

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE CONSTANTINE 1  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

N° d'ordre: .....

N° de série : .....

## MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de Magister

Option :  
Pathologie des écosystèmes forestiers

## THEME

**Ecologie de l'ailante glanduleux (*Ailanthus altissima*)  
dans la région de Constantine**

Présenté par :

**SOLTANI-AMRI Amel**

Devant le jury :

**Président :** Mr. Chaabane.Rahmoune Professeur. Université Constantine1

**Rapporteur :** Mr. Djamel. Alatou Professeur. Université Constantine1

**Examineur :** Mr. Mostefa. Benlaribi Professeur. Université Constantine1

**Examineur :** Mr. Med el habib. Benderadji Professeur. Université Constantine1

**Année 2014**

*A*

*Tous ceux qui me sont chers*

*A ma mère*

## *Remerciements*

Ce travail n'aurait pu être réalisé sans les efforts conjugués de plusieurs personnes.

Aussi, je tiens à remercier :

Monsieur Djamel ALATOU, Professeur à la faculté des sciences de la nature et de la vie (Université Constantine1) et directeur du laboratoire de Développement et de ressource phytogénétique (chaabet erssas) d'avoir accepté de diriger le travail. Qu'il trouve ici l'expression de mes vifs sentiments et de ma gratitude.

Monsieur Chaabane Rahmoune, professeur à l'Université Constantine 1 pour avoir accepté de présider le jury.

Messieurs les Professeurs à l'Université Constantine1 : Mostefa Benlaribi, et Mohamed el habib Benderradji pour avoir bien voulu examiner le travail et faire partie du jury.

Madame Rached- Kanouni Malika, maître de conférence B à l'Université Constantine1 pour son aide et sa sympathie.

J'exprime toute ma sympathie à ceux qui, à divers titres, m'ont aidé à réaliser ce travail, en particulier :

Monsieur Dilmi responsable de la pépinière de djebel el ouahch pour l'aide précieuse qu'il m'a prodigué en acceptant de mettre les graines à germer et de veiller sur leur développement.

Mme Rached Oualida, professeur à l'Université de Constantine1 et directrice du laboratoire Biologie et Environnement pour sa confiance, ses précieux conseils et les facilités qu'elle m'a apporté lors de la pratique que ce soit pour les produits chimiques ou bien le matériel de laboratoire (appareillage et verrerie).

Tout le personnel enseignant et doctorants du laboratoire biologie et environnement et aussi le personnel technique et administratif pour leurs conseils et encouragements.

Monsieur Malik Bouacida, responsable de formation à l'école de management de Strasbourg et monsieur Michel Sylvain Directeur de la SADEF (Mulhouse, France) qui m'ont permis de faire les analyses de sol. Je les remercie du fond du cœur.

Mes remerciements vont également à madame Michel Shirmer responsable du service management, sylvie responsable technique du service « terre », Alexandra ainsi que tous le personnel technique de la SADEF pour leur accueil.

A mon mari et mes enfants pour leur soutien, leur patience et leurs encouragements.

A ma nièce Marwa pour son aide lors de la pratique et pour toutes les heures passées au laboratoire pendant le mois de Ramadhan

Je ne saurais non plus passer sous silence sur l'aide précieuse apporté par mes amis, Leila Sahli, Radia Azzoug, Mahdia Bouteraa et Mohamed El Haddef El Okki, pour la réalisation de ce mémoire. Merci pour avoir passé de longues heures devant l'ordinateur, merci pour votre disponibilité et votre patience.

Un merci particulier à ma famille, mes sœurs et frères pour leur soutien moral durant toute la période d'étude.

Pour terminer je souhaiterai remercier mes amis de la promotion pour leur convivialité.

Si par hasard, je venais à oublier de citer certaines personnes, qu'elles sachent que ma reconnaissance va bien au-delà de ces remerciements.



# Résumé

Les invasions biologiques sont un objet de préoccupation d'actualité au même titre que les changements climatiques. En effet, elles peuvent être considérées comme une manipulation expérimentale de la biodiversité à très grande échelle et utilisées pour tester des hypothèses fondamentales en écologie. En particulier, elles permettent d'examiner l'altération du fonctionnement des écosystèmes par la modification de l'assemblage des espèces. Ce travail a pour objet de déterminer les capacités d'adaptation de l'ailante glanduleux dans la région de Constantine, à la variabilité thermique à l'aide des marqueurs biochimiques (chlorophylle, sucres et proline) et l'appréciation de son caractère écologique par la caractérisation physico-chimique du sol.

Les semis élevés en conditions semi contrôlées subissent des stress de courte durée (03 heures) à une gamme de température variant de 30°C à 50°C et au cours desquelles sont quantifiés les paramètres biochimiques (chlorophylle, sucres et proline). Les résultats montrent que les semis d'ailante sont aptes à accumuler les différents osmolytes comme la proline et les sucres dans les différents organes en réponse au stress thermique et que les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des racines pour la proline et au niveau des feuilles pour les sucres traduisant ainsi la capacité de résistance de cette espèce à la contrainte. La caractérisation physico-chimique du milieu révèle un rapport C/N élevé traduisant des conditions très favorables pour la décomposition de la matière carbonée et des teneurs en éléments traces métalliques très faibles qui reflètent le fond géochimique. Ainsi, l'espèce étudiée montre une bonne aptitude à se développer dans le site d'étude.

**Mots clés :** stress thermique, marqueurs biochimiques, chlorophylle, sucres, proline, hautes températures, *Ailanthus altissima*, facteurs édaphiques.

## ملخص

الغزوات البيولوجية هي مصدر الانشغال الحالي، فضلا عن تغير المناخ. في الواقع، فإنها يمكن أن تعتبر تجربة في التنوع البيولوجي على نطاق واسع واستخدامها لاختبار الفرضيات الأساسية في علم البيئة. على وجه الخصوص، فهي تسمح استكشاف ضعف أداء النظم الإيكولوجية عن طريق تغيير جميع الأنواع. هذا العمل هو تحديد قدرة تكيف الإيلنطس قزم في منطقة قسنطينة، على التباين الحراري باستخدام الواسمات البيوكيميائية (الكلوروفيل والسكريات والبرولين) وتقييم الطابع الإيكولوجي بتوضيف الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة.

ان الشتلات المنبئة في ظروف شبه مراقبة تتعرض لاجهادات حرارية قصيرة (03 ساعة) تتراوح ما بين 30 درجة مئوية إلى 50 درجة مئوية ويتم خلالها قياس كمية الواسمات البيوكيميائية (الكلوروفيل والسكريات والبرولين).

بينت النتائج أن نبيات *Ailanthus altissima* قادرة على تراكم osmolytes المختلفة مثل البرولين والسكريات في مختلف الأجهزة ردا على الإجهاد الحراري ويتم تخزين أعلى المستويات في الجذور بالنسبة للبرولين و في الأوراق بالنسبة للسكريات مما يعكس قدرة هذا النوع على تحمل الإجهاد.

توصيف الخصائص الكيميائية الفيزيائية للتربة تكشف ارتفاع نسبة C / N التي تعكس ظروف موالية جدا لتحلل المواد الكربونية و كذا مستويات منخفضة جدا من المعادن النادرة التي تعكس الخلفية الجيوكيميائية. وبالتالي، أظهر النوع المدروس قدرة جيدة على النمو في موقع الدراسة.

### الكلمات المفتاحية:

الواسمات البيوكيميائية، الكلوروفيل ، السكريات ، البرولين، *Ailanthus altissima*، الخصائص الكيميائية الفيزيائية للتربة.



# Abstract

Biological invasions are a concern of current as well as climate change. Indeed, they can be regarded as an experimental manipulation of biodiversity on a large scale and used to test fundamental hypotheses in ecology. In particular, they allow exploration of impaired functioning of ecosystems by altering species assemblage. This work is to determine the adaptability of the ailanthus dwarf capacity in the region of Constantine, thermal variability for using biochemical markers (chlorophyll, sugars and proline) and the assessment of its ecological character physico-chemical characterization of the soil.

The seedlings under semi controlled under stress of short duration (03 hours) at a temperature ranging from 30°C to 50°C and in which the biochemical parameters are quantized (chlorophyll, sugars and proline). The results show that the seed of *Ailanthus* are capable to accumulate different osmolytes like proline and sugars in the various organs in response to thermal stress and the highest levels are stored in the roots for the proline and in leaves for sugars reflecting the resistance of this species to the stress. The physicochemical characterization of the environment reveals a high C/N ratio reflecting very favorable conditions for the decomposition of the carbonaceous material and very low levels of trace metals that reflect the geochemical background elements. thus, the species studied showed a good ability to grow in the study site.

Keywords: heat stress, biochemical markers, proline, sugars, chlorophyll, *Ailanthus altissima*, edaphic factors, high temperature.

# Liste des abréviations

**CE** : Conductivité électrique.

**CT** : Calcaire total.

**CA** : Calcaire actif.

**MO** : Matière organique.

**N total** : Azote total.

**C/N** : Rapport carbone sur azote.

**Pb** : Plomb.

**Cd** : Cadmium.

**GAT** : Graines avec téguments.

**GST** : Graines sans téguments.

**A%** : pourcentage d'argile.

**L%** : pourcentage de limon.

**S%** : pourcentage de sable.

**MS** : Matière sèche.

**MF** : Matière fraîche.

**Chl a** : Chlorophylle a.

**Chl b** : Chlorophylle b.

**RS** : Résistance stomatique.

**D<sub>TE/TEi</sub>** : Différence de la teneur en eau par rapport à la teneur en eau initiale

**PSI** : Système photonique primaire.

**PSII** : Système photonique secondaire.

# Liste des figures

**Figure 01** : Carte de distribution d'*Ailanthus altissima*. (a) : en europe, (b) : en France, (c) au Etats- Unis.

**Figure 02** : Les caractéristiques d'un stress abiotique vis-à-vis des plantes (Bray et al. 2000).

**Figure 03** : Réponses de la plante aux un stress abiotiques.

**Figure 04** : Localisation des stations de prélèvements.

**Figure 05** : Variation du pH des sols prélevés.

**Figure 06** : Variation de la conductivité électrique des sols prélevés.

**Figure 07** : Variation des teneurs en calcaire total des sols prélevés.

**Figure 08** : Variation des teneurs en calcaire actif des sols prélevés.

**Figure 09** : Variation des teneurs de la matière organique des sols prélevés.

**Figure 10** : Variation des teneurs en azote total des sols prélevés.

**Figure 11** : Variation du rapport C/N des sols prélevés.

**Figure 12** : Variation des teneurs des fractions granulométriques des sols prélevés (a : teneurs en argile, b : teneurs en limon, c : teneurs sable).

**Figure 13**: Classification des sols étudiés selon le triangle texturale américain (FAO, 1968).

**Figure 14**: Variation des teneurs totales en plomb des différents sols prélevés.

**Figure 15**: Variation des teneurs totales en cadmium des différents sols prélevés.

**Figure 16** : Cercle de corrélations entre les différents paramètres physico-chimiques (plan 1-2).

**Figure 17** : Projection des stations étudiées (plan 1-2).

**Figure 18**: Variation de la teneur en eau des graines dans le temps.

**Figure 19** : Cinétique de réhydratation des graines (avec tégument et sans téguments) d'*Ailanthus altissima*.

**Figure 20** : Evolution de la résistance stomatique des semis d'ailante.

**Figure 21** : Taux de la chlorophylle (a) des semis d'ailante.

**Figure 22** : Taux de la chlorophylle (b) des semis d'ailante.

**Figure 23** : Taux de la chlorophylle (a+b) des semis d'ailante.

**Figure 24** : Taux de la chlorophylle (a/b) des semis d'ailante.

**Figure 25** : corrélations entre la chlorophylle (a) et la chlorophylle (b).

**Figure 26** : Taux de la proline selon les traitements appliqués.

**Figure 27** : Taux de la proline selon les organes.

**Figure 28** : Accumulation de la proline chez les semis d'ailante selon les traitements.

**Figure 29** : Taux de sucres des semis d'ailante selon les traitements appliqués.

**Figure 30** : Taux de sucres des semis d'ailante selon les organes.

**Figure 31** : Accumulation des sucres chez les semis d'ailante selon les traitements.

# Liste des photos

**Photo 01** : détail des glandes situées sur la face inférieure des dents d'une foliole de feuille.

**Photo 02** : Feuille de jeune ailante.

**Photo 03** : Drageons d'ailante.

**Photo 04** : Fruit d'ailante (Samare).

**Photos 05** : Germination des graines d'ailante (a : en sachets, b : repiquage)

## Liste des tableaux

**Tableau 01** : Propriétés mécaniques des bois de quelques espèces ligneuses.

**Tableau 02**: Résultats des analyses physico-chimiques des sols étudiés.

**Tableau 03** : Teneurs en eau des graines récoltés durant la période allant du 23 septembre 2012 au 21 janvier 2013.

**Tableau 04** : Evolution du poids des graines lors de la réhydratation.

**Tableau 05** : Cinétique de la résistance stomatique ( $S.cm^{-1}$ ).

**Tableau 06** : résultats des taux de chlorophylles exprimés en  $\mu mol/mg$  MS (moyenne  $\pm$  écart-type).

**Tableau 07** : Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls (Chlorophylle a).

**Tableau 08** : Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls (Chlorophylle b).

**Tableau 09** : Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls (Chlorophylle a+b).

**Tableau 10** : Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls (Chlorophylle a/b).

**Tableau 11** : résultats des taux de proline (moyenne  $\pm$  écart-type).

**Tableau 12** : Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls.

**Tableau 13** : résultats des taux de proline en fonction des organes (moyenne  $\pm$  écart-type).

**Tableau 14** : Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls (taux de proline en fonction des organes).

**Tableau 15** : Interaction traitement thermique-partie de la plante.

**Tableau 16** : Taux de sucre des semis d'ailante en fonction des traitements (moyenne  $\pm$  écart-type).

**Tableau 17** : Taux des sucres en fonction des organes (moyenne  $\pm$  écart-type).

**Tableau 18** : Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls (taux de sucres en fonction des organes).

**Tableau 19** : Interactions traitements thermiques-organes

<b>Dédicaces</b>	
<b>Remerciements</b>	
<b>Résumé en français</b>	
<b>Résumé en anglais</b>	
<b>Résumé en arabe</b>	
<b>Abstract</b>	
<b>Liste des abréviations</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Liste des photos</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	

## Sommaire

<b>Introduction</b> .....	1
---------------------------	---

### Chapitre I : Synthèse bibliographique

<b>1. Données générales sur les espèces envahissantes</b> .....	3
<b>1.1. Généralités sur l'ailante glanduleux</b> .....	4
1.1.1. Origine et historique.....	4
1.1.2. Aire de répartition de l'ailante.....	4
1.1.3. Caractéristiques botaniques de l'ailante.....	6
1.1.4. Taxonomie de l'ailante.....	9
<b>1.2. Biologie de l'ailante</b> .....	9
1.2.1. Reproduction sexuée.....	9
1.2.2. Reproduction asexuée.....	9
<b>1.3. Ecologie de l'ailante</b> .....	10
<b>1.4. Les impacts de l'ailante</b> .....	10
<b>1.5. Utilisations de l'ailante</b> .....	11
<b>1.6. Lutte contre l'ailante</b> .....	12
<b>2. Le stress</b> .....	13
<b>2.1. Définition</b> .....	13
<b>2.2. Perception et mécanisme général de réponse des plantes à un stress</b> .....	14
<b>3. Le stress thermique</b> .....	17
<b>3. 1. Températures critiques</b> .....	17

<b>3. 2. Stress thermique par les hautes températures</b> .....	17
<b>4. Mécanismes de tolérance à la chaleur</b> .....	18
<b>5. Effet des hautes températures sur les végétaux</b> .....	18
<b>5. 1. Effet sur la transpiration et la respiration</b> .....	18
<b>5. 2. Effet sur la photosynthèse</b> .....	19
<b>5. 3. Effet sur la synthèse de la chlorophylle</b> .....	20
<b>5. 4. Effets sur les membranes</b> .....	20
<b>6. Les marqueurs biochimiques et leurs rôles dans le stress thermique</b> .....	21
<b>6.1. La chlorophylle</b> .....	21
6.1.1. Structure chimique et biosynthèse.....	21
6.1.2. Rôle de la chlorophylle.....	21
<b>6.2. La proline</b> .....	22
6.2.1. Accumulation de la proline sous stress.....	23
6.2.2. Rôle de la proline.....	23
<b>6.3. Les sucres</b> .....	24
6.3.1. Accumulation des sucres solubles sous stress.....	24
6.3.2. Rôle des sucres solubles.....	24

## **Chapitre II : Matériel et méthodes**

<b>1. Contexte expérimental et méthodes analytiques</b> .....	26
<b>2. Zone d'échantillonnage et nature des prélèvements</b> .....	26
<b>3. Prélèvements et analyses physico-chimiques</b> .....	27
<b>3.1. Mode de prélèvement du sol</b> .....	27
<b>3.2. Analyses physico-chimiques du sol</b> .....	28
3.2.1. Le pH.....	28
3.2.2. La conductivité électrique.....	28
3.2.3. Le calcaire total.....	28
3.2.4. Le calcaire actif.....	29
3.2.5. L'azote total.....	29
3.2.6. La granulométrie.....	29
3.2.7. Les éléments traces métalliques (Plomb et Cadmium).....	30
<b>4. Prélèvement et analyse du végétal</b> .....	30
<b>4.1. Récolte, tri et conservation</b> .....	30
<b>4.2. Expérimentation sur le végétal</b> .....	31



4.2.1. Détermination de la teneur en eau et cinétique de réhydratation.....	31
4.2.2. Germination et suivi de la croissance.....	31
4.2.3. Cinétique de la résistance stomatique.....	32
4.2.4. Traitements thermiques appliqués et dosage des marqueurs biochimiques.....	33
4.2.4.1. Dosage de la chlorophylle.....	33
4.2.4.2. Dosage de la proline.....	34
4.2.4.3. Dosage des sucres.....	34
<b>5. Traitement et analyse des résultats.....</b>	<b>35</b>

### **Chapitre III : Résultats et discussion**

<b>1. Caractérisation physico-chimique du sol.....</b>	<b>36</b>
<b>1.1. pH.....</b>	<b>36</b>
<b>1. 2. Conductivité électrique.....</b>	<b>37</b>
<b>1.3. Calcaire totale.....</b>	<b>38</b>
<b>1. 4. Calcaire actif.....</b>	<b>39</b>
<b>1.5. Matière organique.....</b>	<b>40</b>
<b>1. 6. Azote total.....</b>	<b>41</b>
<b>1.7. Le rapport C/N.....</b>	<b>42</b>
<b>1. 8. Granulométrie.....</b>	<b>43</b>
<b>1.9. Les teneurs en éléments traces métalliques.....</b>	<b>45</b>
1.9.1. Le plomb (Pb).....	45
1. 9.2. Le cadmium (Cd).....	46
<b>1.10. Relation entre les différents paramètres physico-chimiques des sols étudiés.....</b>	<b>46</b>
<b>2. Analyse du végétal.....</b>	<b>48</b>
<b>2.1. Détermination de la teneur en eau et cinétique de réhydratation.....</b>	<b>48</b>
✓ La teneur en eau.....	48
✓ Cinétique de réhydratation.....	48
<b>2.2. Germination.....</b>	<b>51</b>
<b>2.3. Cinétique de la résistance stomatique.....</b>	<b>51</b>
<b>2.4. Dosage des marqueurs biochimiques.....</b>	<b>53</b>
2.4. 1.Variation du taux des chlorophylles (a) et (b) en fonction des températures.....	53

2.4.1.1. Chlorophylle (a).....	53
2.4.1.2. Chlorophylle (b).....	55
2.4.1.3. Chlorophylle (a+b).....	56
2.4.1.4. Chlorophylle a/b.....	57
2.4. 2. Variation du taux de proline en fonction des températures.....	59
2.4. 3. Variation du taux des sucres en fonction des températures.....	63
<b>Conclusion</b> .....	67
<b>Perspectives</b> .....	69
<b>Références bibliographiques</b> .....	70
<b>Annexes</b>	

# INTRODUCTION

# Introduction

Depuis que l'Homme a débuté ses migrations, il a transporté avec lui, de façon volontaire ou non, bon nombre d'espèces animales et végétales hors de leurs aires de répartition naturelles. Mais avec la modernisation des moyens de transports, le développement des voyages et du tourisme et l'augmentation des volumes de marchandises échangés dans le monde, on assiste à une accélération de l'introduction d'espèces à l'extérieur de leur aire de répartition naturelle (O.G.E, 2012). Les invasions biologiques peuvent être regardées comme une composante du changement global au même titre que les changements climatiques, l'eutrophisation ou la modification de l'utilisation du sol. À ce titre, elles sont un objet de préoccupation d'actualité. Elles ont d'ailleurs fortement stimulé la recherche fondamentale en écologie fonctionnelle et évolutive au cours des vingt dernières années. En effet, elles peuvent être considérées comme une manipulation expérimentale de la biodiversité à très grande échelle. Dès lors, elles peuvent être utilisées pour tester des hypothèses fondamentales en écologie. En particulier, elles permettent d'examiner l'altération du fonctionnement des écosystèmes par la modification de l'assemblage des espèces (A.M.E, 2010).

En Europe, près de 80% des plantes exotiques envahissantes ont été introduites volontairement pour l'ornement ou l'agriculture parmi ces espèces : l'ailante glanduleux (*Ailanthus altissima*). Cet arbre est d'origine chinoise introduit en France durant la deuxième moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle. Il fût au départ planté en ville dans les espaces verts, puis fût l'objet d'une phase de plantation courte mais intensive dans l'objectif de produire de la soie. Il est aujourd'hui très répandu dans le milieu naturel et manifeste localement un comportement envahissant, notamment dans des forêts claires ou des pelouses (Info flora, 2012). L'herbicide naturel et le nombre très élevé de fruits qu'il produit, mais aussi sa croissance rapide et sa faculté de reproduction végétative sous forme de drageons ou de rejets sont des caractéristiques biologiques essentielles pour permettre d'expliquer son caractère envahissant (Heisey, 2010).

En Algérie, dans la région de Constantine, cette espèce invasive s'est propagée un peu partout dans la ville, colonise les vides, et sera difficile à déloger dans les terrains livrés à eux mêmes. Nous avons choisi d'étudier cette espèce parce que d'une part, elle a fait l'objet d'éradication dans plusieurs pays surtout l'Europe et l'Amérique par son pouvoir envahissant et d'autre part, cette plante n'a pas fait l'objet de travaux antérieurs sur son comportement physiologique vis-à-vis d'un stress abiotique (thermique).

Le présent travail se veut être une contribution par un essai d'évaluation des potentialités de l'espèce à travers l'appréciation de certains paramètres physico-chimiques et écophysiologiques dont les objectifs fixés sont les suivants :

- 1- Déterminer la teneur en eau des graines et leur pouvoir de réhydratation.
- 2- Tester sa germination.
- 3- Caractérisation physico-chimique du sol (facteurs édaphiques).
- 4- Réalisation d'un stress par application de cinq traitements thermiques à hautes températures (30°C, 35°C, 40°C, 45°C et 50°C).
- 5- Analyser la réponse des semis au stress par un dosage de marqueurs biochimiques (chlorophylle, sucres solubles, proline) dans les différents organes de la plante à savoir, feuilles tiges et racines.

Les démarches suivies dans ce travail de recherche sont expliquées dans les paragraphes suivants :

La première partie est consacrée à la **synthèse bibliographique**. Elle englobe la présentation de l'espèce étudiée, de stress thermique et le comportement des végétaux vis-à-vis de cette contrainte.

La deuxième partie **matériel et méthodes**, présente le matériel utilisé (sol et végétation) ainsi que les méthodes suivies dans la réalisation de ce travail.

**Les résultats** obtenus sont présentés et discutés dans la troisième partie suivis d'une **Conclusion et perspectives**.

**CHAPITRE I :**

**SYNTHESE  
BIBLIOGRAPHIQUE**

## 1. Données générales sur les espèces envahissantes.

L'introduction d'espèces végétales est un phénomène historique qui trouve son origine avec celle des échanges notamment commerciaux entre les différentes parties du monde. Dans le domaine de la flore, les échanges et la vente de plantes d'origine lointaine n'ont cessé de se développer ; leur introduction volontaire ou non dans les milieux naturels a suivi. On sait aujourd'hui que ce facteur est d'une importance majeure dans le mécanisme de la perte de la biodiversité (Zambetakis, 2010).

Bien qu'il existe plusieurs définitions des [espèces envahissantes](#), elles sont toujours basées sur quatre critères principaux : l'origine de l'espèce, la capacité de l'espèce à se [reproduire](#) en [milieu naturel](#), la dispersion géographique de l'espèce et son impact environnemental (O.G.E, 2012).

Si la plupart des espèces exotiques persistent seulement au travers de petites populations isolées, quelques-unes peuvent adopter un comportement nuisible d'[invasion biologique](#). On voit alors apparaître des populations importantes qui se dispersent au travers des paysages et qui peuvent, parfois, entrer en compétition avec les espèces indigènes (ou autochtones) et altérer le fonctionnement des [écosystèmes](#) (Motard et Muratet, 2011).

