			
Total	29	0,6336				

Tableau N°56 : *Acacia cyanophylla*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	2,171	0,543	3,66	0,018	*
Erreur	25	3,706	0,148			
Total	29	5,877				

Tableau N°57 : *Eucalyptus gomphocephala*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	0,001627	0,000407	3,55	0,020	*
Erreur	25	0,002864	0,000115			
Total	29	0,004491				

Biomasse aérienne

Tableau N°58 : *Schinus molle*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	14,0361	3,5090	83,51	0,000	***
Erreur	25	1,0505	0,0420			
Total	29	15,0866				

Tableau N°59 : *Acacia cyanophylla*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	16,565	4,141	7,78	0,000	***
Erreur	25	13,306	0,532			
Total	29	29,871				

Tableau N°60 : *Eucalyptus gomphocephala*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	0,11857	0,02964	20,50	0,000	***
Erreur	25	0,03616	0,00145			
Total	29	0,15473				

Rapport de biomasse

Tableau N°61 : *Schinus molle*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	0,26586	0,06646	20,02	0,000	***
Erreur	25	0,08298	0,00332			
Total	29	0,34884				

Tableau N°62 : *Acacia cyanophylla*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	0,0409	0,0102	0,37	0,831	N S
Erreur	25	0,6995	0,0280			
Total	29	0,7404				

Tableau N°63 : *Eucalyptus gomphocephala*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	0,36598	0,09149	19,66	0,000	***
Erreur	25	0,11633	0,00465			
Total	29	0,48231				

Surface foliaire

Tableau N°64 : *Schinus molle*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	7212290	1803073	7,29	0,000	***
Erreur	25	6186544	247462			
Total	29	13398834				

Tableau N°65 : *Acacia cyanophylla*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	10386351	2596588	3,49	0,021	*
Erreur	25	18609550	744382			
Total	29	28995901				

Tableau N°66 : *Eucalyptus gomphocephala*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	70291	17573	1,31	0,293	N S
Erreur	25	334823	13393			
Total	29	405114				

Chlorophylle a**Tableau N°67 : *Schinus mölle***

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	321631	80408	12,48	0,000	***
Erreur	15	96647	6443			
Total	19	418278				

Tableau N°68 : *Acacia cyanophylla*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	19007	4752	6,26	0,004	**
Erreur	15	11392	759			
Total	19	30399				

Tableau N°69 : *Eucalyptus gomphocephala*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	21645	5411	5,39	0,007	**
Erreur	15	15045	1003			
Total	19	36690				

Chlorophylle b**Tableau N°70 : *Schinus mölle***

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	66566	16641	6,72	0,003	**
Erreur	15	37157	2477			
Total	19	103723				

Tableau N°71 : *Acacia cyanophylla*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	5890	1473	8,46	0,001	***
Erreur	15	2612	174			
Total	19	8503				

Tableau N°72 : *Eucalyptus gomphocephala*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	2027	507	1,11	0,387	N S
Erreur	15	6831	455			
Total	19	8858				

Chlorophylle a+b**Tableau N°73 : *Schinus molle***

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	178720	44680	3,36	0,038	*
Erreur	15	199740	13316			
Total	19	378460				

Tableau N°74 : *Acacia cyanophylla*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	45958	11489	7,77	0,001	***
Erreur	15	22194	1480			
Total	19	68152				

Tableau N°75 : *Eucalyptus gomphocephala*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	12400	3100	1,21	0,346	N S
Erreur	15	38284	2552			
Total	19	50684				

Chlorophylle a/b**Tableau N°76 : *Schinus molle***

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	10,1192	2,5298	25,83	0,000	***
Erreur	15	1,4690	0,0979			
Total	19	11,5881				

Tableau N°77 : *Acacia cyanophylla*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	0,0275	0,0069	0,15	0,959	N S
Erreur	15	0,6783	0,0452			
Total	19	0,7058				

Tableau N°78 : *Eucalyptus gomphocephala*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	2,3013	0,5753	29,09	0,000	***
Erreur	15	0,2967	0,0198			
Total	19	2,5980				

Proline

Tableau N°79 : *Schinus molle*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	288,4	72,1	3,72	0,027	*
Erreur	15	291,1	19,4			
Total	19	579,6				