Les conséquences et les impacts des espèces invasives diffèrent selon l'espèce en question et les milieux envahis. Leur position dans les [réseaux trophiques](#) et leur capacité de colonisation interviennent sur la nature, l'intensité et l'ampleur des impacts. On distingue généralement les effets écologiques (principalement altération du [biotope](#) et atteinte à la [biodiversité](#)), économiques et sanitaires (I.A.S, 2010).

Le nombre d'espèces aujourd'hui considérées comme invasives est élevé et ne cesse de croître. Plusieurs organismes publient et mettent régulièrement à jour ces listes. Parmi celles-ci : l'ailante glanduleux (Annexe 1) (I.A.S, 2010).

Dans certains pays, l'ailante est devenu donc une [espèce invasive](#) en raison de sa capacité à coloniser rapidement des zones perturbées et à entraver la croissance et la régénération des espèces indigènes par effets [allélopathiques](#). Il est considéré parmi les [plantes les plus nuisibles](#) en [Australie](#), aux [États-Unis](#), en [Nouvelle-Zélande](#) et dans plusieurs pays d'Europe méridionale et orientale. L'arbre repousse aussi vigoureusement quand on le

coupe, ce qui rend son élimination difficile et longue. De plus, il produit de nombreuses graines (300 000 par pied et par an (Motard et Murat, 2011).

## 1.1. Généralités sur l'ailante glanduleux.

### 1.1.1. Origine et historique.

L'espèce est originaire des régions du sud de la Chine où elle est identifiée depuis les temps préhistoriques. Son nom s'est transmis oralement avant de figurer dans les premières encyclopédies sous forme d'idéogrammes. L'un de ses noms d'origine campagnarde signifie arbre du printemps en raison de son débourrement tardif qui entérine de façon formelle l'arrivée de la belle saison. L'ailante fut introduit en Europe au XVIII<sup>e</sup> siècle par le père jésuite Pierre d'Incarville qui expédia des graines et des plants dans de nombreux jardins botaniques (Philadelphie, Padoue, Londres) entre 1743 (premiers envois) et 1757 (année de sa mort) (Silberfeld, 2012).

L'introduction en France ne s'est faite qu'en 1771 à partir de l'Angleterre pour remplacer les Tilleuls dans les plantations urbaines et pour produire des vers à soie. Puis, sa culture comme plante ornementale s'est ensuite développée et l'espèce s'est acclimatée et s'est propagée dans presque toute l'Europe ainsi que sur le continent américain dès 1784. Après une période de confusion avec le vernis du Japon ou « arbre à laque », d'où son nom **faux vernis du Japon**, l'espèce est décrite et classée dans le nouveau genre *Ailanthus* créé pour l'occasion en 1786 (Silberfeld, 2012).

Le nom du genre *Ailanthus* provient du mot « aylanto », le nom d'un arbre (*Ailanthus integrifolia*) originaire des îles Moluques dans le Sud- Est asiatique et signifiant « arbre du paradis » repris d'ailleurs par sa dénomination en anglais, «tree of heaven ». Le nom de l'espèce retenu par Swingle n'est pas *glandulosa* établi par Desfontaines mais celui proposé par Miller, *altissima*, signifiant grand par comparaison avec le véritable arbre à laque *Toxicodendron vernicifluum* de taille plus modeste (Gauvrit et al. 2003).

### 1.1.2. Aire de répartition de l'ailante.

L'ailante est une espèce qui a colonisé de vastes étendues à travers le monde entier jusqu'à être considérée comme invasive en Europe, Afrique, Etats- Unis, Amérique du Sud,

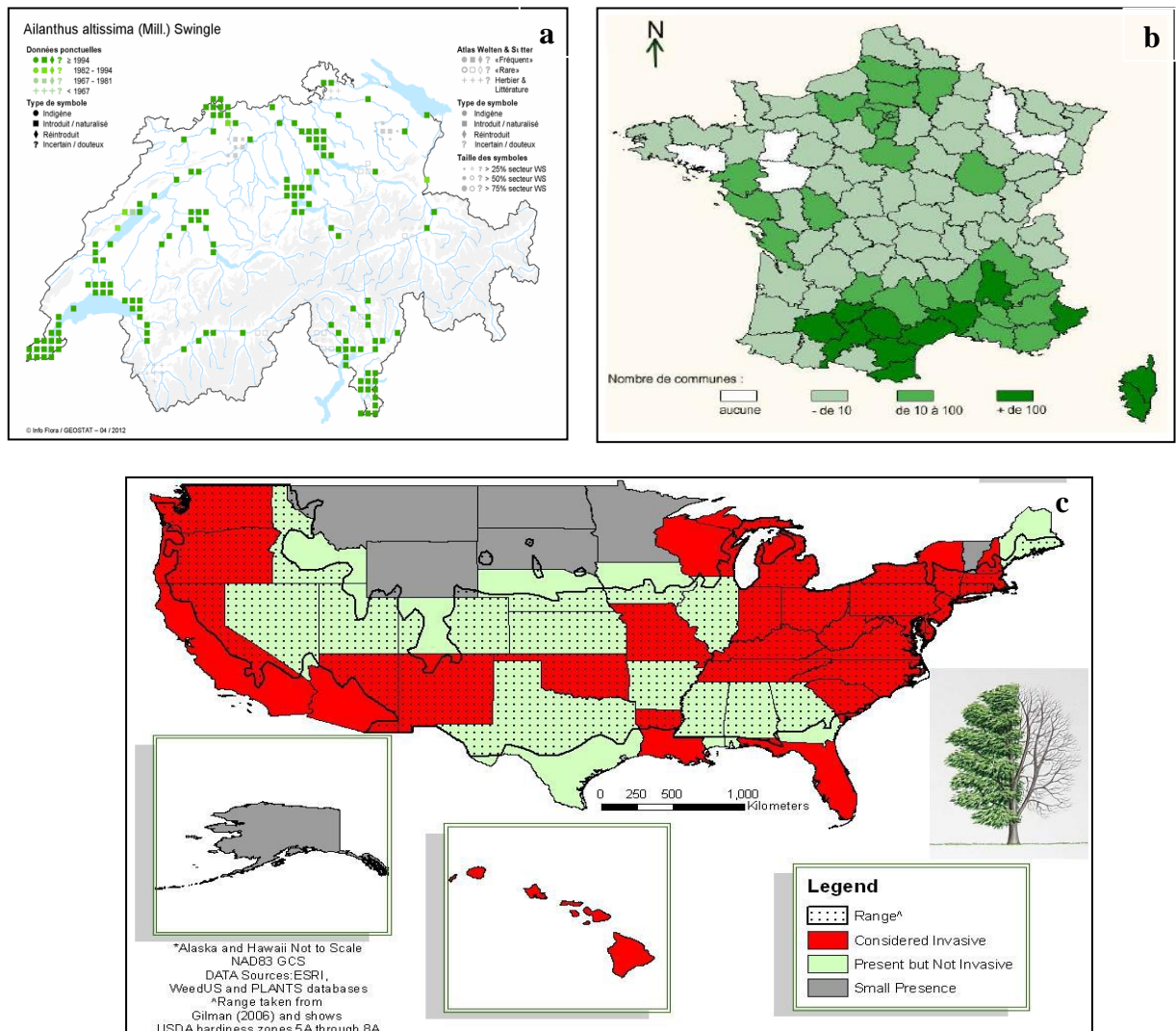


Asie et Australie. Cet arbre est largement répandu dans les pays de l'Europe du Sud (Albanie, Corse, Espagne, Grèce, Italie, Portugal, Yougoslavie) et de l'Ouest (Suisse) (Figure 1, a).

En France, il est présent sur l'ensemble du territoire mais très abondant dans le sud du pays, notamment sur le pourtour méditerranéen (Figure 1, b).

Au Etats-Unis, cet arbre est présent en masse dans tous les Etats du pays (Figure 1, c).

En **Algérie** cette espèce est présente de façon considérable dans toutes les régions du pays (Treep, 1975). D'après Letreuch-Belarouci, 1995, cette plante croît magnifiquement dans tous les étages bioclimatiques du pays du sub-humide à l'aride (Aflou, el Bayadh et Biskra) (I.N.R.A.A, 2002). Dans la région de Constantine, cette espèce est comptée parmi tant d'autres sélectionnées pour répondre aux interrogations d'amenuisement de la végétation urbaine sous l'effet des ravages d'incendies, de pollutions et de maladies parasitaires par sa tolérance et résistance aux conditions les plus défavorables des milieux (Conservation des forêts de Constantine). Aujourd'hui, sa prolifération rapide lui a permis de s'étendre dans presque toute la région et de coloniser les milieux naturels ouverts, les talus de bords de route, bois du Mansourah, gorges du Rhumel, talus en aval de la place Krikri, etc... (Karaali, 2009).



**Figure 01** : Carte de distribution d'*Ailanthus altissima*. (a) : en Europe, (b) : en France, (c) aux Etats-Unis.

### 1.1.3. Caractéristiques botaniques de l'ailante.

L'Ailante est un arbre à feuilles caduques de la famille des Simaroubacées, pouvant atteindre 30 m de haut.

- ✓ **Le tronc** : droit.
- ✓ **L'écorce** : lisse et grise devenant souvent un peu plus rêche avec les fissures de couleur ocre pâle lorsque l'arbre vieillit.

- ✓ **Les rameaux** : robustes, lisses à légèrement pubescents, sont rougeâtres ou marron. Ils portent des [lenticelles](#) ainsi que des cicatrices foliaires (cicatrice laissée sur le rameau après la chute d'une feuille) en forme de cœur.
- ✓ **Les bourgeons** : sont finement pubescents, en forme de dôme, et partiellement cachés derrière le pétiole, mais ils sont bien visibles pendant la période de dormance au dessus des cicatrices foliaires.
- ✓ **Les branches** : sont gris pâle à gris foncé, lisses, brillantes et portent des lenticelles boursouflées qui se transforment en fissures avec l'âge. Les extrémités des branches sont pendantes. Toutes les parties de la plante dégagent une odeur forte qui est souvent comparée à celle d'[arachides](#) ou de [noix de cajou](#) pourries.
- ✓ **Les feuilles** : sont imparipennées, composées d'une foliole terminale et de 6 à 12 paires de folioles latérales faiblement dentées par 1 à 4 dents (Photo 2) terminées par une glande noire mellifère, d'où son ancien nom *A. glandulosa* (Ailante glanduleux) (Photo1). Leur face supérieure est vert-foncé, l'inférieure plus claire, pubescente et glanduleuse. Les feuilles peuvent atteindre les dimensions impressionnantes de 0,6 à 1 m de long et même davantage dans le cas de drageons (jusqu'à 1,67 m à Berlin selon Kowarik, 2007). Les feuilles froissées et les fleurs mâles dégagent une odeur désagréable d'où l'un de ses noms communs : « frêne puant ». L'ailante est une plante dioïque dont les inflorescences en grappes multiflores des individus femelles sont assez spectaculaires et de ce fait l'espèce se repère de loin à l'époque de la floraison. Celle-ci se déroule de mai à juillet.
- ✓ **Les fleurs** : sont petites et groupées en grands [panicules](#) pouvant atteindre jusqu'à 50 cm de longueur situés à l'extrémité des nouvelles pousses. Les fleurs sont d'un vert jaunâtre à rougeâtre, chacune ayant cinq [pétales](#) et [sépales](#). Elles apparaissent de la mi-avril jusqu'en juillet (Photo n°03). Les arbres mâles produisent trois à quatre fois plus de fleurs que les femelles, ce qui les rend plus attractifs. Ils émettent une odeur nauséabonde plus forte et ce, pour attirer les insectes pollinisateurs (Graves, 1990).

- ✓ **Les fruits** : sont des samares ailées de 3 à 4 cm de long, rougeâtres, contenant une graine en leur centre (Photo n°04). Ils apparaissent entre juillet et octobre et ils persistent généralement sur l'arbre tout l'hiver. La samare est tordue à l'extrémité ce qui en fait une vrille lorsqu'elle tombe et aide à sa dispersion par le vent. Les arbres femelles peuvent produire d'énormes quantités de graines, normalement environ 30 000 par kilogramme d'arbre (Graves, 1990).



**Photo 01** : détail des glandes situées sur la face inférieure des dents d'une foliole de feuille



**Photo 02** : Feuille de jeune ailante



**Photo 03** : Drageons d'ailante



**Photo 04** : Fruit d'ailante (Samare).

#### 1.1.4. Taxonomie de l'ailante.

Déterminée selon la classification phylogénétique APGIII.

<b>Clade</b>	<b>Angiospermes</b>
<b>Clade</b>	Dicotylédones vraies
<b>Clade</b>	Rosidées
<b>Clade</b>	Malvidées
<b>Ordre</b>	Sapindales
<b>Famille</b>	Simaroubaceae

#### 1.2. Biologie de l'ailante.

La formation des peuplements d'Ailante est basée sur une double stratégie de reproduction : par la voie des semis (sexuée) et par drageonnement (asexuée).

##### 1.2.1. Reproduction sexuée.

Par la voie des semis, cet arbre est capable de produire des graines viables dès l'âge de 3 à 5 ans et en très grande quantité (de 14 000 à 325 000 par semencier (Kowarik, 2007).

##### 1.2.2. Reproduction asexuée.

Par drageonnement et rejet de souche: ces nombreux drageons et rejets de souches sont produits en quantité importante notamment quand la plante est stressée (taille, blessure, coupe....) et lui permettent de conquérir de nouveaux territoires. Ils peuvent en effet apparaître jusqu'à 15 mètres du pied mère (C.P.S, 2006 ; Gourgues, 2006 ; Meloche et Murphy, 2006).

La plante se dissémine grâce à ses samares, bien adaptées à la dispersion par le vent (anémochorie) du fait de leur légèreté et la présence d'expansions ailées facilitant la prise au vent. Elles peuvent parfois être transportées par l'eau (hydrochorie) lorsqu'elles colonisent des habitats humides. La distance de propagation de cette espèce peut atteindre plusieurs centaines de mètres (C.P.S, 2006 ; Gourgues, 2006).

L'ailante est aussi un végétal performant pour sa croissance et son développement. Il possède un système racinaire double avec tout d'abord, un pivot qui permet d'aller chercher rapidement de l'eau en profondeur et par la suite, des racines plagiotropes qui permettent un bon ancrage dans le substrat et une bonne colonisation latérale (jusqu'à 45 m en terrain favorable d'après Kowarik, 2007).

Le pivot est le principal organe de stockage de l'amidon pour les jeunes plants, mettant ainsi la plante à l'abri d'une perte de ses réserves par la coupe de la tige. Le collet quant à lui est caractérisé par sa grande richesse en sucres solubles totaux qui peut être mis en relation avec son grand pouvoir organogène (Kowarik et Säumel, 2007 ; A.M.E, 2010).

### **1.3. Ecologie de l'ailante.**

L'ailante présente une grande plasticité phénotypique. Il peut se développer dans des conditions stressantes de l'environnement. C'est une espèce peu exigeante, elle a la capacité de croître sur des sols pauvres, des sols argileux lourds avec peu de nutriments et d'oxygène. Elle se rencontre fréquemment sur des sols plutôt secs et trouve son optimum de développement sur des sols riches en bases et en azote avec un pH neutre à légèrement acide. Il préfère toutefois, les sols acides aux sols calcaires et capable de supporter des variations thermiques allant de -13°C à +40°C. L'ailante est aussi tolérante à la pollution atmosphérique, elle absorbe le sulfure et le mercure et résiste aux poussières industrielles (Kowarik et Säumel, 2008 ; Kaproth et Mc Graw, 2008 ; P.C.A, 2009).

### **1.4. Les impacts de l'ailante.**

Les ailantes sont des arbres à croissance rapide formant des peuplements monospécifiques denses qui ont un effet :

#### **✓ *Sur le fonctionnement des écosystèmes :***

L'ailante exsude des composés chimiques allélopathiques qui ont un effet d'inhibition sur de nombreuses espèces autochtones (Kowarik et Säumel, 2007 ; A.M.E, 2008 ; Gomez-Aparicio et Canham, 2008 ; Heisey, 2010). Ces substances allélopathiques appelées « ailanthone » font office d'herbicide, fongicide ou insecticides naturel préjudiciables. De plus, ces composés modifient les propriétés chimiques du sol et la teneur en nutriments (Kowarik et Säumel, 2007 ; Felker-Quinn et al. 2009).

L'ailante permet donc de former de grandes stations monospécifiques, entraînant une éviction des espèces indigènes et une perte de biodiversité végétale (C.P.S, 2006 ; Gourgues, 2006 ; Kowarik et Säumel, 2007 ; A.M.E, 2008 ; Scott et McCarthy, 2008 ; P.C.A, 2009 ; Fry, 2010).

✓ *Sur la santé humaine:*

Le pollen d'ailante peut déclencher des allergies notamment par des réactions croisées avec d'autres types de pollen (Ballero et al. 2003). Le contact avec la sève peut provoquer des dermatoses (Derrick et Darley, 1994). Une exposition longue à la sève peut produire une myocardite due aux composés actifs de la plante, les quassinoïdes (C.P.S, 2006 ; Gourgues, 2006).

✓ *Sur les usages :*

Le système racinaire peut endommager les chaussées, des vestiges archéologiques, des murs anciens (Kowarik et Säumel, 2007 ; A.M.E, 2008).

### **1.5. Utilisations de l'ailante.**

Toutes les parties de l'arbre sont utilisées dans différents domaines :

✓ *Dans le domaine du commerce :*

Le bois de l'ailante est utilisable pour la combustion.

Les jeunes arbres dont le bois est fragile sont utilisables en papeterie alors que les plus âgés sont utilisés comme bois d'œuvre (menuiserie, placage et ébénisterie).

Le bois d'ailante était qualifié à tort par l'opinion d'être un bois tendre et sans valeur. Guerin-Meneville, 1865, protesta dans une étude menée sur les propriétés mécaniques des bois par Campredon (1952) et démontra par comparaison des propriétés de bois de l'ailante avec celles de l'orme et du chêne, que le bois de l'Ailante était supérieur à celui du Chêne et même de l'Orme (tableau 01). C'est le bois par excellence pour le charronnage, à cause de sa force et de sa flexibilité. De plus, le bois prend très bien le poli et le vernis et, il ne fatigue nullement les outils, tout en étant très dur.



**Tableau 01 : Propriétés mécaniques des bois de quelques espèces ligneuses.**

<b>Echantillon de bois</b>	<b>Densité</b>	<b>Tenacité (charge de rupture par cm)</b>	<b>Flexibilité (flèche à la rupture)</b>
<b>Ailante</b>	<b>0,713</b>	<b>32,812</b>	<b>0,033</b>
Orme	0,604	24,867	0,023
Chêne	0,751	19,743	0,027

Les feuilles de l'ailante quand à elles, servent de nourriture pour les larves de son papillon parasite, le bombyx de l'Ailante « *Samia cynthia* ».pour ainsi produire de la soie.

Enfin, un miel au goût musqué peut être produit à partir des fleurs (Muller, 2004 ; Guerrin, 1962 ; Feret, 1985 et Howard, 2004).

✓ **Dans le domaine de la médecine :**

La médecine chinoise utilise l'écorce, les fruits ou les racines pour le traitement de différentes affections (maladies nerveuses, dysenterie...) entre autres, la substance chimique qu'il renferme « ailanthone » a prouvé son efficacité comme traitement anti-paludéen ou antiulcéreux (Muller, 2004 ; De Feo et al. 2009).

✓ **Dans le domaine phytosanitaire :**

Cette même molécule (ailanthone) démontre des propriétés herbicides et insecticides, dont la toxicité semble trop grande pour de telles applications (De Feo et al. 2009).

✓ **Dans le domaine de l'environnement :**

Cette espèce, de par sa capacité d'adaptation à des milieux difficiles, s'est avérée très intéressante pour des plantations en zones polluées et sur des substrats peu fertiles (terrils, talus caillouteux...) où bien d'autres espèces ne survivraient pas.

## **1.6. Lutte contre l'ailante.**



La lutte contre l'ailante est très difficile car il rejette fortement de souches, et les racines produisent des drageons. Les méthodes préconisées pour son éradication sont des méthodes physiques, chimiques et biologiques.

La coupe du tronc seule entraîne une augmentation du nombre de pousses, mais associée à l'application d'herbicide (généralement du glyphosate), elle est considérée comme la méthode la plus efficace (Meloche et Murphy, 2006 ; Kowarik et Säumel, 2007).

L'injection d'herbicide semble efficace pour les arbres matures (Meloche et Murphy, 2006) mais le transfert aux arbres alentour non-cibles n'est pas négligeable (Lewis, 2007 ; Lewis et McCarthy, 2008).

Des coupes seules répétées à chaque repousse peuvent affaiblir les arbres et s'avèrent efficaces si elles sont associées à la plantation d'autres espèces concurrentielles formant une ombre dense (P.C.A, 2009).

Par ailleurs, le cerclage de l'écorce des troncs sur une profondeur de 3 à 5 cm est efficace mais dangereux, à cause des risques de chutes (Gourgues, 2006 ; A.M.E, 2008). L'arrachage manuel des jeunes plantules semble efficace, mais il doit être impérativement réalisé avant la mise en place de la racine-pivot (plantules de moins de 60 cm). Toutes les plantules et leurs systèmes racinaires doivent être brûlés. Les racines des drageons ne peuvent être éliminées totalement. (C.P.S, 2006 ; Gourgues, 2006 ; Meloche et Murphy, 2006 ; A.M.E, 2008, P.C.A, 2009). D'autre part, cela crée une perturbation du sol qui favorise la réinstallation d'espèces invasives, mais un paillage permet de limiter ces recolonisations (Meloche et Murphy, 2006).

Enfin, des recherches sont en cours sur des pathogènes fongiques pouvant être des agents de lutte biologiques prometteurs (Kowarik et Säumel, 2007 ; P.C.A, 2009).

## **2. Le stress.**

### **2.1. Définition.**

La notion de stress implique, d'une part, une déviation plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales (moyennes) de la plante, et d'autre part une réaction sensible de l'individu dans les différents aspects de physiologie laquelle change sensiblement avec soit adaptation à la nouvelle situation, soit à la limite, une dégradation menant à une issue fatale. Il

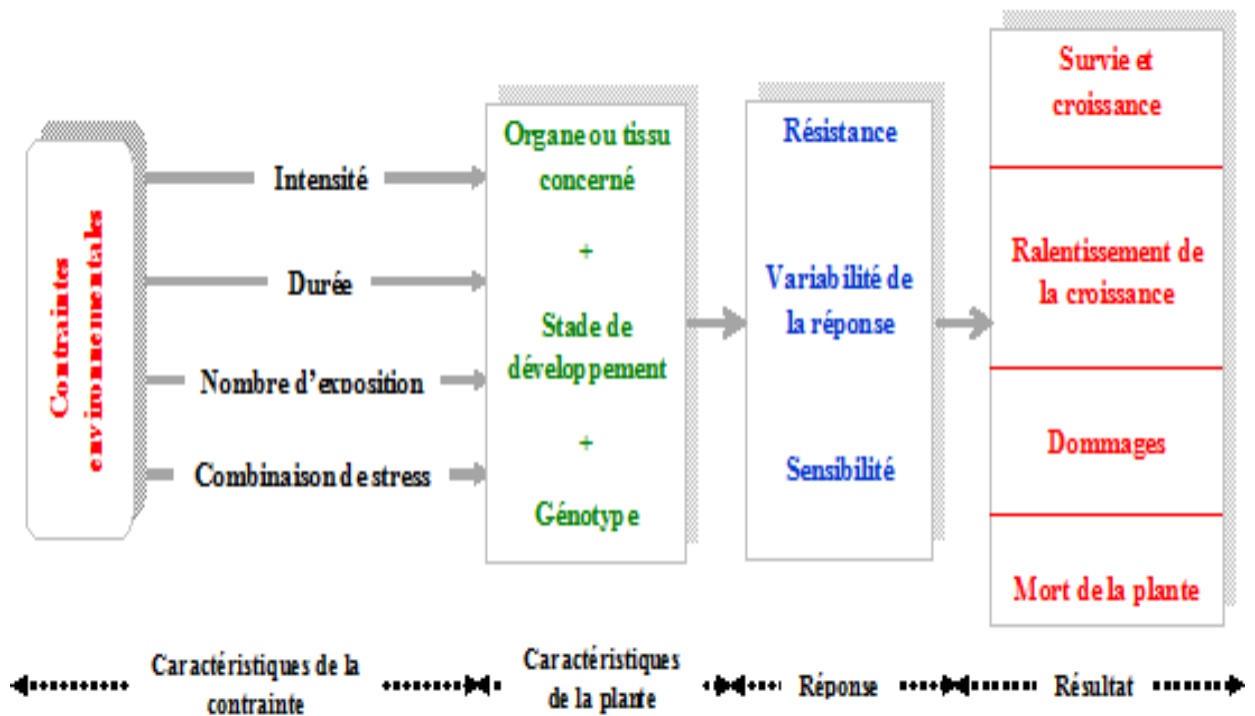
ressort donc deux aspects de la notion de stress : la contrainte extérieure et son résultat sur l'individu (réponse) (Eclerc, 1999).

En matière de biologie végétale, les principaux stress peuvent être classés selon la nature de l'agent stressant en quatre catégories : physique, chimique, biotique et anthropogéniques (Gomez et al. 2005).

Selye, 1973 in Eclerc (1999) dégage la notion de syndrome de stress qui recouvre d'une part, l'équilibre qui apparaît entre les processus de destructions «distress», qui sont l'effet direct des contraintes sur le fonctionnement des cellules et d'autre part, les processus d'adaptation «eustress», qui tendent à éviter l'issue létale et à retrouver l'état d'origine (homéostasie) (Roeder, 2006).

## 2.2. Perception et mécanisme général de réponse des plantes à un stress.

La réponse des plantes aux stress abiotiques dépend des caractéristiques du stress et de



la plante. Un stress se caractérise par son intensité, sa durée, le nombre d'expositions ainsi que par son association à d'autres stress (biotique ou abiotique) (Fig. 02).

**Figure 02 :** Les caractéristiques d'un stress biotique vis-à-vis des plantes (Bray et al. 2000)

En effet, Les réponses de la plante aux stress abiotiques, stress primaires comme la sécheresse, salinité, froid, chaleur et la pollution chimique sont souvent interconnectés, et causent des dommages cellulaires et des stress secondaires, comme les stress osmotiques et oxydatifs

Les végétaux perçoivent les signaux environnementaux et les transmettent à la cellule pour activer des mécanismes de réponses. La voie de transduction du signal commence par sa perception au niveau de la membrane végétale, suivie par la production de seconds messagers et de facteurs de transcription. Ces facteurs de transcription contrôlent alors l'expression des gènes impliqués dans la réponse au stress, pour rétablir l'homéostasie, protéger et réparer les protéines et les membranes endommagées. La réponse inadéquate à une ou plusieurs étapes de la signalisation et l'activation des gènes peut conduire à des changements irréversibles de l'homéostasie cellulaire et à la destruction des membranes et des protéines fonctionnelles et structurales et causer à la fin la mort de la cellule. (Wang et al. 2003) (Fig. 03).

Dans tous les cas, la réponse au stress est liée à la capacité de la plante à le percevoir, à transmettre le signal et à activer les différentes voies métaboliques (Kreps et al. 2002 ; Ozturk et al. 2002 ; Seki et al. 2002 ; Wang et al. 2003).

Ainsi, lorsqu'une plante subit un stress, il y a une perte importante d'eau au niveau des cellules, provoquant une tension entre la membrane plasmique et la paroi végétale, un dysfonctionnement de la photosynthèse et donc une baisse de rendement. Pour y remédier, la plante synthétise entre autre :

- ✓ Des osmoprotectants, comme la proline ou la glycine bétaine qui permettent de maintenir l'équilibre en eau de la cellule végétale et l'environnement extérieur ;
- ✓ Des protéines spécifiques ;
- ✓ Des acides gras afin de modifier la perméabilité de la membrane plasmique (Orcutt et al. 2000).

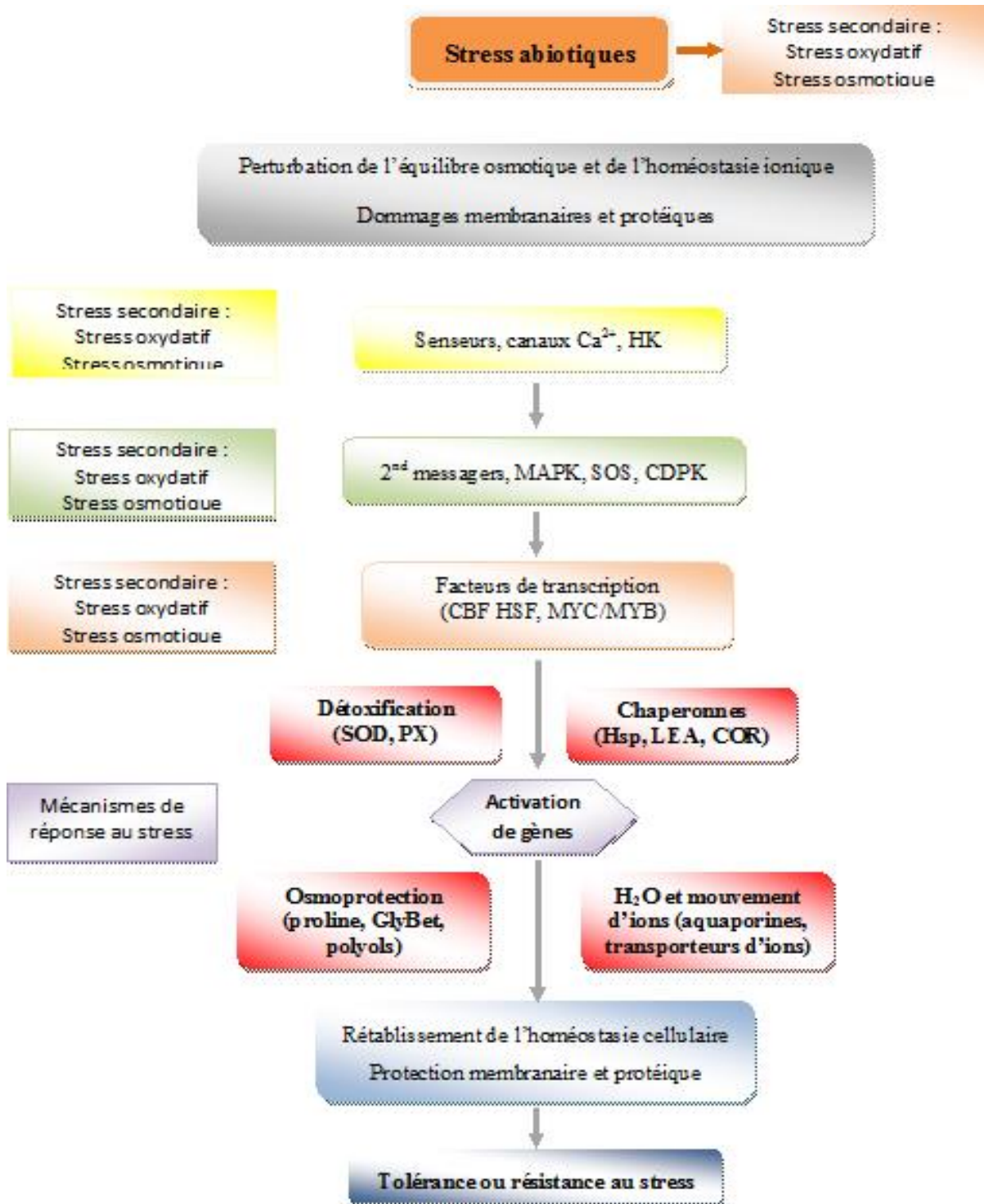


Figure 03 : Réponses de la plante aux stress abiotiques.

### **3. Le stress thermique.**

Pour effectuer sa croissance et son développement, chaque plante exige une gamme bien particulière de températures. Chaque plante possède une température optimale de croissance et de développement, qui ne peuvent se dérouler qu'entre des limites supérieures et inférieures. Lorsque la température avoisine ces limites, la croissance diminue et au delà, elle s'annule (Hopkins, 2007).

Le stress thermique est souvent défini quand les températures sont assez hautes ou basses pendant un temps suffisant pour qu'elles endommagent irréversiblement la fonction ou le développement des plantes. Elles peuvent être endommagées de différentes manières, soit par des températures basses ou élevées de jour ou de nuit, par l'air chaud ou froid ou par les températures élevées du sol (Nover, 1991 ; Laszlo, 1992, Parsell et Linqvist, 1994 in Bernier, 1997).

La contrainte thermique est une fonction complexe qui varie selon l'intensité (degré de la température), la durée et les taux d'augmentation ou de diminution de la température (Oukarroum, 2007).

#### **3. 1. Températures critiques.**

On appelle températures critiques, les températures minima et maxima en-dessous et au dessus desquelles le végétal est tué. Elles sont extrêmement variables suivant les espèces et selon le stade de végétation (Diehl, 1975).

La gamme de températures compatibles avec une vie active est assez étroite : en général de -5 ou -10°C à 45°C. On observe seulement quelques exceptions : conifères de Sibérie, pouvant vivre normalement jusqu'à -65°C, lichens des régions froides assimilant encore à -20°C, le cactus peut résister à des chaleurs de 60° C (René, 1977).

#### **3. 2. Stress thermique par les hautes températures.**

La chaleur endommage irréversiblement la fonction ou le développement des plantes. Elle affecte la structure cellulaire et de nombreux processus biochimiques. La contrainte thermique (chaleur) est une fonction qui est étroitement liée à l'intensité ainsi qu'à la durée d'exposition du végétal au facteur stressant. Au-delà d'un certain seuil, les mécanismes de

défense et de protection de la cellule deviennent débordés et on assiste à la mort cellulaire (Sung et al. 2003).

#### **4. Mécanismes de tolérance à la chaleur.**

Les plantes ont mis au point plusieurs mécanismes qui leur permettent de tolérer de plus hautes températures. Ces mécanismes adaptatifs thermo tolérants reflètent l'environnement dans lequel évolue l'espèce et se résument dans :

- a- la dépendance thermique aux niveaux biochimiques et métaboliques.
- b- la tolérance thermique en relation avec la stabilité membranaire.
- c- la thermo tolérance induite par une augmentation graduelle de la température vis-à-vis de la production de protéines contre le choc thermique (Sung et al. 2003).

#### **5. Effet des hautes températures sur les végétaux.**

##### **5. 1. Effet sur la respiration et la transpiration.**

Les hautes températures agissent sur l'évaporation de l'eau cellulaire. Son augmentation entraîne l'ouverture des stomates et donc une augmentation de la transpiration (Heller et al. 1989).

L'action de la température sur la respiration est analogue à celle que l'on rencontre pour tous les phénomènes métaboliques, avec une élévation sensiblement conforme à la loi d'Arrhenius, de 0 à 40°C ou 50°C puis une baisse brusque qui traduit la dénaturation des protéines (Heller et al. 1989).

La respiration fait intervenir des processus enzymatiques dans le cycle de krebs et des transporteurs d'électrons qui sont influencés par la température. En effet, cette respiration est maximale à des valeurs se situant entre 45°C et 50°C (Berge et al. 2002).

Le phénomène de la respiration s'accompagne d'une production de chaleur d'autant plus importante qu'il est plus actif (Marche-Marchad, 1972). Ainsi, l'augmentation de la température agit directement sur l'élévation de l'intensité respiratoire entraînant d'une part, une consommation exagérée des glucides (d'où perte de la matière) et d'autre part, une

production plus intense de CO<sub>2</sub> susceptible de s'accumuler dans un local clos (Berge et al. 2002).

## 5. 2. Effet sur la photosynthèse.

L'exposition des plantes à des températures élevées provoque de nombreux changements de la structure et de la fonction du PSII. Généralement, le donneur et l'accepteur d'électron de PSII sont plus sensibles aux hautes températures que le PSI. La sensibilité des plantes aux hautes températures est étroitement reliée à la stabilité thermique de PSII (Blum, 1988).

Par ailleurs, le stress thermique change l'activité photosynthétique dû à la suppression du transport d'électrons de chloroplaste et à l'inhibition du cycle de Calvin qui est un événement tôt dans l'inhibition de la photosynthèse par haute température (Feller et al. 1998).

D'après Heller et al. (1989), la température est le troisième facteur limitant mis en évidence comme pour toutes les activités métaboliques. On observe un effet positif de température vers 30°C en général, puis une action dépressive avec annulation totale vers 45°C; l'inhibition est d'autant plus marqué que la température excessive est appliquée plus longtemps.

Différents auteurs ont noté une diminution significative de la photosynthèse en cas de sécheresse, car la capacité photosynthétique d'une feuille intacte ou excisée diminue rapidement quand le contenu relatif en eau de cet organe s'abaisse en dessous de 50% (Bradford et al. 1982 in Cornic, 2007).

Chez le blé, il n'y a pas de différences mesurables de vitesses photosynthétiques par unité de surface foliaire ou sur base de la plante entière dans la gamme des températures de 15 à 35°C (Bagga et Rawson, 1977). En ce qui concerne le riz, il y a un petit effet de température sur l'assimilation foliaire du dioxyde de carbone de 20 à 40°C (Egeh et al. 1994).

### **5. 3. Effet sur la synthèse de la chlorophylle.**

L'effet de la chaleur sur ce processus a été étudié en examinant le verdissement de plantules étiolées à différentes températures. Il est vite apparu que la synthèse des chlorophylles était inhibée par la chaleur. Ainsi la synthèse de chlorophylle totale (a et b) est inhibée de 70% environ chez des plantules étiolées de concombre mises à la lumière dans une chambre de culture à 42°C (Cornic, 2007).

### **5. 4. Effets sur les membranes.**

Les parois et les membranes cellulaires jouent un rôle vital dans le fonctionnement des cellules. Tout effet néfaste d'un stress thermique sur les membranes conduit à la rupture de l'activité cellulaire ou à la mort. En effet, une lésion aux membranes due à un stress soudain de chaleur peut provenir soit de la dénaturation des protéines membranaires soit de la fonte des lipides membranaires conduisant à la rupture des membranes et à la perte du contenu cellulaire, ce qui peut être mesurée par une fuite ionique (Ahrens et Ingram, 1988 ; Chaisompongpan et al. 1990; Hall, 1993). Ainsi, la fluidité des membranes augmente aux fortes températures, ce qui peut susciter des problèmes de perméabilité et modifier les fonctions catalytiques des protéines membranaires. Un degré de saturation plus élevé entrainerait une fluidité membranaire amoindrie, ce qui contribuerait à maintenir des interactions hydrophobes fortes, aux températures élevées, préservant ainsi la stabilité des membranes et les interactions entre lipides et protéines membranaires intrinsèques (Raison et al. 1980 ; Quinn, 1988 in Hopkins, 2007).

Selon la conception traditionnelle, la température la plus élevée que la plupart des plantes peuvent supporter est déterminée par la dénaturation irréversible des enzymes. Bien que la fonction des enzymes joue certainement un rôle crucial, l'attention s'est, plus récemment, tournée vers les modifications des propriétés des membranes, qui seraient les causes principales des dommages provoqués par les températures élevées. La peroxydation des lipides membranaires est en effet un symptôme de lésion cellulaire observée à hautes températures (Cornic, 2007).

## **6. Les marqueurs biochimiques et leurs rôles dans le stress thermique.**

### **6.1. La chlorophylle.**

La chlorophylle est le pigment assimilateur principal des végétaux supérieurs. Ce pigment, situé dans les chloroplastes des cellules végétales, intervient dans la photosynthèse



pour intercepter l'énergie lumineuse, première étape dans la conversion de cette énergie en énergie chimique. Son spectre d'absorption du rayonnement lumineux est responsable de la couleur verte des végétaux : la longueur d'onde la moins absorbée est le vert, c'est donc cette couleur qui est perçue.

Les chlorophylles sont associées à d'autres pigments, les carotènes et les xanthophylles. Ces derniers, de couleur orangée – rouge, sont en partie à l'origine de la coloration des feuilles en automne lorsque les chlorophylles se dégradent. Il existe deux chlorophylles principales chez les végétaux verts, chlorophylle a et chlorophylle b (Milcent et Chau, 2003)

### 6.1.1. Structure chimique et biosynthèse.

La chlorophylle est une chlorine (quatre noyaux pyrroles en cercle), chélatant un atome de magnésium au centre, ainsi qu'un alcool à longue chaîne, le phytol. Elle présente une structure quasi-identique à l'hème (présente dans les globules rouges sanguins). La présence de nombreuses doubles liaisons conjuguées, dans sa structure, permet une interaction avec le rayonnement lumineux et son absorption (Encyclopédie, 2006).

Les chaînes latérales de la chlorine sont variables et ceci entraîne une modification du spectre d'absorption entre les différentes familles de chlorophylles.

Le spectre visible se situe approximativement entre 380 nm à 780 nm bien qu'une gamme de 400 nm à 700 nm soit plus commune (Encyclopédie, 2006).

### 6.1.2. Rôle de la chlorophylle.

En plus de son rôle primordial dans la photosynthèse, cette dernière est responsable de la formation des réserves glucidiques.



Le glucose se transforme en amidon par polycondensation :



La réaction de synthèse du glucose est une réaction fortement endothermique, elle s'effectue en deux phases :

- ▶ Une phase photochimique : la chlorophylle absorbe les radiations lumineuses et amorcerait les réactions de synthèses.
- ▶ Une phase thermochimique ; la réaction de synthèse déclenchée par la lumière grâce à la chlorophylle se poursuit par un mécanisme chimique sensible à toute variation de température (Laval et Mazliak, 1979 in Gherbi, 2003).

## 6.2. La proline.

La proline ou acide pyrrolidine 2-carboxylique ( $\text{NH}_2\text{C}_5\text{O}_2$ ), est l'un des vingt principaux acides aminés naturels qui entrent dans les constitutions des protéines. C'est un corps blanc, très soluble dans l'eau, le méthanol, le benzène et le toluène. Elle est facilement oxydée par la ninhydrine. La proline est neutre et non toxique (Ait Kaki, 1993).

D'après Venekamp et Koot (1988), les précurseurs de la proline sont le glutamate et l' $\alpha$ -Ketoglutarate. D'autres pensent que le métabolisme de la proline est sous l'action de certaines enzymes comme la pyrroline-5-carboxylate réductase (P5CR) et la proline déshydrogénase (P5CD). La proline serait synthétisée à partir de l'acide glutamique par l'intermédiaire de l'acide semi-aldehyde glutamique et de l'acide 5-carboxylique 1 pyrroline (P5C) (Monneveux et Nemmar, 1986).

La synthèse de la proline est une voie qui tout en n'étant pas la plus complexe, souligne le nombre important d'étapes que peut nécessiter la synthèse de certains acides aminés, à fortiori si ceux-ci sont cycliques (Monneveux et Nemmar, 1986).

### 6.2.1. Accumulation de la proline sous stress.

La production et l'accumulation de la proline sont fréquemment associées à un stress telles que : sécheresse, salinité, attaques virales, (Côme, 1992). Son accumulation rapide lors du stress hydrique a, en effet, été mise en évidence chez de nombreuses plantes, particulièrement chez l'orge (Lewin et al. 1978), le blé tendre (Tan, 1982), la tomate (Aloni et Rosenchtein, 1984 cité par Dellaa, 2003), le blé dur (Dib et al. 1992) et l'Atriplex (Rahmoune et Maâlame, 2002).

D'autres facteurs influent sur l'accumulation de la proline tels que : l'inhibition de l'oxydation due à un effet mitochondrial, et à la réduction du taux de translocation de l'acide aminé à travers le phloème (Carceller, 1995).

### **6.2.2. Rôle de la proline.**

La proline peut intervenir en régulant par l'augmentation de sa concentration la pression osmotique interne, mais aussi en inhibant les mécanismes d'auxésis (Smai, 1991).

D'autres auteurs, proposent qu'elle constitue un stock d'azote utilisable par la plante postérieurement à la période de souffrance hydrique (Dib et al. 1992).

Additionnellement, la synthèse de la proline peut être incluse dans la régulation du pH cytoplasmique. Par conséquent, elle aide dans la stabilisation des protéines membranaires et des protéines libres, ceci suggère qu'elle a un rôle osmoprotecteur, du fait qu'elle est plus accumulée dans les plastides, les mitochondries et le cytosol, mais non dans les vacuoles ; ceci suggère que les chloroplastes et les mitochondries importent la proline, et la vacuole a une activité exportatrice du moment que la concentration de la proline est faible à son niveau par rapport au cytosol au cours du stress (Tan, 1982 ; Riazi et al. 1985 ; Monneveux et Nemmar, 1986 in Bezalla, 2005).

Il est à noter que la synthèse des protéines est étroitement liée au métabolisme des sucres et la respiration à partir de l' $\alpha$ -cétooglutarate intermédiaire du cycle de Krebs qui donne le squelette carboné pour la synthèse de la proline. Cependant, la synthèse des protéines, associées avec le catabolisme des sucres, pourrait jouer un rôle majeur dans la mobilisation de l'énergie métabolique requise durant le stress pour une compartimentation ionique et synthèse des osmolytes (Bellinger et Larher, 1987).

### **6.3. Les sucres.**

Les glucides ou les sucres sont des composés polyfonctionnels qui ont pour formule globale  $C_n(H_2O)_n$  d'où leur nom d'hydrate de carbone.

Les sucres forment des cristaux de densité réelle 1,6 et sont très hygroscopiques. Ils sont solubles dans l'eau et pratiquement insolubles dans l'alcool pur, leur solubilité augmente avec

la température. Seuls les acides forts aidés par la chaleur arrivent à briser la molécule de sucre.

Cette molécule peut également être oxydée et détruite par des oxydants énergétiques tels que l'oxyde d'argent, le nitrate de plomb, etc... (Encyclopédie, 2006).

### **6.3.1. Accumulation des sucres solubles sous stress.**

Le saccharose et l'amidon sont les premiers glucides stables, issus des processus photosynthétiques du cycle de calvin et de la voie du glycolate. L'amidon s'accumule dans les chloroplastes, tandis que le saccharose synthétisé dans le cytosol est stocké dans la vacuole ou transféré vers les organes puits (Nouri, 2002). L'amidon des tissus chlorophylliens a fait l'objectif de nombreux travaux, (Hawker et al. 1991).

Depuis longtemps, il est connu que le taux des sucres augmente considérablement chez les plantes soumises aux différents types de stress. Ceci a été vérifié par Chunyang (2003) chez des arbres adultes d'eucalyptus sous différents stress hydriques.

Les principaux sucres solubles accumulés sous stress sont : le glucose, fructose et le saccharose (Hare et al. 1998), et ces derniers semblent jouer un rôle très important dans le maintien d'une pression de turgescence qui est à la base des différents processus contrôlant la vie d'une plante.

### **6.3.2. Rôle des sucres solubles.**

Les sucres jouent un rôle majeur dans le métabolisme énergétique et sont également très importants dans d'autres schémas métaboliques tels que la synthèse d'acides nucléiques, les processus d'hydroxylation et la synthèse de cérébrosides et de glycoprotéines. Ils peuvent servir aussi de composés solubles jouant un rôle d'ajustement osmotique pour les plantes en leur conférant une tolérance vis-à-vis du stress (Bezzala, 2005).

# CHAPITRE II :

## MATERIEL ET METHODES

### **1. Contexte expérimental et méthodes analytiques.**

La partie expérimentale de notre étude est divisée en deux volets: sol et végétation.

Les analyses de sol ont été effectuées aux laboratoires : Biologie et environnement, université Constantine1 et le laboratoire d'analyse de terre SADEF Mulhouse. Les analyses de la végétation quand à elles, ont été réalisées au laboratoire de développement et valorisation des ressources phytogénétiques, Université Constantine1.

### **2. Zone d'échantillonnage et nature des prélèvements.**

La zone d'étude est située à Chaâbet Erssas (sud de Constantine). Les six stations de prélèvement retenues, ont été choisies de façon subjective le long de la route (N°20) sur un transect de 146 m en allant vers Boumrezoug (fig. 04). Les stations de prélèvements sont réparties comme suit : 4 stations le long de la route N° 20 et 2 à l'intérieur du campus universitaire chaâbet erssas.

Les prélèvements ont concerné le compartiment sol pour une caractérisation physico-chimique du milieu, et les graines de l'ailante (*Ailanthus altissima*) en vue d'une réalisation de leur germination. Les semis obtenus seront utilisés pour le dosage des différents marqueurs biochimiques.