Tableau N°80 : *Acacia cyanophylla*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	8022,3	2005,6	33,15	0,000	***
Erreur	15	907,5	60,5			
Total	19	8929,8				

Tableau N°81 : *Eucalyptus gomphocephala*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	808,2	202,1	10,23	0,000	***
Erreur	15	296,2	19,7			
Total	19	1104,5				

Sucres solubles

Tableau N°82 : *Schinus molle*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	197597	49399	0,23	0,916	N S
Erreur	15	3200699	213380			
Total	19	3398295				

Tableau N°83 : *Acacia cyanophylla*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	1283639	320910	24,02	0,000	***
Erreur	15	200434	13362			
Total	19	1484074				

Tableau N°84 : *Eucalyptus gomphocephala*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	6168159	1542040	7,39	0,002	**
Erreur	15	3128621	208575			
Total	19	9296780				

Proxymase foliaire

Tableau N°85 : *Schinus molle*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	57,22	14,31	13,47	0,000	***
Erreur	10	10,62	1,06			
Total	14	67,84				

Tableau N°86 : *Acacia cyanophylla*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	43,98	10,99	9,42	0,002	**
Erreur	10	11,68	1,17			
Total	14	55,65				

Tableau N°87 : *Eucalyptus gomphocephala*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	1048,93	262,23	92,83	0,000	***
Erreur	10	28,25	2,82			
Total	14	1077,17				

Peroxydase racinaire**Tableau N°88 : *Schinus molle***

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	72,48	18,12	8,30	0,003	**
Erreur	10	21,83	2,18			
Total	14	94,31				

Tableau N°89 : *Acacia cyanophylla*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	715,317	178,829	220,49	0,000	***
Erreur	10	8,110	0,811			
Total	14	723,428				

Tableau N°90 : *Eucalyptus gomphocephala*

Source	DL	SC	CM	F	P	
Facteur	4	1508,79	377,20	82,97	0,000	***
Erreur	10	45,46	4,55			
Total	14	1554,26				

Annexe 3

Analyse de la variance à deux critères de classification

Rapport LT/LR

Tableau N°91 :

Source	DL	SC	CM	F	P
Facteur 1	2	32.6692	16.3346	1326.31	0.000 ***
Facteur 2	4	1.4714	0.3678	29.87	0.000 ***
Interaction	8	2.0736	0.2592	21.05	0.000 ***
Erreur	75	0.9237	0.0123		
Total	89	37.1378			

Rapport PSR/PRA

Tableau N°92 :

Source	DL	SC	CM	F	P
Facteur 1	2	0.3614	0.1807	15.08	0.000 ***
Facteur 2	4	0.5506	0.1376	11.49	0.000 ***
Interaction	8	0.1222	0.0153	1.27	0.270 NS
Erreur	75	0.8988	0.0120		
Total	89	1.9329			

Chlorophylle a/b

Tableau N°93 :

Source	DL	SC	CM	F	P
Facteur 1	2	2,1005	1,0502	19,34	0,000 ***
Facteur 2	4	7,6703	1,9176	35,31	0,000 ***
Interaction	8	4,7777	0,5972	11,00	0,000 ***
Erreur	45	2,4440	0,0543		
Total	59	16,9924			

Sucres solubles

Tableau N°94 :

Source	DL	SC	CM	F	P
Facteur 1	2	14507637	7253819	49,99	0,000 ***
Facteur 2	4	3542024	885506	6,10	0,001 ***
Interaction	8	4107371	513421	3,54	0,003 **
Erreur	45	6529754	145106		
Total	59	28686786			

Proline

Tableau N°95 :

Source	DL	SC	CM	F	P
Facteur 1	2	4575,1	2287,5	68,86	0,000 ***
Facteur 2	4	2434,5	608,6	18,32	0,000 ***
Interaction	8	6684,5	835,6	25,15	0,000 ***
Erreur	45	1494,9	33,2		
Total	59	15188,9			

Peroxydase foliaire

Tableau N°96 :

Source	DL	SC	CM	F	P
Facteur 1	2	313,50	156,75	93,04	0,000 ***
Facteur 2	4	541,10	135,27	80,29	0,000 ***
Interaction	8	609,03	76,13	45,19	0,000 ***
Erreur	30	50,54	1,68		
Total	44	1514,17			