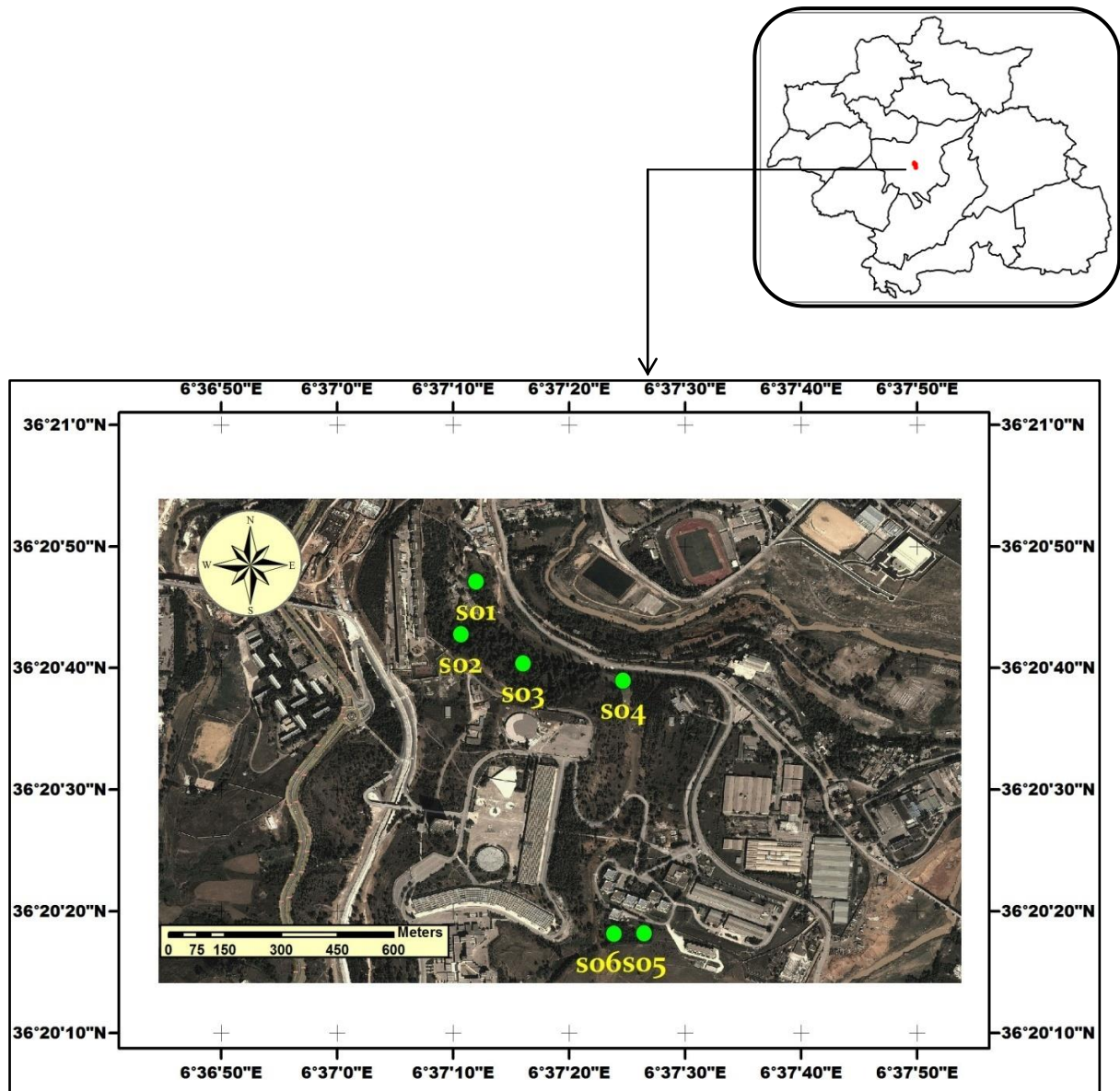


Figure 4 : Localisation des stations de prélèvements

### 3. Prélèvement et analyse physico-chimique du sol.

#### 3.1. Mode de prélèvement du sol.

Les prélèvements du sol ont été effectués à l'aide d'une tarière sur une profondeur 0-20 cm. Pour chaque station, un échantillon moyen représentatif (1 Kg de sol) est formé à partir de 4 prélèvements choisis au hasard sur un rayon d'un mètre en moyenne. Arrivé au laboratoire, les échantillons de sol sont séchés à l'air libre, broyés, tamisés à 2mm et conservés jusqu'au moment des analyses.

Une partie de cette terre fine servira à la détermination du pH, de la conductivité électrique (CE), du calcaire total (CT), calcaire actif (CA) et granulométrie, l'autre partie tamisée à 250µm sera destinée au dosage de l'azote, du plomb et du cadmium.

### **3.2. Analyse physico-chimique du sol.**

Des analyses physico-chimiques du sol ont été effectuées afin de caractériser le milieu sur lequel se développe l'ailante.

#### **3.2.1. Le pH.**

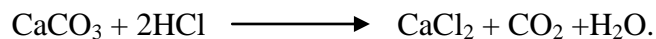
La réaction du sol, acide ou alcaline, est mesurée par son pH. Il est déterminé dans une suspension sol/eau distillée suivant un rapport 1/2,5 ; après agitation de deux heures, et repos de 18 heures (Aubert, 1978). La mesure est faite à l'aide d'un pH mètre digital (HANNA. HI8314).

#### **3.2.2. La conductivité électrique.**

La CE est la teneur en sel solubles d'une solution. Elle est mesurée, après agitation dans le surnageant d'une suspension de sol/eau distillée dans un rapport 1/5 (Aubert, 1978), à l'aide d'un conductimètre (WTW. LF90).

#### **3.2.3. Le calcaire total.**

Il est déterminé, selon la méthode décrite par Duchaufour (1977), à l'aide du calcimètre de Bernard, par dosage du CO<sub>2</sub> provenant de la réaction du calcaire avec l'acide chlorhydrique :



Le volume de CO<sub>2</sub> est proportionnel à la quantité de carbonates, et donc du calcaire présent. La quantité de carbonates est déduite de la courbe d'étalonnage (annexe 02) effectuée avec une série de quantités connues de carbonates de calcium.



### 3.2.4. Le calcaire actif.

Dans le sol une partie plus ou moins importante du calcaire total se trouve à l'état de fines particules de diamètre inférieur à  $2\mu\text{m}$ , facilement solubilisées par les eaux riches en gaz carbonique, c'est le calcaire actif. Cette partie du calcaire total correspond plus ou moins au calcaire précipité par l'oxalate d'ammonium (N/5).

Le dosage du calcaire actif est effectué, selon la méthode de Drouineau (1943). Pour cela, on utilise la propriété du calcium à se combiner aux oxalates pour donner de l'oxalate de calcium insoluble. L'excès d'oxalate est ensuite dosé par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique. La réaction n'a lieu qu'à  $60^\circ$  ou  $70^\circ\text{C}$ .

### 3.2.5. L'azote total.

La teneur en azote total est déterminée selon la méthode kjeldhal décrite par la norme internationale ISO 13878 en utilisant l'appareil NC SOIL 2000. La détermination de cette teneur se fait par combustion sèche sous oxygène gazeux d'une prise d'essai de 1.5 g d'échantillon dans un four à  $1350^\circ\text{C}$ . L'appareil donne directement les valeurs de l'azote total en %.

### 3.2.6. La granulométrie.

L'analyse granulométrique consiste à séparer la partie minérale du sol en fractions selon les dimensions des particules et à déterminer, en poids, les proportions relatives de ces fractions.

La détermination des différentes fractions granulométriques est faite, selon la norme AFNOR NF X 31-107 (1994).

La fraction totale des sables est séparée par tamisage du contenu du flacon suivi par un séchage pour ainsi obtenir les différentes fractions du sable total (grossier et fin), tandis que les limons et les argiles sont séparés par sédimentation selon la méthode dite de la pipette Robinson (dans des conditions bien déterminées de température et de temps).

Les trois fractions ainsi déterminées permettent, avec l'utilisation du triangle texturale Américain (FAO, 1968) de connaître la texture du sol.

### **3.2.7. Les éléments traces métalliques (plomb et cadmium).**

Les teneurs totales en plomb et en cadmium sont déterminées après mise en solution par l'acide fluorhydrique et l'acide perchlorique selon la norme NF ISO 14869-1. La technique consiste en une calcination de l'échantillon (0,250 g) à 450°C pendant 3h, suivie d'une digestion humide à l'acide fluorhydrique et l'acide perchlorique concentrés aux proportions : 5 ml et 1,5ml. Après évaporation, le résidu est repris par 6ml d'acide chlorhydrique (1/3 (V/V) et jaugé à 50ml avec l'eau désionisée.

Le dosage du Pb est effectué en émission plasma ICP AES (N/C Soil 2000) et le Cd par absorption atomique avec atomisation électrothermique.

## **4. Prélèvement et analyse du végétal.**

### **4.1. Récolte, tri et conservation.**

Les graines sont récoltées à maturité au mois de septembre (2013) sur des sujets adultes de la région de Chaâbet Erssas (Constantine).

Au laboratoire, un premier tri consiste à éliminer les graines en mauvais état. Un test de flottaison rapide a également été effectué pour sélectionner les graines saines. Il est à noter que l'eau de trempage prend une couleur brune qui témoigne de la dissolution des composés phénoliques des semences comme pour les glands de chêne (Come, 1975 ; Alatou, 1984).

Les graines sélectionnées sont conservées dans des sachets en plastiques dans un endroit frais et à l'abri de la lumière de façon à empêcher à la fois la déshydratation, la germination précoce et également le développement des microorganismes.

## **4.2. Expérimentation sur le végétal.**

### **4.2.1. Détermination de la teneur en eau et cinétique de réhydratation**

#### **✓ la teneur en eau**

La teneur en eau est l'un des facteurs importants limitant de la germination. Pour cela, un seuil minimal doit être préservé pour qu'il y ait germination. Cette quantité d'eau minimale permet de maintenir en vie l'embryon et donc, sa faculté germinative (Alatou, 1984). Pour évaluer la teneur en eau des semis d'ailante, des prélèvements ont été effectués tout les quinze jours sur une période de quatre mois allant d'Octobre 2012 jusqu'à Janvier 2013.

La teneur en eau représente la différence de poids de la matière fraîche et de la matière sèche obtenue après séchage à l'étuve à 80°C pendant 48h. Elle est exprimée en pourcentage par rapport au poids frais des graines :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = \frac{\text{PF} - \text{PS}}{\text{PF}} \times 100$$

#### **✓ Cinétique de réhydratation.**

L'expérience porte sur la mesure du poids de dix graines (poids de chaque graine à part) qui seront par la suite mis dans une boîte de pétri doublement tapissée de papier filtre et imbibée d'eau distillée. Chaque jour on procède à la vérification du papier filtre (car il doit rester mouillé) et à la mesure du poids des graines. Cette opération est répétée jusqu'à stabilisation du poids dans le but de déterminer la capacité de la reprise en eau de la graine.

### **4.2.2. Germination et suivi de la croissance.**

Les tests de germination portent sur des graines avec téguments et d'autres sans téguments. Les semences sont mises à germer sans prétraitement, dans des boîtes de pétri en verre de 15 cm de diamètre doublement tapissées de papier filtre imbibé d'eau distillée. Soixante (60) graines réparties en six (06) boîtes de pétri (à raison de 10 graines par boîte) sont mises à germer au laboratoire à une température de 20°C. L'émergence de la racine étant l'indicateur de la germination. Les graines germées sont transférées dans des pots de 50 cm de diamètre et 60 cm de profondeur remplis de tourbe (NFU44-45) dont les caractéristiques sont les suivantes :

- ✓ Matière sèche (exprimée en pourcentage en matière de produit brut : 35%).

- ✓ Matière organique (exprimée en pourcentage en masse de produit brut : 25%).
- ✓ pH eau (5,8- 6,8).
- ✓ Résistivité (2500 ohm/cm).
- ✓ Rétention en eau : 80 vol%.

Les pots sont placés en conditions semi- contrôlées, sous un éclairage de 6999 lux à la base des plants, à une température de  $25^{\circ}\pm 2^{\circ}$  et une photopériode de 16 heures et arrosé régulièrement avec l'eau de robinet.

Après levée, le suivi de la croissance s'effectue par des mesures sur la longueur de la tige, la longueur de la feuille et le nombre de folioles.

#### **4.2.3. Cinétique de la résistance stomatique.**

Mesurer la résistance stomatique consiste à déterminer le degré d'ouverture des stomates. Cette mesure est réalisée à l'aide du poromètre à diffusion de vapeur d'eau AP4 dont le principe est le suivant :

Une pince contenant une petite cavité jouant le rôle de chambre de transpiration sur la feuille délimitant ainsi un volume d'un centimètre cube environ. A la lumière, la feuille transpire et la vapeur d'eau diffuse dans cette chambre qui contient un capteur d'humidité dont la capacité électrique varie linéairement avec l'humidité de l'air de la chambre. Après avoir fixé la pince sur la feuille, l'appareil donne le temps nécessaire pour passer de l'humidité H1 à l'humidité H2 ( $H1 > H2$ ). Cet intervalle de temps dépend de la facilité avec laquelle la vapeur d'eau peut s'échapper de la feuille, et donc de l'ouverture stomatique. L'intervalle de temps ainsi mesuré est en fait comparé à ceux obtenus lors de l'étalonnage (Beaumont, 1991).

L'expression des résultats est donnée par la formule suivante :

$$1/R = 1/R_{fi} + 1/R_{fs}$$

D'où :

- ✓ R : Résistance stomatique globale.
- ✓  $R_{fi}$  : Résistance stomatique de la face inférieure.
- ✓  $R_{fs}$  : Résistance stomatique de la face supérieure.

#### 4.2.4. Traitements thermiques appliqués et dosage des marqueurs biochimiques.

Les semis utilisés pour l'expérimentation sont des semis âgés de six mois issu de la germination et sur lesquels cinq traitements thermiques (30°C, 35°C, 40°C, 45°C et 50°C) ont été appliqués afin d'apprécier le comportement des marqueurs biochimiques dans les différents organes de la plante (feuilles, tiges et racines).

##### 4.2.4.1. Dosage de la chlorophylle.

L'extraction de la chlorophylle est faite suivant la méthode de Mac Kiney (1941) et Arnon (1949). Elle consiste en une macération des feuilles dans un mélange d'acétone et d'éthanol à des proportions respectives de 75% et 25%. Cent milligramme (100 mg) de matière fraîche (feuilles) auxquelles sont ajoutées 10 ml de la solution d'extraction sont conservées dans des boîtes noires afin d'éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière. Après 48h, la densité optique est mesurée aux longueurs d'ondes 663nm et 645nm correspondant respectivement aux chlorophylles (a) et (b). Les résultats sont exprimés en mg/g de MF et les concentrations en chlorophylle (a) et (b) sont déterminées à l'aide des équations suivantes :

- ✓  $\text{Chl. (a) mg/g MF} = [12,7 \cdot \text{DO}(663) - 2,69 \cdot \text{DO}(645)] \cdot 0,1$

- ✓  $\text{Chl. (b) mg/g MF} = [22,9 \cdot \text{DO}(645) - 4,69 \cdot \text{DO}(663)] \cdot 0,1$

- ✓  $\text{Chl. Total mg/g MF} = \text{Chl (a)} + \text{Chl (b)}$

##### 4.2.4.2. Dosage de la proline.

La proline est dosée par la méthode de Troll et Lindsley, (1955), modifiée par Monneveux et Nemmar (1986). Pour chaque échantillon prélevé, 100 mg de matière fraîche sont introduit dans un tube à essai, dans lequel est ajouté 2 ml de méthanol à 40%, l'ensemble est chauffé au bain marie à 85°C pendant 60 mn. Les tubes sont fermés pour éviter la volatilisation de l'alcool. Après refroidissement, on prélève 1 ml d'extrait auquel est ajouté 1 ml d'acide acétique (CH<sub>3</sub>COOH), 1 ml d'un mélange contenant (12 ml d'eau distillée, 30 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide ortho phosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> densité 1.7)) et 25 mg de la ninhydrine. La solution est portée à ébullition pendant 30 mn, elle vire progressivement au rouge, après refroidissement, on ajoute 5 ml de toluène à la solution. Après agitation au vortex, 2 phases se forment, seule la phase supérieure contenant la proline est récupérée et déshydratée par l'adjonction de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhydre. Enfin la densité optique est déterminée par un spectrophotomètre à la longueur d'onde 528nm. Les teneurs en proline sont obtenues par l'équation suivante :

$$Y = 0,62 \text{ DO / MS. (Benlaribi, 1990)}$$

- ✓ **DO** : densité optique
- ✓ **MS** : matière sèche (mg)
- ✓ **Y** : concentration exprimée en µmol/mg MS

#### 4.2.4.3. Dosage des sucres.

Les sucres solubles sont dosés par la méthode de Dubois et al. (1956). Elle consiste à prendre 100 mg de matière végétale dans des tubes à essai auxquels on ajoute 3 ml d'éthanol à 80% pour l'extraction des sucres, puis on laisse à température ambiante pendant 48h à l'obscurité. Au moment du dosage, on filtre le contenu, et on ajoute 20 ml d'eau distillée pour constituer ainsi la solution à analyser. Dans des tubes en verre, on met 1 ml de la solution à analyser, on ajoute 1 ml de phénol à 5% puis 5 ml d'acide sulfurique (d=1,86) tout en évitant le contact avec les parois du tube. On obtient une coloration jaune-orange de la solution. Les tubes sont ensuite passés au bain-marie à une température de 30°C pour une durée d'environ 10 à 20 mn. La densité optique est mesurée à la longueur d'onde 490 nm.

Les teneurs en sucres solubles sont obtenus par l'équation suivante :

$$Y = 1,657 \text{ DO /MS}$$

- ✓ **DO** : densité optique
- ✓ **MS** : matière sèche (mg)
- ✓ **Y** : concentration exprimée en  $\mu\text{mol/mg MS}$

### **5. Traitement et analyse des résultats.**

Dans un premier temps, les indicateurs statistiques suivants ont été déterminés systématiquement : moyenne, écart type, minimum et maximum.

Des corrélations entre les paramètres physico-chimiques mesurés ont été effectuées pour les facteurs édaphiques.

En ce qui concerne le végétal, nous avons fait appel à l'analyse de la variance (Anova) à un seul facteur et 2 facteurs de variation, suivie du test Post-Hoc de Newman-Keuls pour chacun des paramètres étudiés afin de faire ressortir l'effet des traitements thermiques sur les différents marqueurs biochimiques dans les trois parties de la plante (tige, feuille et racines).

Pour l'ensemble des analyses statistiques, nous avons utilisé les logiciels : Excel (version 2010) et R (version 3.0.15).

CHAPITRE III :

RESULTATS ET  
DISCUSSION



### 1- Caractérisation physico-chimique du sol.

Les résultats des analyses physico-chimiques du sol du site d'étude sont représentés sous forme d'histogrammes. Les valeurs minimales et maximales, les moyennes et les écarts types de ces résultats sont portés dans le tableau 02.

**Tableau 02:** Résultats des analyses physico-chimiques des sols étudiés.

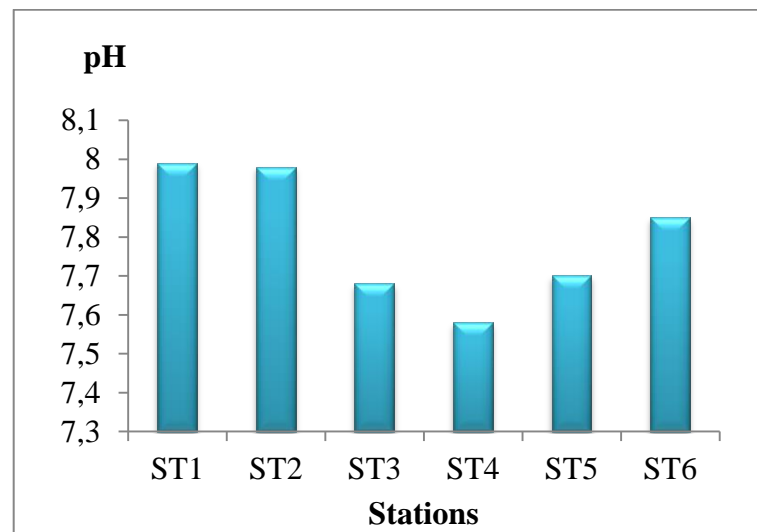
		Moy±ET	Min	Max
<b>pH</b>		7,80 ± 0,17	7,58	7,99
<b>CE µs/cm</b>		71,20 ± 16,42	54,8	89,5
<b>CaCO<sub>3</sub>_total %</b>		24,92 ± 13,65	12,93	43,37
<b>CaCO<sub>3</sub>_actif %</b>		9,75 ± 4,08	6,5	15
<b>C %</b>		2,45 ± 1,75	1,28	5,92
<b>MO %</b>		4,23±3,02	2,21	10,21
<b>N_total %</b>		0,146 ± 0,016	0,128	0,168
<b>C/N</b>		17,5 ± 14,17	7,62	45,89
<b>Granulométrie</b>	<b>A %</b>	34,07 ± 4,22	27,2	39,4
	<b>LF %</b>	18,97 ± 3,09	17,1	23,5
	<b>LG %</b>	6,27 ± 6,10	0,77	14,1
	<b>SF %</b>	12,07 ± 1,30	10,7	14,4
	<b>SG %</b>	21,93 ± 6,62	20,2	34
	<b>Ø&lt;50µm</b>	63,7 ± 6,74	52	71,3
<b>ETM (µg.g<sup>-1</sup>)</b>	<b>Cd</b>	0,18 ± 0,08	0,087	0,32
	<b>Pb</b>	32,15 ± 7,43	26,3	45,5

#### 1.1. pH.

Le pH eau est le premier indicateur de toute évolution physico-chimique du sol. La moyenne du pH des sols étudiés est de 7,80 ± 0,17 variant entre un minimum de 7,58 et un maximum de 7,88 (tab 02, fig. 05).

Les valeurs enregistrées dans la présente étude indiquent un milieu légèrement basique pour la majorité des stations probablement liée à la présence de carbonates (Baize et Jabiol, 1995). Ces derniers jouent un rôle important dans le maintien du pH des sols. Plusieurs auteurs ont montré que le pH des sols dépend de l'origine de la nature géologique du substrat. En effet, les sols de la région de Constantine reposent sur une formation carbonatée (Djebbar et al. 2004 ; Mebarki, 2005). Aussi, la fourchette des valeurs obtenus est caractéristiques des sols en régions arides (Mathieu et al. 2003).

Nos résultats obtenus concordent avec ceux de Ouahrani et Gheribi (2007), Bentellis et al. 2003 et El Hadeff El Okki (2002). Ces auteurs ont enregistré des pH de l'ordre de (6,98-8,4), (7,35-7,88) et (7,36-8,02) respectivement.



**Figure 05 :** Variation du pH des sols prélevés

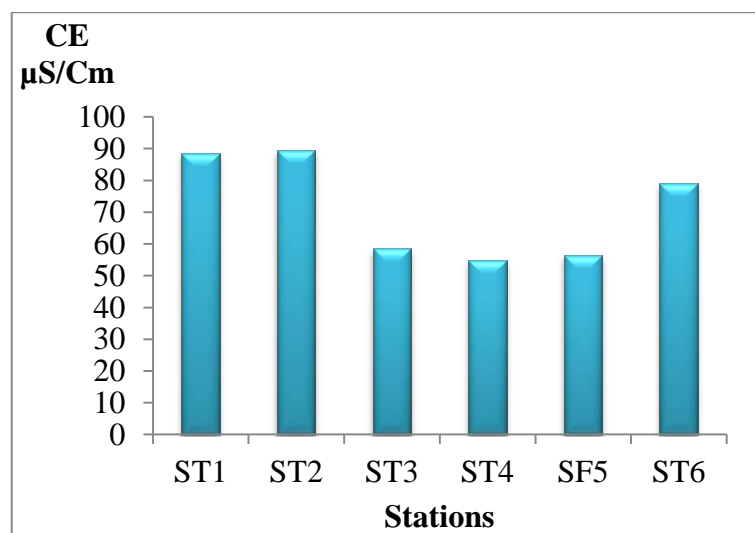
## 1. 2. Conductivité électrique.

La conductivité électrique définie la quantité totale en sels solubles correspondant à la salinité globale du sol, elle dépend de la teneur et de la nature des sels solubles présents dans ce sol (Guessoum, 2001).

Les valeurs extrêmes de la conductivité électrique des sols étudiés varient entre 54,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 89,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et sont en moyenne de l'ordre de 71,20 $\pm$ 16,42  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (tab. 02, fig. 06).

Les résultats obtenus dans la présente étude indiquent que le sol est loin d'être salin ( $CE < 500 \mu S/cm$ , Mémento de l'agronome, 1974 cité in Durand, 1983).

Nos résultats obtenus concordent avec ceux de Bentellis et al. 2003 et El Hadeff El Okki (2002).



**Figure 06 :** Variation de la conductivité électrique des sols prélevés.

### 1.3. Calcaire total.

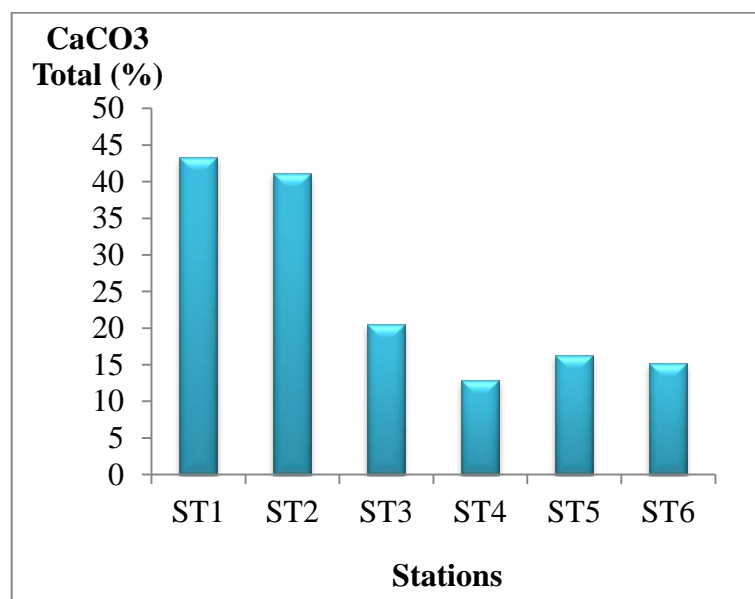
Le sol étudié a des teneurs variables en calcaire puisque le taux varie entre un minimum de 12,93% et un maximum de 43,37%, avec une moyenne de 24,92 et un écart type de 13,65 (tab. 02, fig. 07).

Si nous prenons en considération les normes données par l'A.F.E.S. (1992) et celles de Baize (1988), nous constatons que les sols de notre zone d'étude sont modérément à fortement calcaire

D'après Ruellan (1999), la fraction grossière du calcaire présente dans le profil (sous forme de concrétions, ou d'une croûte) est une particularité très commune des sols des régions arides et semi arides, lorsque la roche mère sous-jacente présente une prédominance de formations calcaires. Ceci est le cas des sols étudiés, où la présence des calcaires est due principalement à la nature du matériau géologique du sous bassin versant de l'Oued

Boumerzoug, dont chaâbet erssas fait partie et qui est selon Mebarki (1984), d'origine calcaire-marneuse.

Nos résultats obtenus concordent avec ceux de Ouahrani et al (2007), Bentellis et al. 2003 et El Hadeff El Okki (2002). Ces auteurs ont enregistré des des taux de calcaire de l'ordre de (19% - 63%) et (19,12 – 43,2) et (19-42,8) respectivement.



**Figure 07 :** Variation des teneurs en calcaire total des sols prélevés.

#### 1.4. Calcaire actif.

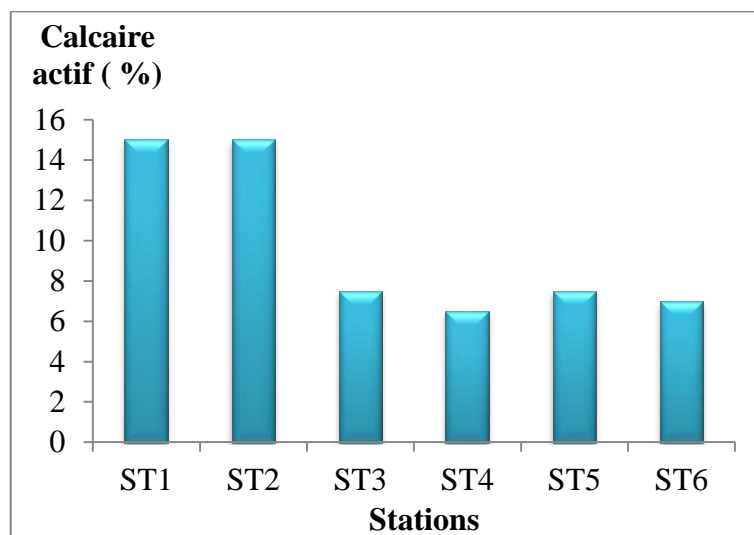
En ce qui concerne les teneurs en calcaire actif, les sols de notre région d'étude présentent un maximum de 15% et un minimum de 6,5%, avec une moyenne de 9,75 % et un écart type de 4,08 (tab 02, fig.08).

Selon Coppenet et Juste (1979), le taux de calcaire actif dans le sol n'est jugé élevé que s'il atteint la valeur de 7%. La majorité de nos sols étudiés atteignent ou dépassent cette valeur.

Selon Pousset (2002), on considère généralement que des problèmes sérieux peuvent commencer à apparaître à partir de teneur en calcaire total voisine de 5%. Mais une présence

modérée de calcaire actif améliore la solidité du complexe argilo-humique et donc la stabilité de la structure.

Les résultats obtenus concordent avec ceux de Bentellis et al. 2003. Ces auteurs ont enregistré des taux de calcaire actif de l'ordre de (2,25% - 8,65%).



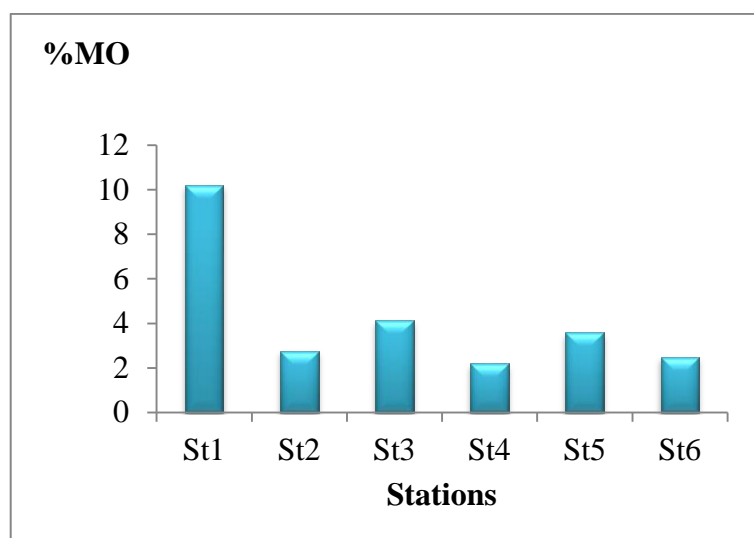
**Figure 08 :** Variation des teneurs en calcaire actif des différents sols prélevés.

### 1.5. La matière organique

La matière organique joue un rôle essentiel dans le maintien de la qualité du sol, en particulier au niveau de la rétention en eau et de la restitution d'éléments nutritifs aux plantes (azote, phosphore, calcium, magnésium ...). En outre, la matière organique du sol représente un réservoir important dans le cycle du carbone. Des études récentes ont démontrées l'importance de la séquestration du CO<sub>2</sub> atmosphérique dans ce réservoir : le carbone est d'abord immobilisé dans le tissu des végétaux avant d'être, soit partiellement minéralisé (relibéré sous forme de gaz carbonique), soit partiellement stabilisé dans le sol sous forme d'humus (Van Wesemael, 2006).

Les résultats de la matière organique sont exprimés en pourcentage et consignés dans le tableau 02. La valeur la plus faible (2,21%) a été enregistrée au niveau de la station 4, tandis que la plus forte (10,21 %) a été déterminée à la station 1. Le taux moyen de la matière organique est de l'ordre de  $4,23 \pm 3,02$  % (tab 02).

D'après Duthil (1970), le taux de matière organique est normal lorsqu'il est inférieur à 4, ce qui est le cas de la plupart des sols de la région d'étude. Les sols dépassant un taux de 4 %, sont considérés comme humifères par le même auteur. Ce qui est le cas pour la station 1. Nos résultats concordent avec ceux de Bentellis et al. 2003 et El Hade El Okki (2002). Ces auteurs ont enregistré des teneurs en matière organique de l'ordre de (1,42-2,96) et (1,06-4,43%) respectivement.



**Figure 09:** Variation des teneurs en matière organique dans les sols prélevés.

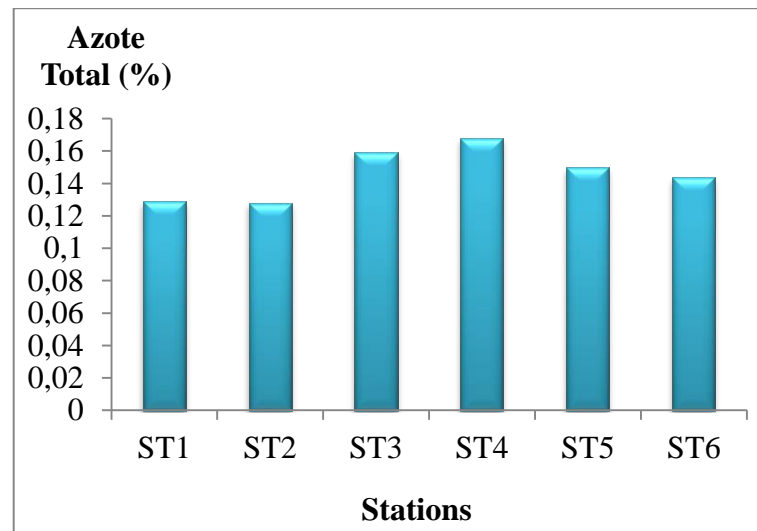
### 1.6. Azote total.

Les teneurs extrêmes en azote total sont de 0,164% pour le maximum et de 0,128% pour le minimum avec une moyenne de  $0,146 \pm 0,16\%$  (tab 01).

Selon les normes données par Mémento de l'agronome (1974), les sols sont dits riches en azote lorsque les teneurs de celui-ci sont supérieures à 0,15%, moyennement riches lorsqu'elles sont comprises entre 0,1% et 0,15%, et faibles entre 0,05%, et 0,1%. De ce fait, les sols analysés sont moyennement riche à riche en azote. La figure 08 met en évidence une légère variation de l'azote total d'une station à l'autre. Ceci est confirmé par un écart relativement faible entre la moyenne et l'écart-type. De tels résultats peuvent être expliqués par la physico-chimie du milieu. En effet, selon Hébert (1979), les sols caractérisés par des textures limoneux argileuses à argileuses (*cf.* 1.6. *Granulométrie des sols*) et des pH alcalins

((cf. 1.1. *pH des sols*) permettent une minéralisation moyenne à faible de l'azote, avec une prédominance des nitrates. Ceci est justement le cas de nos sols.

Les résultats obtenus concordent avec ceux d'El Hadeff El Okki (2002). Cet auteur a enregistré des taux d'azote total de l'ordre de (0,12% - 0,40 %).

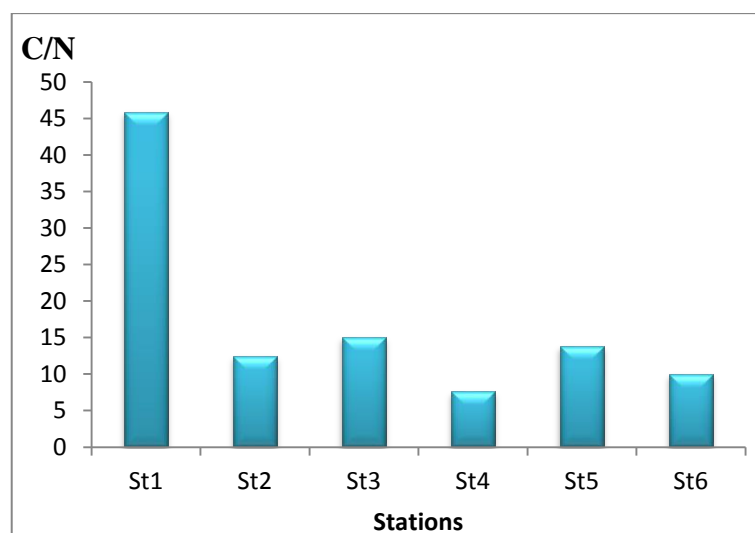


**Figure 10** : Variations des teneurs en azote total des sols prélevés.

### 1.7. Le rapport C/N.

Le rapport C/N ou rapport carbone sur azote est un indicateur qui permet de juger du degré d'évolution de la matière organique, c'est-à-dire de son aptitude à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol (Gagnard et *al.*, 1988). D'après le même auteur, le rapport C/N est qualifié de faible lorsqu'il est inférieur à 8 ; normal lorsqu'il varie entre 8 et 12 et fort lorsqu'il est supérieur à 12.

Selon ces indications et les valeurs du rapport C/N du sol étudié mentionnées dans le tableau n°02, nous constatons que ce sol présente un rapport C/N fort ( $17,5 \pm 14,17$ ) et cela traduit donc des conditions très favorables pour permettre une bonne décomposition de la matière carbonée.



**Figure 11 :** Variations du rapport C/N des sols prélevés.

### 1.8. Granulométrie.

Les taux d'argile s'échelonnent de 27,2 % à 39,4 % (tableau 02). L'examen de la figure 10-a montre une faible variation du taux d'argile des sols étudiés d'une station à l'autre. Ceci est confirmé par l'importance de l'écart entre la moyenne (34,07) et l'écart-type (4,22).

Pour ce qui est des limons (fins et grossiers), leurs teneurs varient de 24,8 % et 33,1 % avec une moyenne de 29 % et un écart type de 3,14. Les valeurs de cette fraction ne présentent pas de grande variation d'un relevé à un autre (fig12-b). Ceci ressort également de la grande différence entre la moyenne et l'écart type.

En ce qui concerne les taux de sable (fins et grossiers), leurs taux oscillent entre 27 % et 44,7% %, avec une moyenne de 34 % et un écart type de 6,26. Les teneurs en sable semblent être homogènes à l'exception de la station 04 où le taux est plus prononcé (fig.12-c).

D'une manière générale, il apparaît que la fraction inférieure à 50 $\mu$ m (Limon+Argile) constitue la plus grande partie dans les sols prélevés. Ceci apparaît aussi après projection des résultats de l'analyse granulométrique des sols étudiés sur le triangle textural américain (FAO, 1968) (fig.13). Il ressort deux classes texturales : limono-argileuse et limono-sablo-argileuse. Nos résultats concordent avec la bibliographie ; *Ailanthus altissima* se développe et tolère différentes textures du sol (Plass, 1975).



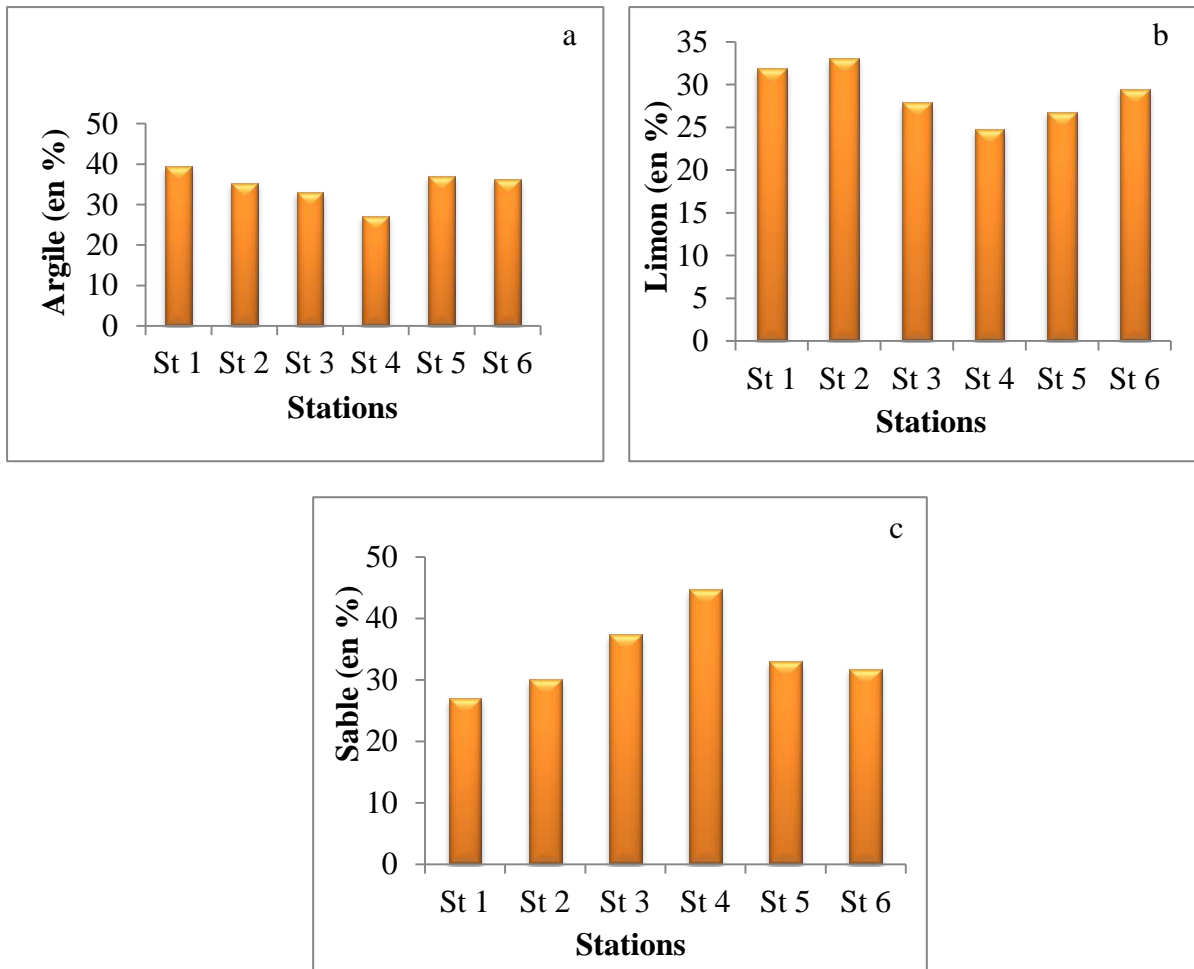


Figure 12 : Variations des teneurs des fractions granulométriques des sols prélevés.

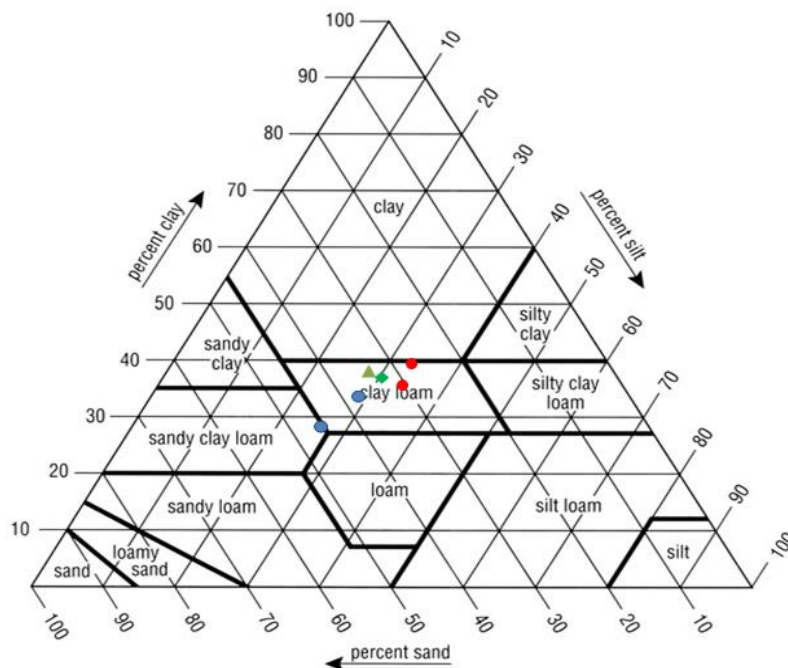


Figure 13 : Classification des sols étudiés selon le triangle texturale américain (FAO, 1968).

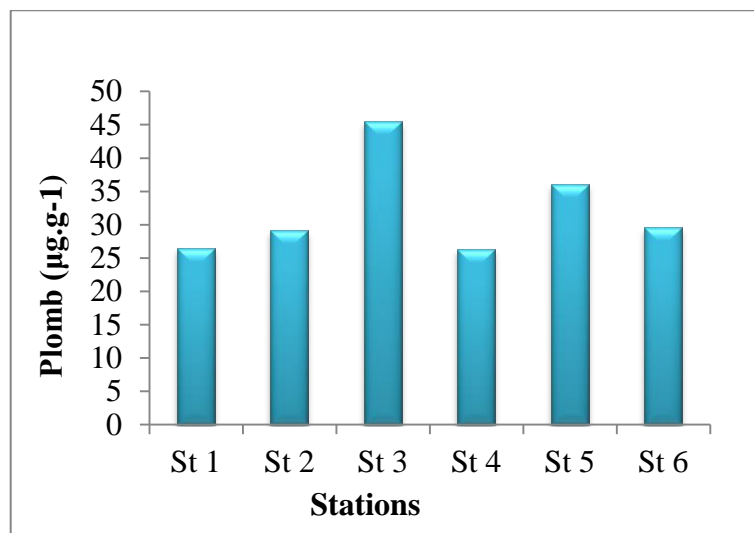
## 1.9. Les teneurs en éléments traces métalliques.

### 1.9.1. Le plomb (Pb)

Les teneurs en plomb varient entre  $26,3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  dans la station 1 et  $45,5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  dans la station 3 avec une moyenne de  $32,15 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ .

Les concentrations traduisent le fond géochimique de la zone d'étude pour l'ensemble des sols prélevés puisqu'elles ne dépassent jamais la teneur considérée comme naturelle ; la valeur limite proposée par la SADEF étant de l'ordre de ( $100 \mu\text{g}/\text{g}$ ). Ces teneurs sont très faibles aussi par rapport à la limite admissible du cadmium dans les sols ( $50\text{-}300 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) proposé par l'UNEP (1994).

Ces résultats concordent avec ceux trouvés par Ouahrani et Gheribi (2007) qui ont enregistré des concentrations moyennes en plomb de l'ordre de  $50,82 \pm 7,53 \mu\text{g}/\text{g}$  pour les sols des bordures de l'oued Rhumel en zone urbaine. Bentellis et al. (2003) ont également enregistré des teneurs en plomb plus importants ( $57,17 \pm 21,232 \mu\text{g}/\text{g}$ ).



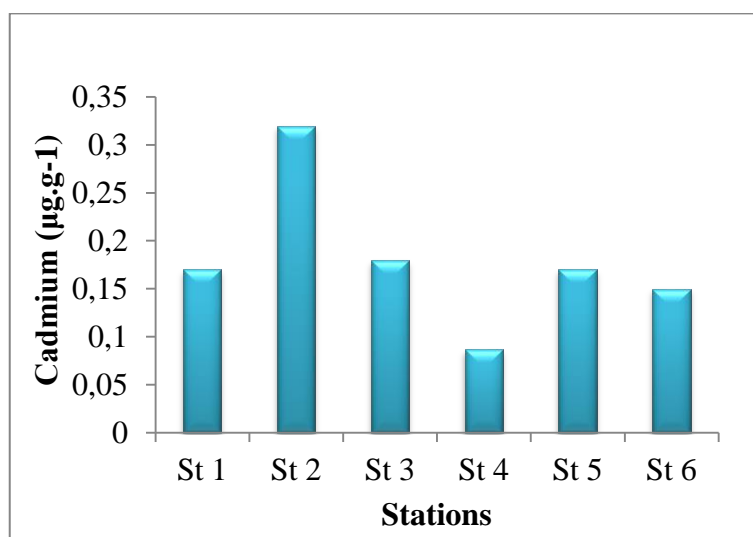
**Figure 14** : Variation des teneurs totales en plomb des différents sols prélevés.

### 1.9.2. Le cadmium (Cd).

Les teneurs en cet élément sont comprises entre  $0,087 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  dans la station 4 et  $0,32 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  dans la station 2 (figure 14) avec une moyenne de  $0,18 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ .

Les concentrations traduisent le fond géochimique de la zone d'étude pour l'ensemble des sols prélevés puisqu'elles ne dépassent jamais la teneur considérée comme naturelle ; la valeur limite proposée par la SADEF étant de l'ordre de  $2 \mu\text{g}/\text{g}$ . Ces teneurs sont très faibles aussi par rapport à la limite admissible du cadmium dans les sols ( $1-3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) proposé par l'UNEP (1994).

Ces teneurs restent inférieures aux teneurs enregistrées par El-Hadef El-Okki (2002) et Ouahrani et Gheribi (2007). Ces auteurs ont enregistré des teneurs de l'ordre de  $5,58 \pm 3,63 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,  $5,72 \pm 0,72 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  respectivement.



**Figure 15** : Variation des teneurs totales en Cadmium des sols prélevés.

### 1.10. Relation entre les différents paramètres physico-chimiques des sols étudiés

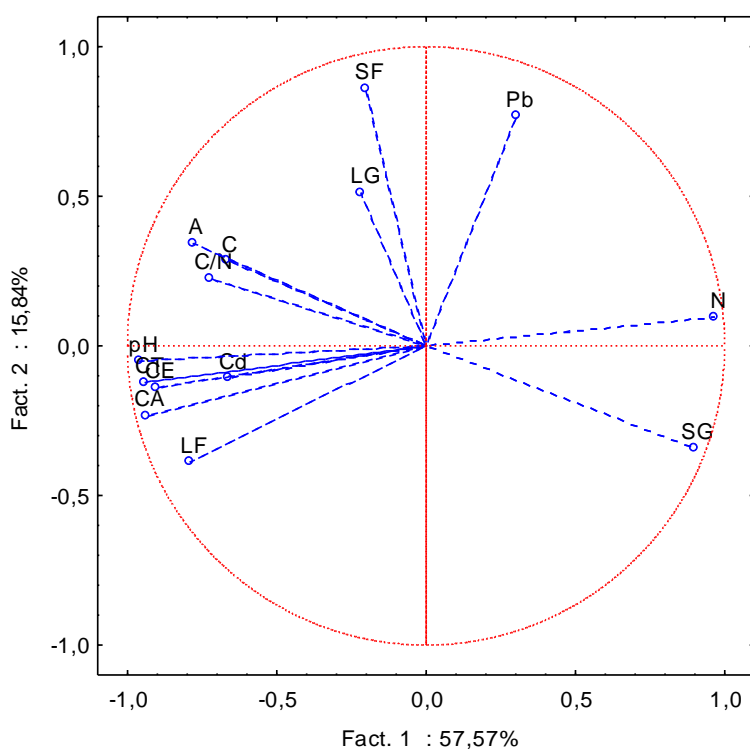
Afin de faire ressortir les différentes relations qui pourraient exister entre les paramètres physico-chimiques du sol nous avons effectués des corrélations. Ainsi, une analyse en composantes principale (ACP) a été réalisée. Il ressort du cercle de corrélation (fig. 16) obtenu que les sols à texture fine, pH élevé et riches en carbonates, en sels et en matière

organique au niveau des stations 1 et 2 s'opposent aux sols à texture grossière et riche en azote dans la station 4 (fig. 17).