Peroxydase racinaire

Tableau N°97 :

Source	DL	SC	CM	F	P
Facteur 1	2	584,24	292,12	116,23	0,000 ***
Facteur 2	4	1592,62	398,16	158,41	0,000 ***
Interaction	8	703,97	88,00	35,01	0,000 ***
Erreur	30	75,40	2,51		
Total	44	2956,24			

Matrice de corrélation : *Schinus mölle*

	LT	LR	LR/LT	PSR	PSA	PSA/PSR	Surf f	Cha	Chb	ChT	Cha/Chb	Prol	Sucr	Enzym F
LR	0,244 0,693													
LR/LT	-0,882 0,048	0,243 0,694												
PSR	0,951 0,01	0,182 0,770	-0,867 0,057											
PSA	0,981 0,003	0,425 0,476	-0,775 0,124	0,929* 0,023										
PSA/PSR	-0,972 0,005	-0,399 0,506	0,780 0,120	-0,925* 0,024	-0,989*** 0,001									
Surf f	0,857 0,043	0,470 0,424	-0,628 0,256	0,750 0,144	0,894* 0,041	-0,939* 0,018								
Cha	0,822 0,088	0,180 0,772	-0,733 0,159	0,707 0,182	0,804 0,101	-0,870 0,055	0,948* 0,014							
Chb	-0,847 0,070	0,184 0,767	0,941* 0,017	-0,918* 0,028	-0,761 0,135	0,792 0,110	-0,636 0,249	-0,716 0,174						
ChT	0,586 0,300	0,354 0,558	-0,409 0,494	0,388 0,519	0,614 0,270	-0,684 0,203	0,884* 0,046	0,905* 0,035	-0,350 0,564					
Cha/Chb	0,871 0,054	0,175 0,779	-0,788 0,113	0,815 0,093	0,852 0,067	-0,917* 0,028	0,942* 0,016	0,979** 0,004	-0,821 0,089	0,812 0,095				
Prol	-0,856 0,064	-0,457 0,439	0,628 0,257	-0,667 0,219	-0,882* 0,048	0,852 0,067	-0,850 0,068	-0,774 0,124	0,476 0,417	-0,748 0,146	-0,727 0,164			
Sucr	0,584 0,301	-0,125 0,841	-0,655 0,230	0,733 0,159	0,535 0,353	-0,624 0,260	0,557 0,330	0,630 0,254	-0,861 0,061	0,320 0,599	0,756 0,139	-0,155 0,803		
Enzym F	0,309 0,613	-0,586 0,299	-0,603 0,282	0,501 0,390	0,185 0,765	-0,258 0,676	0,125 0,841	0,303 0,621	-0,766 0,131	-0,062 0,922	0,433 0,466	0,185 0,766	0,859 0,062	
Enzym R	-0,077 0,902	0,100 0,873	0,113 0,857	0,128 0,838	-0,034 0,957	-0,080 0,898	0,144 0,817	0,132 0,832	-0,215 0,729	0,046 0,941	0,242 0,695	0,385 0,523	0,677 0,210	0,527 0,362