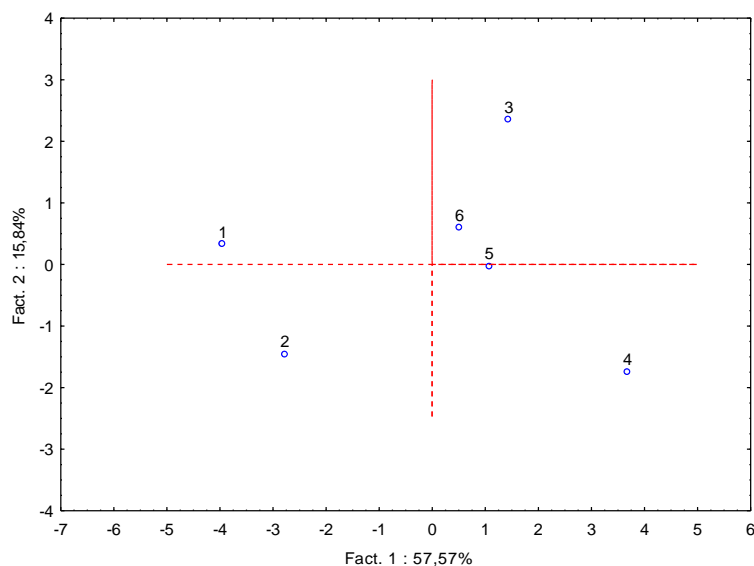
Pour ce qui est des éléments traces métalliques, le plomb semble être d'origine anthropique du fait qu'il ne présente aucune corrélation significative avec les propriétés physicochimiques des sols correspondants. Par contre, le cadmium semble être lié aux carbonates, au pH à la conductivité électrique et à la fraction limoneuse (limon fin) mais pas de façon significative.

La liaison du cadmium à la conductivité électrique s'explique par le fait que cet élément soit présent surtout sous forme de sels.

De plus, en sol calcaire, les carbonates de calcium sont les constituants majeurs qui interviennent dans la fixation des éléments traces, soit par adsorption, par précipitation d'hydroxydes ou de carbonates, ou encore par insertion dans le réseau de  $\text{CaCO}_3$ . Un sol riche en  $\text{CaCO}_3$  implique un bon effet de dilution et donc une diminution de la toxicité des ETM (Tessier, 1982). Ceci confirme les résultats obtenus en plomb et cadmium dont les teneurs restent en dessous de la limite de toxicité.



**Figure 16 :** Cercle de corrélation entre les différents paramètres physico-chimiques (plan 1-2).



**Figure 17** : Projections des stations étudiées (plan 1-2).

## 2- Analyse du végétal.

### 2.1. Détermination de la teneur en eau et cinétique de réhydratation.

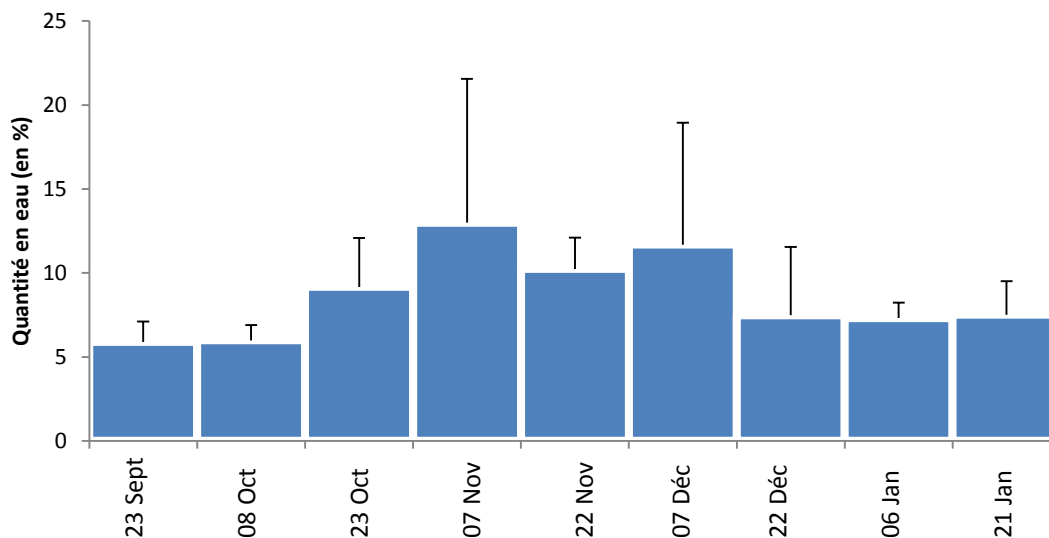
#### ✓ La teneur en eau.

Le tableau 03 résume les teneurs en eau des graines durant la période allant de septembre à janvier. On remarque que la cinétique pour chaque récolte est toujours positive. La teneur en eau maximale est enregistrée pour le mois de novembre avec la valeur de 12,99%. Selon la figure 18, la variabilité globale de la teneur en eau est comprise entre +1% et 7% cela veut dire que la teneur en eau des graines récoltées est maintenue durant toute la période de récolte.

**Tableau 03** : Teneur en eau des graines récoltées durant la période allant du 23 septembre 2012 au 21 janvier 2013.

Périodes de prélèvements	GAT (%)	
	Moy±ET	D <sub>TE/TEi</sub>
23/09/2012	5,89±1,21	0
08/10/2012	5,99±0,92	0,1
23/10/2012	9,18±2,90	3,29
07/11/2012	12,99±8,57	7,1
22/11/2012	10,24±1,87	4,35
07/12/2012	11,69±7,26	5,8
22/12/2013	7,48±4,06	1,59
06/01/2013	7,31±0,92	1,42
21/01/2013	7,51±2,00	1,62

D<sub>TE/TEi</sub> : Différence de la teneur en eau par rapport à la teneur en eau initiale (23 Sept)



**Figure 18:** Variation de la teneur en eau des graines dans le temps

#### ✓ Cinétique de réhydratation.

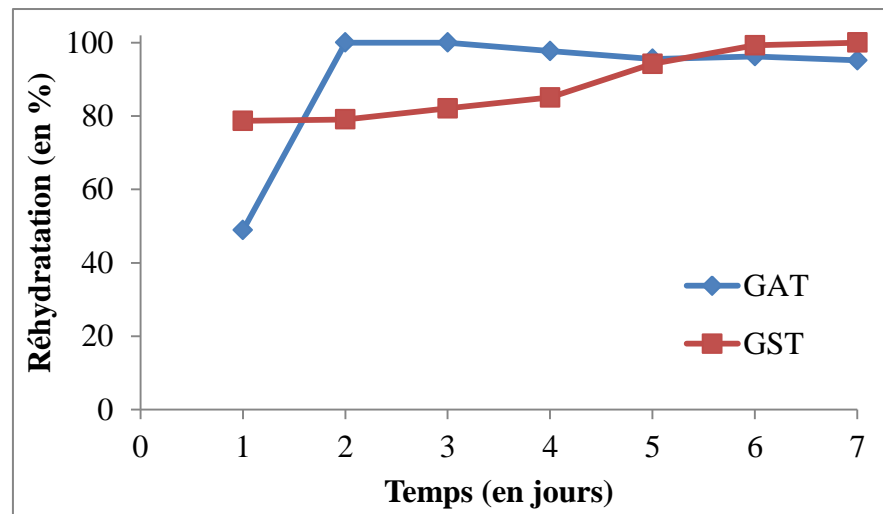
Le tableau 04 résume l'évolution du poids des graines lors de la réhydratation. Selon l'expérimentation, on enregistre une augmentation du poids des graines (avec téguments et sans téguments) dès le premier jour. Cette élévation se traduit par un gain d'eau atteignant pour les graines avec téguments un maximum de 45,45% de la reprise d'eau totale. Cette valeur est maintenue jusqu'au troisième jour puis chute faiblement jusqu'à stabilisation dans les jours qui suivent.

Les graines sans téguments quant à elles, retiennent des quantités beaucoup plus importantes que celles avec téguments, on enregistre une moyenne de 66,7% par rapport à la reprise d'eau totale et qui correspond au sixième et septième jour de réhydratation.

Dans la cinétique de réhydratation, le tégument représente un élément palliatif pour la reprise en eau de la graine d'ailante mais il permet aussi d'éviter la déshydratation.

**Tableau 04** : Evolution du poids des graines lors de la réhydratation

Graines Jours	GAT		GST	
	Moy±ET	Reprise d'eau totale (%)	Moy±ET	Reprise d'eau totale (%)
J <sub>0</sub>	0,033±0,002	0	0,018±0,001	0
J <sub>1</sub>	0,047±0,004	42,42	0,024±0,001	33,33
J <sub>2</sub>	0,048±0,004	45,45	0,024±0,001	33,33
J <sub>3</sub>	0,048±0,004	45,45	0,025±0,002	38,88
J <sub>4</sub>	0,046±0,005	39,39	0,025±0,002	38,88
J <sub>5</sub>	0,044±0,003	33,33	0,028±0,004	55,55
J <sub>6</sub>	0,044±0,003	33,33	0,030±0,005	66,66
J <sub>7</sub>	0,043±0,003	30,30	0,030±0,006	66,66

**Figure 19** : Cinétique de réhydratation des graines (avec tégument et sans téguments) *d'ailanthus altissima*.

## 2.2. Germination et suivi de la croissance

Les graines ont montré une bonne aptitude à germer que ce soit au laboratoire ou en pépinière. Le taux de germination enregistré est supérieur à 98%.



**Photos 05 :** Germination des graines d'ailante (a : en sachets, b : repiquage)

## 2.3. Cinétique de la résistance stomatique.

**Tableau 05 :** Cinétique de la résistance stomatique ( $S.cm^{-1}$ ).

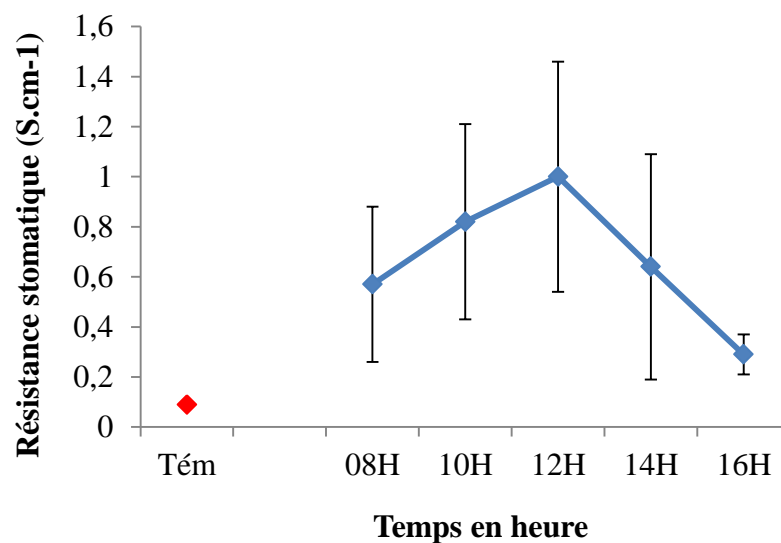
Témoin			Pot testé			
Moy±ET	Min	Max	Heure		Min	Max
0,09±0,01	0,08	0,11	<b>8h</b>	0,57±0,31	0,29	1,00
			<b>10h</b>	0,82±0,39	0,39	1,27
			<b>12h</b>	1,00±0,46	0,61	1,61
			<b>14h</b>	0,64±0,45	0,25	1,18
			<b>16h</b>	0,29±0,08	0,22	0,39

La mesure de la résistance stomatique permet de quantifier globalement le poids des contraintes environnementales. L'assimilation du  $CO_2$  atmosphérique nécessite l'ouverture des stomates, tandis que tout facteur inhibant la photosynthèse (éclairage faible, manque d'eau...etc) entraîne la fermeture des stomates. Aussi, la vitesse de réponse des stomates au



cours du temps dépend non seulement de l'espèce et de sa consommation en eau mais aussi de la réserve en eau utilisable du sol (Mougou, 1984).

La figure 20 montre l'évolution de la résistance stomatique en fonction du temps. On remarque une variation de la résistance stomatique au cours de la journée correspondant à la variation de la température. Deux phases sont alors enregistrées : une phase d'augmentation jusqu'au milieu de la journée (12H) avec une valeur de résistance stomatique maximale de  $1\text{S.cm}^{-1}$  et une phase de déclin qui commence l'après midi (16H) avec une valeur minimale de  $0,29\text{ S.cm}^{-1}$ .



**Figure 20 :** Evolution de la résistance stomatique des semis d'ailante.

L'augmentation et la diminution de la résistance stomatique correspond à la fermeture et l'ouverture des stomates. Selon Tezara et al. (2002) et Rodriguez et al. (2010), la diminution de la conductance stomatique provoque une réduction de la transpiration et par conséquent une diminution de la photosynthèse. La fermeture stomatique quant à elle peut être interprété selon Louguet (1978) par une meilleure adaptation à la contrainte permettant à la plante d'économiser l'eau disponible et de maintenir une teneur en eau des tissus élevée et aussi une certaine sensibilité à la déshydratation qui peut être accompagnée d'un ajustement osmotique.

## 2.4. Dosage des marqueurs biochimiques.

### 2.4. 1. Variation du taux des chlorophylles (a) et (b) en fonction des températures.

Les différents résultats du dosage de la chlorophylle a dans les feuilles des plantes ayant reçus des stress thermiques sont résumés dans le tableau suivant :

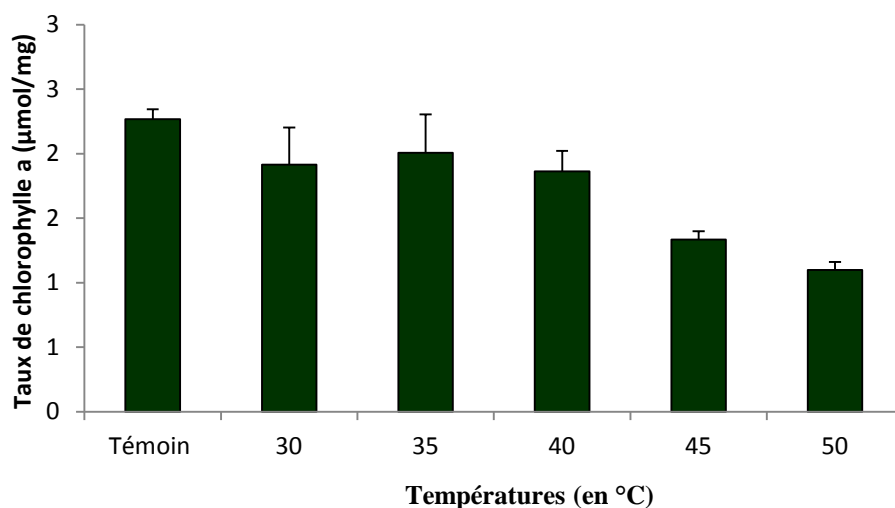
**Tableau 06** : résultats des taux de chlorophylles exprimés en  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  MS (moyenne  $\pm$  écart-type).

Traitement	Chl (a)	Chl (b)	Chl (a+b)	Chl (a/b)
<b>Témoin</b>	2,27 $\pm$ 0,08	1,54 $\pm$ 0,05	3,80 $\pm$ 0,07	1,48 $\pm$ 0,08
<b>30 °C</b>	1,91 $\pm$ 0,29	1,41 $\pm$ 0,24	3,33 $\pm$ 0,52	1,36 $\pm$ 0,10
<b>35 °C</b>	2,01 $\pm$ 0,30	1,55 $\pm$ 0,14	3,56 $\pm$ 0,30	1,30 $\pm$ 0,24
<b>40 °C</b>	1,86 $\pm$ 0,16	1,55 $\pm$ 0,18	3,42 $\pm$ 0,22	1,21 $\pm$ 0,19
<b>45 °C</b>	1,33 $\pm$ 0,06	1,40 $\pm$ 0,25	2,74 $\pm$ 0,23	0,98 $\pm$ 0,20
<b>50 °C</b>	1,10 $\pm$ 0,06	0,91 $\pm$ 0,05	1,89 $\pm$ 0,11	0,70 $\pm$ 0,14

#### 2.4.1.1. Chlorophylle (a).

Selon la figure 20, les taux les plus élevés en chlorophylle (a) sont attribués aux témoins avec une valeur de 2,27  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  de matière sèche (MS) en moyenne (tableau 1). Une diminution de ces teneurs par rapport au témoin est à noter pour tous les traitements appliqués (de 30°C à 50°C). Néanmoins, les valeurs enregistrées pour les températures 30°C, 35°C et 40 °C semblent être très proches (de l'ordre de 1,91 ; 2,01 et 1,86  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  de MS respectivement) et témoignent d'une certaine stabilité reflétant l'adaptation à la contrainte thermique. Le taux de chlorophylle (a) diminue considérablement à partir du traitement à 45 °C pour atteindre une valeur minimale de l'ordre de 1,10  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  de MS à la température de 50 °C. Le classement des traitements thermiques en fonction de la teneur en chlorophylle (a) suit cette séquence :

$$[\text{Témoin}] > 30\text{ °C} \approx 35\text{ °C} \approx 40\text{ °C} \gg 45\text{ °C} > 50\text{ °C}.$$



**Figure 21** : Taux de la chlorophylle (a) des semis d'ailante

La variabilité de réponse au stress thermique de la chlorophylle (a) est confirmée par l'analyse de la variance qui a révélé un effet hautement significatif ( $F = 22,022$  ;  $p < 0,001$ ). La comparaison des moyennes à l'aide du test de Newman-Keuls (5 %) fait ressortir 4 groupes homogènes (tab 07). Le premier groupe est formé par le témoin, le deuxième regroupe les traitements thermiques 30 °C et 40 °C, le troisième correspond au traitement 35 °C et les traitements à 45 °C et 50 °C sont assemblés dans le quatrième groupe.

**Tableau 07** : Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls (Chlorophylle a)

Traitement	Chl (a)
<b>Témoin</b>	A
<b>30 °C</b>	B
<b>35 °C</b>	AB
<b>40 °C</b>	B
<b>45 °C, 50 °C</b>	C

Les causes possibles de la réduction ou la baisse des teneurs en pigments chlorophylliens peuvent être expliquées par la destruction des membranes thylakoïdiennes cellulaires. En effet, une perte de la compartimentation cellulaire peut inhiber le déroulement des grandes fonctions métaboliques (Cornic, 2007). Les températures stressantes endommagent le système photosynthétique et induisent une réduction des taux de pigments chlorophylliens. Ceci peut être expliqué aussi par un abaissement du contenu de protéines

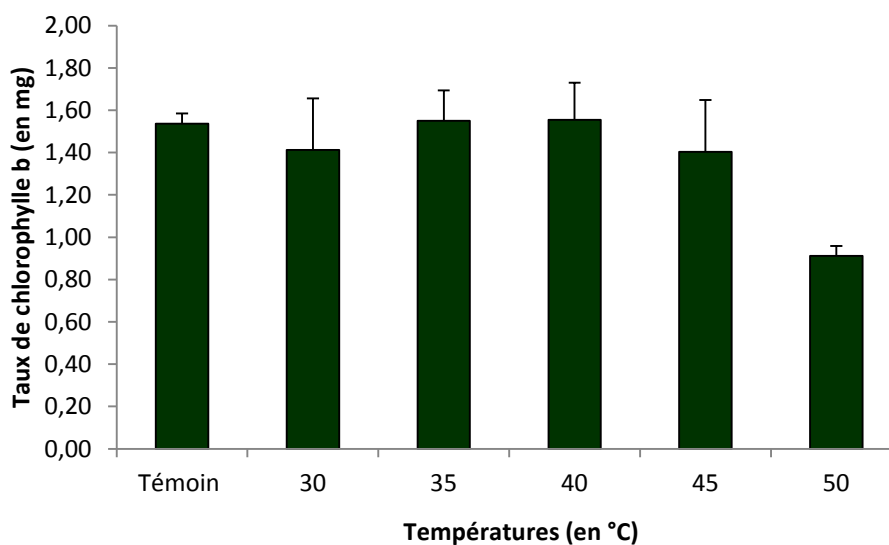
thylakoïdales associé aux chlorophylles a et b et qui est dû soit à une faible synthèse de ces protéines, soit à une activation de leurs dégradation (Loggin *et al.*, 1999).

#### 2.4. 1.2. Chlorophylle (b).

Selon la figure 22, le taux de chlorophylle (b) présente des valeurs maximales pour les témoins (1,54  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  de MS) et les traitements thermiques à 35°C et 45°C (1,55  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  de MS) (tableau 08, figure 22). Pour les températures 30 °C et 45°C, le taux de chlorophylle (b) paraît semblable (1,41  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  de MS et 1,40  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  de MS respectivement). Le taux de chlorophylle (b) diminue considérablement pour le traitement à 50 °C (0,91  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  de MS).

Le classement des traitements thermiques en fonction de la teneur en chlorophylle (b) suit cette séquence :

[Témoin]  $\approx$  35 °C  $\approx$  40 °C > 30 °C  $\approx$  45 °C > 50 °C



**Figure 22** : Taux de la chlorophylle (b) des semis d'ailante.

La variabilité de réponse au stress thermique de la chlorophylle (b) est confirmée par l'analyse de la variance qui a révélé un effet traitement hautement significatif ( $F = 8,258$  ;  $p < 0,001$ ). La comparaison des moyennes à l'aide du test de Newman-Keuls (5 %) fait ressortir deux groupes homogènes. Le premier groupe est formé par le témoin et les

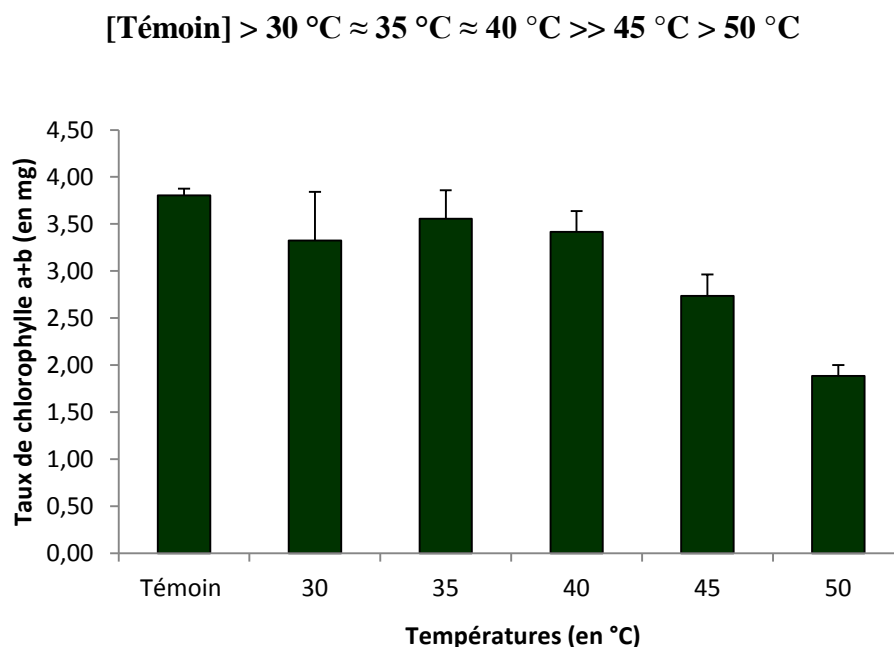
traitements à 30 °C, 35 °C, 40 °C et 45 °C. Le deuxième groupe correspond au traitement à une température de 50 °C.

**Tableau 08** : Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls (Chlorophylle b)

Traitement	Chl b
Témoin, 30 °C, 35 °C, 40 °C, 45 °C	A
50 °C	B

#### 2.4. 1.3. Chlorophylle (a+b)

Selon la figure 23 les teneurs en chlorophylles (a+b) présentent des valeurs maximales chez les témoins, en moyenne de 3,80  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  MS (tableau 09). Pour les températures 30, 35 et 40 °C, les taux en chlorophylles (a+b) semblent être proches (3,33 ; 3,56 et 3,42  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  MS) pour les traitements 30°C, 35°C et 40°C respectivement). Les taux en chlorophylles (a+b) diminuent considérablement à partir du traitement à 45°C pour atteindre une valeur minimale de l'ordre de 1,89  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  MS à la température de 50 °C (fig. 23.). Le classement des traitements thermiques en fonction des teneurs en chlorophylles (a+b) suit cette séquence :



**Figure 23** : Taux de la chlorophylle a+b des semis d'ailante.

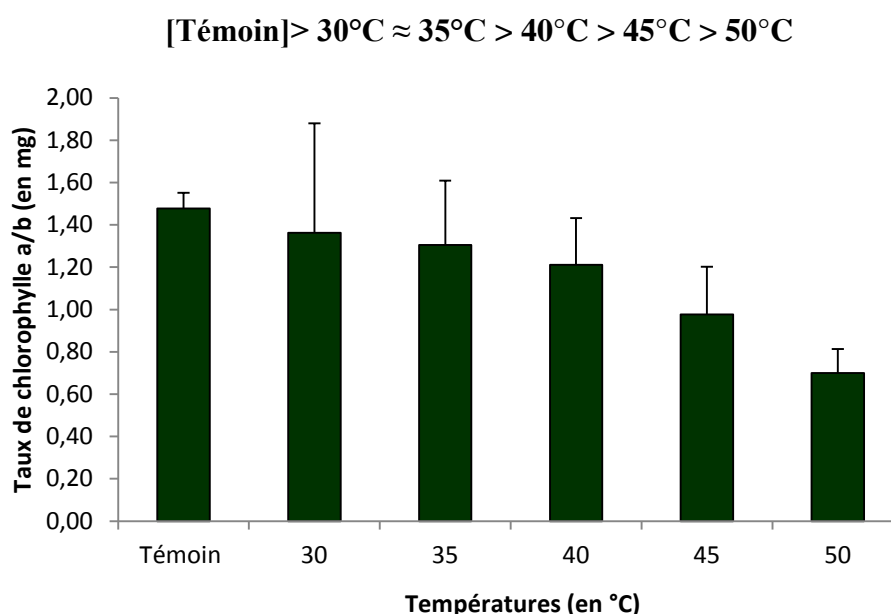
La variabilité de réponse au stress thermique du taux des chlorophylles (a+b) est confirmée par l'analyse de la variance qui a révélé un effet traitement hautement significatif ( $F = 24,695$  ;  $p < 0,001$ ). La comparaison des moyennes à l'aide du test de Newman-Keuls (5%) fait ressortir 3 groupes homogènes. Le premier groupe est formé par le témoin et les traitements à 30 °C, 35 °C et 40 °C, le deuxième est formé le traitement thermique à 45 °C et le troisième par le traitement à 50 °C.