Matrice de corrélation : *Acacia cyanophylla*

	LT	LR	LR/LT	PSR	PSA	PSA/PSR	Surf f	Cha	Chb	ChT	Cha/Chb	Prol	Sucr	Enzym F
LR	-0,158 0,799													
LR/LT	-0,972** 0,006	0,371 0,539												
PSR	0,905* 0,034	-0,298 0,626	-0,941* 0,017											
PSA	0,978** 0,004	-0,246 0,690	-0,986** 0,002	0,970** 0,006										
PSA/PSR	-0,888* 0,044	0,082 0,895	0,880* 0,049	-0,837 0,077	-0,910* 0,032									
Surf f	0,897* 0,039	0,269 0,662	-0,793 0,109	0,789 0,112	0,039 0,059	-0,879* 0,049								
Cha	0,783 0,118	-0,151 0,808	-0,820 0,089	0,910* 0,032	0,879* 0,049	-0,911* 0,031	0,783 0,117							
Chb	0,811 0,096	-0,236 0,703	-0,861 0,061	0,936* 0,019	0,907* 0,034	-0,911* 0,031	0,768 0,130	0,995*** 0,000						
ChT	0,794 0,109	-0,182 0,770	-0,835 0,078	0,920* 0,027	0,890* 0,043	-0,912* 0,031	0,779 0,121	0,999*** 0,000	0,998*** 0,000					
Cha/Chb	0,503 0,387	0,192 0,757	-0,498 0,393	0,669 0,217	0,613 0,272	-0,754 0,141	0,689 0,199	0,896* 0,040	0,849 0,069	0,880* 0,049				
Prol	0,891* 0,043	0,101 0,872	-0,793 0,110	0,768 0,130	0,824 0,086	-0,635 0,249	0,860 0,062	0,548 0,339	0,568 0,318	0,556 0,331	0,325 0,594			
Sucr	-0,899* 0,038	-0,062 0,921	0,817 0,091	-0,824 0,086	-0,856 0,064	0,658 0,228	-0,865 0,058	-0,614 0,270	-0,634 0,251	-0,622 0,263	-0,395 0,510	-0,993*** 0,001		
Enzym F	0,339 0,577	-0,721 0,169	-0,522 0,367	0,481 0,412	0,464 0,431	-0,559 0,327	0,108 0,862	0,605 0,280	0,639 0,245	0,618 0,267	0,411 0,491	-0,105 0,866	0,050 0,936	
Enzym R	0,715 0,175	0,356 0,557	-0,628 0,257	0,774 0,124	0,749 0,145	-0,742 0,151	0,899* 0,038	0,821 0,088	0,786 0,115	0,809 0,097	0,850 0,068	0,732 0,160	-0,776 0,123	0,044 0,944

Matrice de corrélation : *Eucalyptus gomphocephala*

	LT	LR	LR/LT	PSR	PSA	PSA/PSR	Surf f	Cha	Chb	ChT	Cha/Chb	Prol	Sucr	Enzym F
LR	0,278 0,651													
LR/LT	-0,556 0,331	0,636 0,249												
PSR	0,541 0,346	-0,442 0,457	-0,876 0,051											
PSA	0,784 0,116	-0,163 0,794	-0,816 0,092	0,927* 0,023										
PSA/PSR	-0,771 0,127	0,005 0,994	0,680 0,207	-0,863 0,060	-0,977** 0,004									
Surf f	0,125 0,841	0,851 0,067	0,597 0,288	-0,298 0,626	-0,181 0,771	0,063 0,919								
Cha	0,535 0,353	-0,087 0,889	-0,585 0,300	0,855 0,065	0,789 0,113	-0,761 0,135	0,213 0,731							
Chb	-0,872 0,054	-0,179 0,774	0,597 0,288	-0,788 0,113	-0,920* 0,027	0,931* 0,022	-0,208 0,737	-0,851 0,068						
ChT	0,354 0,559	-0,187 0,763	-0,532 0,356	0,811 0,095	0,671 0,215	-0,629 0,255	0,197 0,751	0,977* 0,004	-0,720 0,170					
Cha/Chb	0,680 0,206	-0,040 0,949	-0,652 0,233	0,888* 0,044	0,886* 0,045	-0,865 0,059	0,164 0,792	0,979** 0,004	-0,936 0,019	0,915 0,029				
Prol	0,381 0,526	0,371 0,539	-0,084 0,893	0,510 0,380	0,611 0,274	-0,753 0,142	0,377 0,531	0,626 0,259	-0,696 0,192	0,546 0,341	0,660 0,225			
Sucr	-0,670 0,216	0,142 0,820	0,726 0,165	-0,923* 0,025	-0,899* 0,038	0,856 0,064	-0,068 0,913	-0,974** 0,005	0,915* 0,030	-0,916* 0,029	-0,994*** 0,001	-0,591 0,294		
Enzym F	0,951* 0,013	0,470 0,424	-0,325 0,593	0,255 0,679	0,560 0,327	-0,565 0,321	0,240 0,698	0,294 0,631	-0,708 0,181	0,102 0,870	0,450 0,447	0,237 0,702	-0,428 0,473	
Enzym R	0,974* 0,005	0,394 0,511	-0,433 0,467	0,434 0,465	0,730 0,161	-0,757 0,138	0,145 0,816	0,405 0,498	-0,820 0,089	0,204 0,742	0,573 0,313	0,443 0,455	-0,548 0,339	0,959** 0,010

Annexe 4
Courbes d'étalonnage