**Tableau 09** : Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls (Chlorophylle a+b)

Traitement	Chl a+b
Témoin, 30°C, 35°C, 40°C	A
45 °C	B
50 °C	C

#### 2.4. 1.4. Chlorophylle (a/b).

Selon la figure 24, le rapport de la chlorophylle (a/b) présente des valeurs maximales chez les témoins, en moyenne de 1,48  $\mu\text{mol}/\text{mg MS}$  (tableau 1). Pour les températures 30°C et 35°C, les rapports semblent être proches (1,36 et 1,30 respectivement) traduisant ainsi une certaine stabilité. Le rapport de la chlorophylle a sur la chlorophylle b (a/b) commence à diminuer à partir du traitement à 40°C pour atteindre une valeur minimale (0,70) à 50°C (fig 24) Le classement des traitements thermiques en fonction du rapport de la chlorophylle (a/b) suit cette séquence :

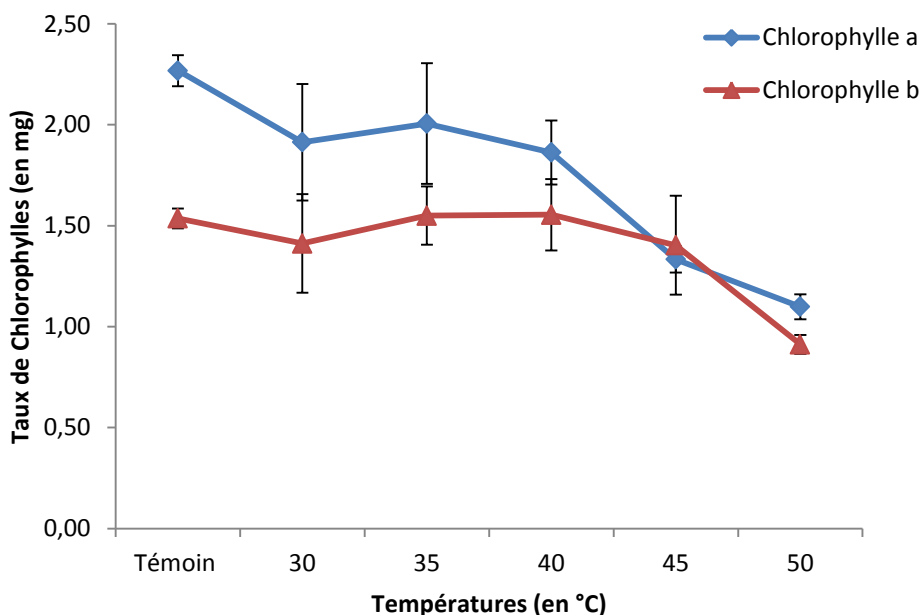


**Figure 24** : Taux de chlorophylle a/b des semis d'ailante.

La variabilité de réponse au stress thermique du rapport de la chlorophylle (a/b) est confirmée par l'analyse de la variance qui a révélé un effet traitement hautement significatif ( $F = 11,843$  ;  $p < 0,001$ ). La comparaison des moyennes à l'aide du test de Newman-Keuls (5%) fait ressortir 4 groupes homogènes. Le premier groupe est formé par le témoin et les traitements à 30°C et 35°C, le deuxième par le traitement à 40°C, le troisième par le traitement à 45°C et le dernier par la traitement à 50°C.

**Tableau 10** : Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls (Chlorophylle a/b)

Traitement	Chl a/b
Témoin, 30 °C, 35 °C	A
40 °C	AB
45 °C	B
50 °C	C

**Figure 25** : Corrélations entre la chlorophylle a et la chlorophylle b

La figure ci-dessus montre qu'il y a prédominance de la chlorophylle (a) par rapport à la chlorophylle (b) ceci d'une part, d'autre part, elle indique une bonne corrélation entre les deux chlorophylles (a et b). Le coefficient de corrélation entre les deux types de chlorophylles est de ( $r = 0,679$  ;  $p < 0,001$ ). En effet, on voit que les courbes relatives aux chlorophylles a et b

varient dans le même sens et peuvent révéler quatre étapes différentes : la première correspond au choc thermique perçu par une diminution à 30°C ; la deuxième est une adaptation de la plante à la contrainte thermique à partir de la température 30°C jusqu'à 40°C ; la troisième est une phase d'équilibre entre les deux chlorophylles à 45°C et la dernière étape correspond à la dégradation totale des pigments chlorophylliens à la température 50°C.

#### 2.4. 2. Variation du taux de proline en fonction des températures.

Les différents résultats du dosage de la proline pour les semis d'ailante à différents niveaux thermiques sont résumés dans le tableau suivant :

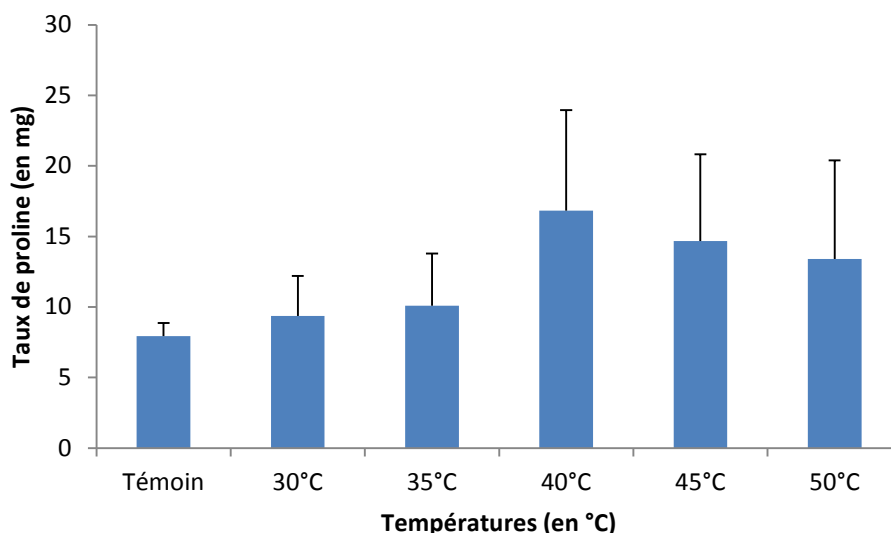
**Tableau 11** : résultats des taux de proline (moyenne  $\pm$  écart-type).

Traitement	Proline ( $\mu\text{mol/mg MS}$ )
<b>Témoin</b>	7,94 $\pm$ 0,92
<b>30 °C</b>	9,37 $\pm$ 2,83
<b>35 °C</b>	10,08 $\pm$ 3,72
<b>40 °C</b>	16,82 $\pm$ 7,13
<b>45 °C</b>	14,67 $\pm$ 6,16
<b>50 °C</b>	13,39 $\pm$ 6,99

L'examen du tableau 11 et de la figure 26 montre que le traitement à 40°C présente le taux de proline le plus élevé (16.82  $\mu\text{mol/mg MS}$ ) alors que le taux le plus faible est enregistré pour les témoins (7.94  $\mu\text{mol/mg MS}$ ). Ce taux semble être stable pour les traitements à 30°C/35°C d'une part et d'autre part entre les traitements à 45°C/50°C. Le classement des traitements thermiques en fonction de la teneur en proline suit cette séquence :

$$40^{\circ}\text{C} > 45^{\circ}\text{C} > 50^{\circ}\text{C} \gg 35^{\circ}\text{C} > 30^{\circ}\text{C} > [\text{Témoin}]$$





**Figure 26** : Taux de la proline selon les traitements.

La variabilité de réponse au stress thermique de la proline est confirmée par l'analyse de la variance qui a révélé un effet traitement hautement significatif ( $F = 5.33$  ;  $p < 0,001$ ). La comparaison des moyennes à l'aide du test de Newman-Keuls (5%) fait ressortir 5 groupes homogènes. Le premier groupe est formé par le témoin, le deuxième regroupe les traitements thermiques à 30°C et 35°C. Les traitements à 35°C, 45°C et 50° se détachent dans des groupes à part.

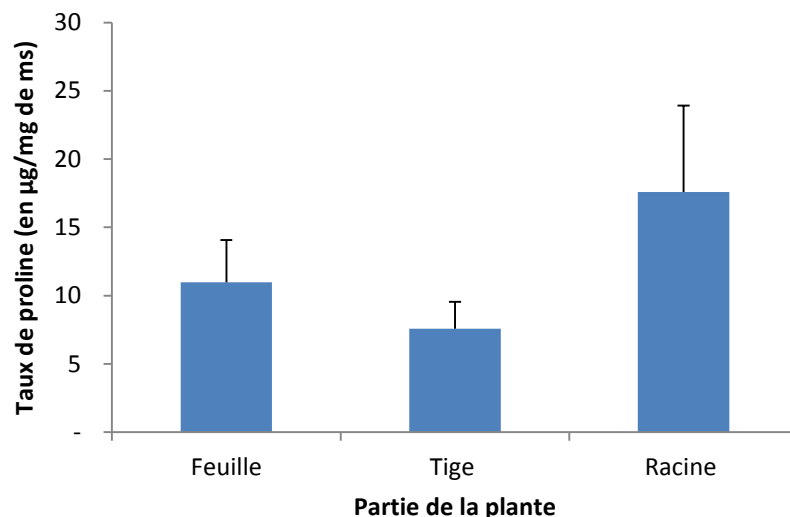
**Tableau 12** : Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls

Traitement	Groupes homogènes
Témoin	A
30 °C, 35 °C	AB
40 °C	C
45 °C	BC
50 °C	ABC

Par ailleurs, il apparaît que les teneurs en proline fluctuent selon l'organe. Les teneurs les plus importantes sont enregistrées dans les racines comparativement aux feuilles et aux tiges (tab 13).

**Tableau 13** : Résultats des taux de proline en fonction des organes (moyenne  $\pm$  écart-type).

Traitement	Proline
<b>Tige</b>	7,58 $\pm$ 3,10
<b>Feuille</b>	10,98 $\pm$ 1,98
<b>Racine</b>	17,58 $\pm$ 6,34

**Figure 27** : Taux de la proline selon les organes.

Cette variabilité de réponse au stress thermique de la proline en fonction de l'organe est confirmée par l'analyse de la variance qui a révélé un effet hautement significatif ( $F = 34,64$  ;  $p < 0,001$ ). La comparaison des moyennes à l'aide du test de Newman-Keuls (5%) fait ressortir 3 groupes homogènes correspondants aux 3 organes de la plante (tab 14).

**Tableau 14** : Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls (taux de proline en fonction des organes)

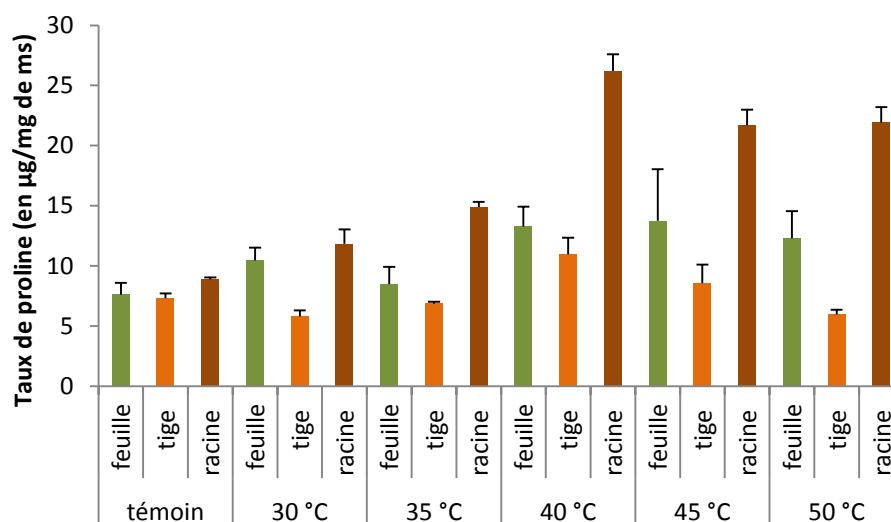
Traitement	Proline
<b>Tige</b>	A
<b>Feuille</b>	B
<b>Racine</b>	C

La variation dans l'accumulation de la proline observée sur les plantes d'*Ailanthus altissima* expérimentées serait due à une compartimentation de l'acide aminé, d'où l'expression de sites de résistance de la plante à la contrainte thermique (Belkhodja et Benkabilia, 2000). En outre, le transport de cet acide aminé de la source (lieu de synthèse) au site de résistance apparaît comme un paramètre important dans l'acquisition de cette résistance (Paquin, 1986).

Une variation dans l'accumulation de la proline en fonction de l'organe et de l'intensité du stress est également observée chez l'espèce expérimentée (tab15). Cette interaction est mise en évidence par l'analyse de la variance qui a révélé des effets traitement, organes et interactions (traitement-organe) hautement significatifs avec ( $F = 265,12$  et  $p < 0,001$  ;  $F = 60,92$  et  $p < 0,001$  ;  $F = 16,95$  et  $p < 0,001$  respectivement).

**Tableau 15** : Interaction traitement thermique-partie de la plante

	Témoin	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C
<b>Feuilles</b>	7,61	10,46	8,48	13,28	13,75	12,29
<b>Tiges</b>	7,31	5,81	6,86	10,97	8,56	5,95
<b>Racines</b>	8,89	11,84	14,91	26,22	21,70	21,93



**Figure 28** : Accumulation de la proline chez les semis d'ailante selon les traitements.

Globalement, la variation des taux de proline traduit dans nos conditions expérimentales une aptitude à la résistance aux températures extrêmes. De nombreux travaux rapportent que la proline s'accumule dans la plante lorsqu'elle se trouve en conditions défavorables (Sivarakrishnan et al., 1988), ce qui traduit le caractère de la résistance aux stress (Greenway and Munns, 1980).

Le rôle attribué à la proline dans la réponse des plantes aux stress, reste parfois controversé pour son accumulation et contribue à l'acquisition de cette résistance grâce à l'ajustement osmotique dont la proline est responsable. Elle pourrait, également, intervenir dans la régulation du pH cytoplasmique ou constituer une réserve de carbone et d'azote réduits, utilisés par la plante postérieurement à la période du stress.

#### 2.4.3. Variation du taux des sucres en fonction des températures et interaction traitements-organes

Les différents résultats du dosage des sucres solubles dans les semis d'ailante soumis à des stress thermiques sont résumés dans le tableau suivant :

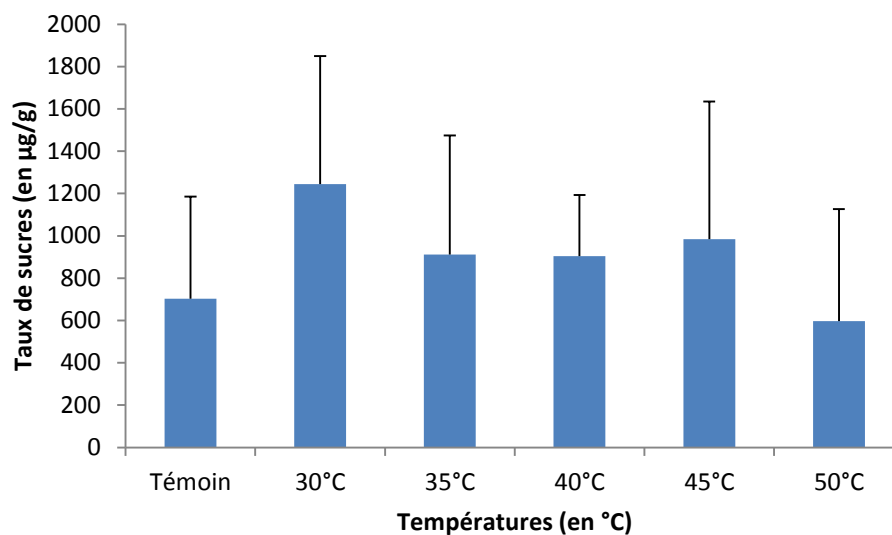
**Tableau 16 :** Taux de sucre des semis d'ailante en fonction des traitements (moyenne  $\pm$  écart-type).

Traitement	Sucre ( $\mu\text{mol}/\text{mg MS}$ )
<b>Témoin</b>	702,88 $\pm$ 482,18
<b>30 °C</b>	1244,68 $\pm$ 604,38
<b>35 °C</b>	911,60 $\pm$ 562,87
<b>40 °C</b>	903,46 $\pm$ 289,65
<b>45 °C</b>	984,64 $\pm$ 650,64
<b>50 °C</b>	596,18 $\pm$ 529,68

Les traitements appliqués montrent des teneurs en sucres supérieures à celles enregistrées pour le témoin (702,88  $\mu\text{mol}/\text{mg MS}$ ) à l'exception du traitement 50°C. L'examen du tableau 16 et de la figure 29 montre que le traitement à 30°C présente le taux de sucre le plus élevé (1244,68  $\mu\text{g}/\text{mg MS}$ ) alors que le taux le plus faible est enregistré pour le traitement 50 °C (596,18  $\mu\text{g}/\text{mg MS}$ ). Ce taux semble être stable pour les températures 35 °C – 40 °C et 45 °C. Cependant, l'analyse de la variance a révélé un effet traitement non significatif ( $F =$

1.629 ;  $p = 0.17$ ). Le classement des traitements thermiques en fonction de la teneur en sucre suit cette séquence :

$$30^{\circ}\text{C} > 45^{\circ}\text{C} > 35^{\circ}\text{C} \approx 40^{\circ}\text{C} > [\text{Témoin}] > 50^{\circ}\text{C}$$

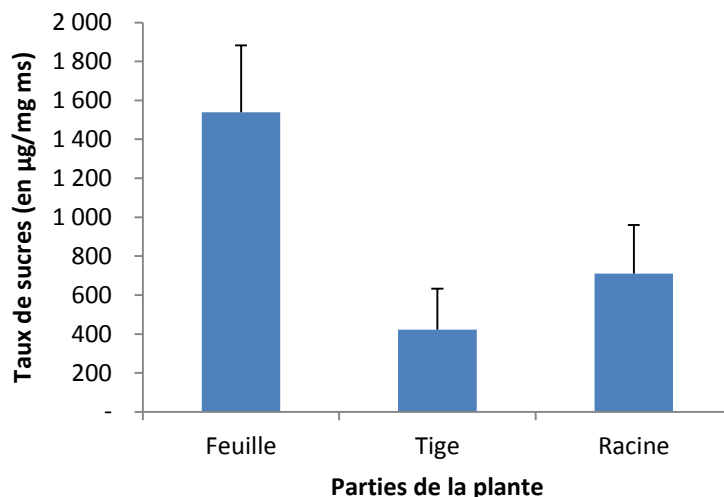


**Figure 29 :** Taux de sucres des semis d'ailante

Par ailleurs, il apparaît que les teneurs en sucres fluctuent selon l'organe. Les teneurs les plus importantes sont enregistrées dans les feuilles (1539,01  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  MS) comparativement aux tiges (422,11  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  MS) et aux racines (710,60  $\mu\text{g}/\text{mg}$  MS) (tab 17).

**Tableau 17 :** Taux des sucres en fonction des organes (moyenne  $\pm$  écart-type).

Traitement	Sucres
Tiges	422,11 $\pm$ 343,96
Racines	710,60 $\pm$ 211,61
Feuilles	1539,01 $\pm$ 249,19



**Figure 30** : Taux de sucres des semis d'ailante selon les organes.

Cette variabilité de réponse au stress thermique des sucres en fonction de l'organe est confirmée par l'analyse de la variance qui a révélé un effet hautement significatif ( $F = 80.61$  ;  $p < 0,001$ ). La comparaison des moyennes à l'aide du test de Newman-Keuls (5%) fait ressortir 3 groupes homogènes correspondants aux 3 organes de la plante (tab 18).

**Tableau 18** : Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls (taux de sucres en fonction des organes)

Organes	Groupes
<b>Tige</b>	A
<b>Racine</b>	B
<b>Feuille</b>	C

Les résultats de l'interaction traitements thermiques-organes montrent qu'il ya une forte interaction ( $F = 6,70$  ;  $p < 0,01$ ) entre les variations en sucres solubles analysés dans les différents organes de plantes *d'Ailanthus altissima* d'une part ( $F = 410,62$  ;  $p < 0,001$ ), et entre les différents traitements thermiques d'autre part ( $F = 31,36$  ;  $p < 0,001$ ). En effet, nous remarquons que les composés glucidiques se concentrent plus dans les feuilles et les racines que dans les tiges aussi bien chez les plantes témoins que celles soumises aux différentes

variations thermiques. Aussi, nous avons enregistré une forte interaction entre le cumul des sucres dans les trois parties de la plante et les différents traitements ( $F = 35,86 ; p < 0,001$ ).

Les teneurs en sucres solubles les plus élevées sont enregistrées au traitement thermique 30 °C et dans les différentes parties de la plante à savoir : feuilles, tiges et racines avec les valeurs respectives de 2016,24  $\mu\text{mol/mg MS}$ , 738,43  $\mu\text{mol/mg MS}$  et 979,36  $\mu\text{mol/mg}$  (Tab 19).

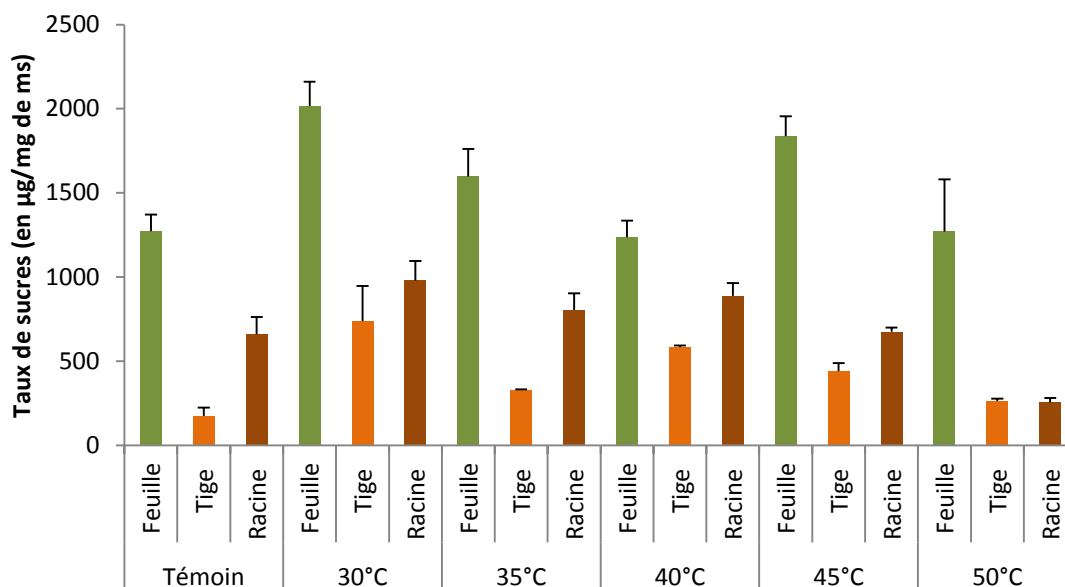
Malgré la diminution des teneurs en sucres solubles relevée au delà de 30°C dans les différents organes de la plante, ces dernières restent supérieures à celles enregistrées sur les plants témoins.

**Tableau 19** : Interactions traitements thermiques-organes

	Témoin	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C
<b>Feuilles</b>	1273,27	2016,24	1598,68	1237,26	<b>1837,17</b>	1271,44
<b>Tiges</b>	176,02	738,43	<b>330,58</b>	584,23	441,22	262,17
<b>Racines</b>	659,34	979,36	805,53	888,89	675,54	254,94

Organes :  $410.62 < 0,001$  \*\*\* ; Traitements thermiques :  $31.36 < 0,001$  \*\*\*

Interaction  $6.70 < 0,001$  \*\*\*



**Figure 31** : Accumulation des sucres chez les semis d’ailante selon les traitements.

# CONCLUSION



# Conclusion

A l'issue de ce travail qui a pour objet l'étude des potentialités des semis d'ailante (*Ailanthus altissima*) vis-à-vis d'un stress thermique pour les hautes températures et la caractérisation physico-chimique de son biotope, il ressort les points suivants :

- ✓ Sur le plan caractérisation physico-chimique du sol, les résultats obtenus montrent que les sols prélevés sont non salins légèrement basique, modérément à fortement calcaires avec des teneurs élevées en calcaire actif, satisfaisantes en matière organique et en azote. Un rapport C/N élevé traduisant des conditions très favorables pour la décomposition de la matière carbonée et des teneurs en éléments traces métalliques très faibles qui reflète le fond géochimique.
- ✓ Les graines de cette espèce témoignent d'une bonne teneur en eau avec un pouvoir de réhydratation satisfaisant et un taux de germination élevé.
- ✓ Pour l'ensemble des résultats concernant les paramètres biochimiques, l'effet de l'intensité du stress thermique est significatif pour toutes les variables analysées.

La réponse biochimique, évaluée à travers le processus d'accumulation de proline et des sucres solubles de l'espèce *Ailanthus altissima* sous stress thermique, a mis en évidence le caractère résistant de cette espèce qui exprime sa capacité à synthétiser et accumuler de la proline et des sucres solubles. L'accumulation de ces composés organiques au niveau des organes (racines pour la proline et feuilles pour les sucres) est un phénomène lié aux régimes thermique et à l'espèce à choisir la stratégie de tolérance vis-à-vis du stress thermique. Toutefois la différence réside au niveau des teneurs des composés de synthèse ainsi qu'au niveau des organes de compartimentation de ces marqueurs biochimiques.

La variabilité des teneurs enregistrées, révèle que les quantités accumulées semblent pouvoir être reliées au niveau de tolérance de l'espèce. De même qu'une forte interaction a été également enregistrée entre les variations des teneurs des osmolytes dans les différents organes de la plante d'une part et les différents traitements d'autre part. Ceci pourrait affirmer que l'ailante est tolérant aux températures élevées.

Pour ce qui est de la chlorophylle, nos résultats montrent une bonne corrélation entre les deux chlorophylles a et b ( $r = 0,679$  ;  $p < 0,001$ ) avec prédominance de la chlorophylle a.

A travers les paramètres dosés, nous pouvons conclure que l'ailante glanduleux manifeste effectivement des traits d'adaptations écologiques et biochimiques en réponse à des fluctuations thermiques qui pourraient aider à son invasion.

# PERSPECTIVES

# Perspectives

Les résultats obtenus dans ce mémoire ont abouti à des conclusions qui ouvrent de multiples pistes et perspectives pour les études futures notamment celles en relation avec :

- **la pollution par les éléments traces métalliques** : A ce propos, il serait intéressant d'approfondir les recherches en prenant différents sites de prélèvements, de doser les métaux dans le sol et les feuilles, de les comparer avec un échantillon de référence et d'identifier l'élément pour qui cet arbre serait tenu comme indicateur de pollution.
- **La biodiversité** : par une analyse de la diversité floristique de l'ailante (*Ailanthus altissima*) et son comportement vis-à-vis des espèces autochtones de la région de Constantine.
- **La biochimie** : en utilisant des procédés et des techniques avancées telles que l'électrophorèse et l'HPLC pour l'identification des types d'osmorégulateurs (sucres, acides aminés). Aussi, il serait intéressant d'étudier sur le plan moléculaire l'herbicide naturel que cette plante renferme qui sera d'un intérêt économique employé dans la lutte biologique contre d'autres espèces.

REFERENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES

## Références bibliographiques

### A

- AFES., 1992.** Référentiel pédologique 1992. Principaux sols d'Europe. Ed. I.N.R.A., 222pp.
- AFNOR., 1994.** Qualité des sols. Environnement. Recueil des normes françaises. Ed., AFNOR. Paris 154p.
- Ahrens M.J. and Ingram D.L., 1988.** Heat tolerance of citrus leaves. *Hort Sci.* 23: 747-748.
- Ait-Kaki Y., 1993.** Contribution à l'étude des mécanismes morphophysologiques de tolérance au stress hydrique sur cinq variétés de blé dur. Thèse de magister (2008). Univ Badji Mokhtar. Annaba.
- Alatou D., 1984.** Facteurs physiologiques de la concurrence interspécifique du chêne liège et du chêne zeen. Thèse de magister (1984). 123p. département de biologie, Université Mentouri, Constantine.
- A.M.E., 2010. (Agence Méditerranéenne de l'environnement).** Plantes envahissantes de la région méditerranéenne. *Ailanthus altissima*, fiche No.2. ; *Buddleja davidii*, fiche No.6. [www.ame-lr.org](http://www.ame-lr.org).
- Arnon D., 1949.** Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant physiology vol. 24 n. 1 p. 1-15.
- Aubert G., 1978.** Méthodes d'analyses des sols. Centre Nationale de Documentation pédagogique, Marseille, 191 pp.

### B

- Bagga A.K. and Rawson H.M., 1977.** Contrasting responses of morphologically similar wheat cultivars to temperatures appropriate to warm temperate climates with hot summers: a study in controlled environment. *Aust. J. Plant Physiol.* 4, 877-887.
- Baize D., 1988.** Guide des analyses courantes en pédologie: choix-expression-présentation-interprétation. Ed. INRA, Paris, 172p.

**Baize D et Jabiol B., 1995.** Guide pour la description des sols. Ed. INRA, Paris, 375 p.

**Ballero M., Ariu A., Falagiani P., Piu G., 2003.** Allergy to *Ailanthus altissima* (tree of heaven) pollen. in Kowarik I. et Saumel I. 2007. Biological flora of Central Europe: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. **8**, 207-237.

**Belkhodja M., Benkabilia M., 2000.** Proline reponse of faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, **78**, **1**, 185-195.

**Bellinger Y., Larher F., 1987.** Proline accumulation in higher plants: a redox buffer.

**Bentellis-Mosbah A., Azzoug R., Rached O., Gharzouli R. et Soltani A., 2003.** Evaluation du niveau de contamination métallique des sols des berges de l'oued Rhumel et étude de son impact sur la végétation riveraine (en amont de la confluence oued-Rhumel-Boumerzoug) (Constantine-Algérie) ». *Sciences et Technologie C*, **20**, 25-38.

**Berge J.A., Varela D. E., et Harrison P. J., 2002.** Effect of temperature on growth rate.

**Bernier A., 1997.** Etude des caractéristiques structurales phosphor. Dépendent de la protéine.

**Bezalla A., 2005.** Essai d'introduction de l'arganier (*Argania spinosa*. L Skeels) dans la zone de M'doukel et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse. Thèse de Magister. Univ. Batna. 115p.

**Blum A., 1988.** Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, pp.223.

## C

**Call L.J., Nilsen E.T., 2003.** Analysis of spatial patterns and spatial association between the invasive Tree-of-Heaven (*Ailanthus altissima*) and the native black locust (*Robinia pseudoacacia*). *Am Midl Nat*, **150**, **1**, 1-14.

**Chaisompongpan N., Li P.H., Davis D.W., Mackhart A.H., 1990.** Photosynthetic responses to heat stress in common bean genotypes differing in heat acclimation potential. *Crop Sci*. **30**, 100-104.

**Come D., 1975.** Aquisition de l'aptitude à germer « germination des semences » gauthier-villards, Paris , 59-70.

**Campredon J., 1952.** Le bois : Matériaux de construction moderne.

**Come D., 1992.** Les végétaux et le froid. Hermann, éditeurdes sciences et des arts, p 78-103.

**Coppenet M. et Juste C., 1979.** Oligoéléments indispensables à la vie des plantes, phénomène de toxicité, pp. 408-415. In Bonneau M et Souchier B., pédologie : constituants et propriétés. T2, Masson, Paris, 459p.

**Cornic C., 2007.** Effet de la température sur la photosynthèse. 42p.

**C.P.S., 2006. (Commission suisse pour la conservation des Plantes Sauvages).** Plantes exotiques envahissantes : une menace pour la nature, la santé et l'économie. Espèce de la liste noire / Espèce de la « Watch List ». [www.cps-skew.ch](http://www.cps-skew.ch).

## D

**Derrick E.K. Darley C.R., 1994.** Contact reaction to the tree of heaven. Contact Dermatitis 30: 178 In Kowarik I., Säumel I. (2007). Biological flora of Central Europe: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, **8**, 207-237.

**Diehl., 1975.** Agriculture générale. 2ème édition. 392p.

**Djebbar M., Bencheikh-Lehocine M., Bakalowicz M. et Meniai A.H., 2004.** Identification hydrogéochimique du karst hydrothermal constantinois (Algérie nord-orientale). *Sciences et Technologie*, **22**, 133-140.

**Drouineau G., 1943.** Méthode rapide d'appréciation du pouvoir chlorosant des sols calcaires. *Ann. Agr.*,1, pp. 16-18p.

**Dubois C., 2001.** Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat en biologie Forestière, Université Henri Poincaré, Nancy I: 54-55.

**Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A and Smith F., 1956.** Colorimetric method for determination of sugar and related substances. Publication. *Anal. Chem.*, **28**, **3**, 350-356.

**Duchaufour P., 1977.** Précis de pédologie, Masson, Paris, pp 415-434.

**Durand J.H., 1983.** Les sols irrigables, Techniques vivantes. Pesse, Univ. France. 339 p

**Duthil J., 1973.** Eléments d'écologie et d'agronomie, T III., Edition J B Baillière, Paris. 656 P

## E

**Eclerc J.C., 1999.** Ecophysiologie végétale. Puublication de l'université Saint Erime. 280p.



**Egeh A.O., Ingram K.T. and Zamora O.B., 1994.** High temperature effects on leaf exchange. *Phil. J. Crop Sci.* **17**, 21-26.

**El-Hadef El-Okki M., 2002.** Evaluation de la pollution métalliques (cadmium, cuivre, plomb, et Zinc) des sols des bords d'oued Rhumel (Constantine) par les Lombriciens. Mémoire Magister en Ecologie et Ecotoxicologie. ISN, Université Mentouri de Constantine, 94 p.

**Encyclopédie libre, 2006.** <http://wikipédia.Org/wiki/chlorophylle>.

## F

**F.A.O., 1968.** Directives pour la description des sols, Rome, 58p.

**Feller U., Crafts-Brandner S., Salvucci M.E., 1998.** Moderately high temperatures inhibit ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco). Activase-mediated activation of Rubisco. *Plant Physiol.*, **116**, 539-546.

**Felker-Quinn E., Bailey J.K., Schweitzer J.A., 2009.** Genetic-based plant-soil feedbacks alter the germination and performance of the invasive species *Ailanthus altissima*, through the soil biota. The 94th ESA Annual Meeting. <http://eco.confex.com/>

**Feret P.P., 1985.** *Ailanthus*: variation, cultivation, and frustration. *J Arboric*, **11**, **12**, 361-368.

**Fry J.C., 2010.** Analysis of floristic diversity of *Ailanthus altissima* Mill. Swingle (tree of heaven) and co-occurring native tree species in North-eastern Maryland. Thèse soumise à l'université du Delaware.USA.

## G

**Gagnard J., Huguet C. et Ryser J.P., 1988.** L'analyse du sol et du végétal dans la conduite de la fertilisation, le contrôle de la qualité des fruits. Secrétariat générale OILB/SROP, Edition-Diffusion ACTA., 87 p.

**Gauvrit C., Cornier B., Chauvet M., 2003.** Le vernis du japon : *ailanthus altissima*(Mill) swingle.Simaroubacées ou bien Toxicodendron vernicifulum (stoks)F.A.Barkley. Synthèse des forums. <http://www.Téla-botanica.Org/site:Parious> bot.

**Graves-william R., 1990.** Stratificationnot requieredfor tree of heaven seed germination. *Tree planters' notes* **41** (2): 10-12.

**Greenway H., Munns R., 1980.** Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol*,**31**, 149-190.

**Guerrin-Manvill M.F.E., 1862.** The ailanthus silkworm and the ailanthus tree. *Technologist; a monthly record of science applied to art, manufacture and culture*, **2**, 336-343.

**Guerrin-Maneville, M. F.E. 1865.** Note sur les qualités du bois de l'ailante. *C.R. de l'ac des sc.*, t. 6r,p. 344. In Campredon J. *Etude des propriétés physique et mécaniques de quelques bois exotiques.* ANN. Forest-T.V.Fasc.2.

**Guessoum A. 2001.** L'effet de l'irrigation sur la salinité du sol dans la région de Saada-Biskra., Thèse ing, Agro, Univ Batna., 50 P.

**Gomez L., Allona I., Ramos A., Nunez P., Ibanez C., and Aragoncillo C., 2005.** Molecular responses to thermal stress in woody plants. *Invest Agrar: Sist. Recur.*

**Gomez-Aparicio L., Canham C.D., 2008.** Neighbourhood analyses of the allelopathic effects of the invasive tree *Ailanthus altissima* in temperate forests. *Journal of Ecology*. **96**, **3**, 447-458.

**Gourgues F., 2006.** Les plantes envahissantes de l'Isère. Conseil Général de l'Isère, Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, Gentiana Société Botanique Dauphinoise.

## H

**Hare P. et Cress W. A., 1998.** Metabolic implication of stress induced proline accumulation in plants. *Plant growth Regul*, **21**, 79-102.

**Hall A.E., 1993.** Breeding for heat tolerance . *Plant breed Res*,**10**, 129-168.

**Hébert J., 1979.** L'azote, 386-p 6394. In Bonneau,M. et Souchier, B., *Pédologie : Constituants et propriétés du sol.* T2, Masson, Paris, 459p.

**Heisey R.M., 1996.** Identification of an allelopathic compound from *Ailanthus altissima* (Simaroubaceae) and Characterization of its herbicidal activity. *Am J Bot*, **83**, **2**, 192-200.

**Heisey R.M., 2010.** Allelopathic effects of *Ailanthus altissima* (tree-of-heaven) seeds and young seedlings. The 95th ESA Annual Meeting. <http://eco.confex.com/>

**Heller R. et Esnault Clance R., 1989. Physiologie végétale. Nutrition. Tom 1. 200p.**

**Hopkins W.G., 2003.** Physiologie végétale. 2éme édition.De Boeck, Bruscelles: 61-476

**Howard J.L., 2004.** *Ailanthus altissima*. In: Fire Effects Information System, US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory (Producer). /<http://www.fs.fed.us/database/feis/S>

## I

**Info Flora., 2012.** Néophyte envahissante: une menace pour la nature, la santé et l'économie  
Espèce de la Liste Noire Ailante, Faux vernis du Japon.

**I.N.R.A.A., 2002.** Acte des quatrièmes journées scientifiques de l'I.N.R.A.A. Alger,  
227p.

**ISO 13878 :** Qualité du sol : Détermination de la teneur totale en azote par combustion  
sèche (analyse élémentaire).

## J

## K

**Kaproth M.A., McGraw J.B., 2008.** Seed Viability and Dispersal of the Wind-Dispersed  
Invasive *Ailanthus altissima* in Aqueous Environments. *Forest Science*. 54, **5**, 490-496.

**Kowarik I., Säumel I., 2007.** Biological flora of Central Europe: *Ailanthus altissima* (Mill.)  
Swingle. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 8, 207-237.

**Kowarik I., Säumel I., 2008.** Water dispersal as an additional pathway to invasions by the  
primarily wind-dispersed tree *Ailanthus altissima*. *Plant Ecology*, 198, **2**, 241-252.

**Kreps J.A., Wu Y.J., Chang H.S., Zhu T., Wang X. and Harper J.F., 2002.** Transcriptome  
changes for *Arabidopsis* in response to salt, osmotic and cold stress. *Plant physiol.*, 130,  
2129-2141.

## L

- Lahmar R. et khalfi N., 2005.** L'effet du froid sur l'accumulation des sucres solubles, proline et chlorophylle chez les semis de chêne liège (*Quercus suber*). Mémoire d'ingénieur d'Etat en écologie et environnement 80p.
- Laszlo A., 1992.** The effects of hyperthermia on mammalian cell structure and function. *Cell prolifer.*, **25**,59, 87.
- Lawrence J.G., Colwell A., Sexton O.J., 1991.** The ecological impact of allelopathy in *Ailanthus altissima* (simaroubaceae). *Am J Bot*, **78**, **7**, 948-958.
- Levitt J., 1980.** Responses of plants to environmental stresses. Vol. 1. Chilling, freezing and high temperature stress. In; physiological ecology series. Academic press, New York, p 497.
- Lewis K.C., 2007.** Control techniques and management implications for the invasive *Ailanthus altissima* (tree of heaven). Thèse soumise à l'université de l'Ohio.
- Lewis K., McCarthy B., 2008.** Nontarget Tree Mortality after Tree-of-Heaven (*Ailanthus altissima*) Injection with Imazapyr. *Northern Journal of Applied Forestry*. **25**, **2**, 66-2.
- Louguet P., 1978.** Les stomates : caractères principaux et mécanismes de leurs mouvements. In : Gauthier-Villard, photosynthèse et production végétale ; 195-219.

## M

- Mac Kinney G., 1941.** Absorption of light by chlorophyll solution. *J. Biol. Chem.* **140**, 315-322.
- Marche-Marchad J. 1972.** Le monde végétal en Afrique intertropicale.
- Mebarki A., 1984.** Ressource en eau et aménagement en Algérie. Le bassin du kébir-Rhumel. O.P.U., Alger. 302p.
- Mebarki A., 2005.** Hydrologie des bassins versants de l'est Algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de doctorat d'état. Université Mentouri-Constantine. 360p.
- Meloche C., Murphy S.D., 2006.** Managing Tree-of-Heaven (*Ailanthus altissima*) in Parks and Protected Areas: A Case Study of Rondeau Provincial Park (Ontario, Canada). *Environmental Management*, **37**, **6**, 764-772.
- Mémento de l'agronome., 1974.** Publication du ministère de la coopération. Collection technique rurale en Afrique, Eyrolles, Paris, 1591p.
- Monneveux P. et Nemmar M., 1986.** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.): Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie* **6**, 583-590

**Motard, E. Muratet.A., 2011.** Does the invasive species *Ailanthus altissima* threaten floristic diversity of temperate peri-urban forests? *Compte rendu Biologie*, 334, p872-879.

**Mougou A., 1984.** Evaluation de la résistance à la sécheresse par des paramètres morphologiques, écophysologiques et biochimiques chez plusieurs espèces de tomates. Thèse de l'université de l'Etat à Gaud, 208p.

**Muller S., 2004.** Plantes invasives de France, publication scientifique du Muséum-Paris.

## N

**Nouri H., 2002.** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum*) en conditions de déficience hydrique. Thèse magistère en biologie végétale.

**Nover L. Hellmend D. Neumann D. Sharf K. Serfling E., 1991.** Heat shock response of eukaryotic cells. Veb Georg Thieme Leipzig, New York.

## O

**O.G.E. (Office de Génie Ecologique), 2012.** Etude sur les plantes exotiques envahissantes sur des espaces sensibles naturels en Essonne. Cartographie et préconisation de gestion.

**Orcutt D. and Nilsen T., 2000.** The physiology of plants under stress. New York, John Wiley and sons, Inc.

**Ouahrani G. et Gheribi-Aoulmi Z., 2007.** Apport des lombriciens à l'estimation des éléments traces (Cd, Cu, Pb et Zn) des sols bordant l'oued Rhumel (Constantine). *Ecologia mediterranea*- 33, 12, 73-84.

**Oukarroum A., 2007.** Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse doctorat. Université de Genève.

**Ozturk N., Talame V., Deyholos M., Michalowski C., Galbraith D., Gozukirmizi N., Tuberosa R. and Bohnert H., 2002.** Monitoring large scale changes in transcript abundance in drought- salt- stressed barley. *Plant molecular biology*, 48, 551 -573.

## P

**Paquin R., 1986.** Effet de l'humidité du sol sur la teneur de la proline libre et des sucres totaux de la luzerne endurecie au froid et à la sécheresse. Can. Journal Plant Science, 66, 95-101.

**P.C.A., 2009. (Plant Conservation Alliance's-Alien Plant Working Group).** Weeds Gone Wild: Alien Plant Invaders of Natural Areas - Fact sheet: tree of heaven. <http://www.nps.gov/plants/alien/>

**Plasss W.T., 1975.** an evaluation of trees and shrubs for planting surface-mine spoils. RES.Pap.NE-317. U.S.D.A.For.Serv.,Upper.Derby,PA. 8pp.

**Pousset J., 2002.** Engrais vert et fertilité des sols, éd.Agridécision, paris.

## Q

## R

**René H., 1977.** Physiologie végétale. NUTRITION. Paris.

**Rodriguez-Gamir J., Primo-Millo E., Forner J.B., Forner-Giner M.A., 2010.** Citrus rootstock responses to water stress. Scientia Horticulturae 126. pp: 95– 102. In Journal of Applied Biosciences. 2013. 71,5692-5704

**Roeder V., 2006.** Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune *Laminaria digitata*. Thèse. Doc. Univ. Pierre et marie curie (Paris VI) 264p.

**Ruellan A., 1999.** The main rules of soil distribution in the Mediterranean world. In:Bech,j. Extended Abstracts volume, pp.31-32.

## S

**Scott G.R., McCarthy B.C., 2008.** Tree-of-heaven, *Ailanthus altissima* (P. Mill. [Swingle]), and its effects on vegetation and soils of southern Ohio mixed-oak forests. The 93rd ESA Annual Meeting. <http://eco.confex.com/>

**Sivarakrishnan S., Pattel V., Flower G., Peacock J., 1988.** Proline accumulation and nitrate reductase activity in contrasting sorghum lines during mid season drought stress. Plant Physiol, 74, 418-426.

**Sung D. Y., Kaplan F., Lee K. J. and Guy C. L., 2003.** Acquired tolerance to temperature extremes. *Trends in plant science*, 8, 179-187.

## T

**Tessier A.O., Campbell P.G.C. et Bisson M., 1982.** Particulate trace metal speciation in stream sediments and relationships with grain size: Implications for geochemical exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 16, 77-104.

**Tezara W., Mitchel V., Driscul S.P., Lawlor D.W., 2002.** Effects of water deficit and its interaction with CO<sub>2</sub> supply on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower, *Exp. Bot.* 53. pp: 1781-1791. In *Journal of Applied Biosciences*. 2013. 71, 5692-5704.

**Treep L., 1975.** Le choix des espèces en Algérie. Rapport 195p

**Troll W. et Lindsley J., 1955.** A photometric methods for the determination of proline. *J. Biol.Chem.*, 215, 655-660.

## U

**UNEP., 1994.** Application de la décision 1/19 de la première réunion de la conférence des parties sur les directives techniques pour la gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux visés par la convention de Bale. Rapport de secrétariat, 215 p.

## V

**Van wesemael B., 2006.** Les teneurs en matière organique dans les sols en région Wallonne. Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement Wallon.

## W

**Wang W., Vinocur B. and Altman A., 2003.** Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance *Planta*, 218, 1-14.

**X**

**Y**

**Z**

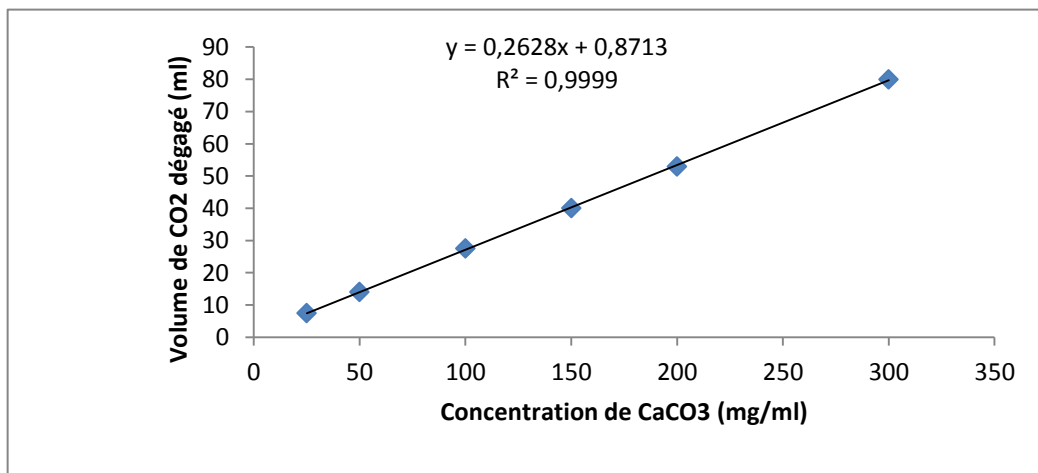
**Zambettakis C., 2010. Les plantes invasives en Basse-Normandie.** Fiche rédigée par le conservatoire botanique national de Brest.



# ANNEXES

# Annexe 1

## Courbe d'étalonnage du calcaire total.



## Annexe 2

### Principales espèces végétales invasives en France métropolitaine

Espèce	Famille	Origine
Ambroisie à feuilles d'armoise - <i>Ambrosia artemidiifolia</i>	Asteraceae	Amérique du nord
Arbre aux papillons - <i>Buddleja davidii</i>	Buddlejaceae	Chine
Asters américains - <i>Aster lanceolatus</i> – <i>A. no-+vi-belgii</i>	Asteraceae	Amérique du nord
Azolla fausse fougère - <i>Azolla filiculoides</i>	Azollaceae	Amérique tropicale et tempérée
Balsamine à petite fleurs - <i>Impatiens parviflora</i>	Balsaminaceae	Asie centrale
Balsamine géante - <i>Impatiens glandulifera</i>	Balsaminaceae	Himalaya
Berce du Caucase - <i>Heracleum mantegazzianum</i>	Apiaceae	Caucase
Bident à fruits noirs - <i>Bidens frondosa</i>	Asteraceae	Amérique du nord
Caulerpes - <i>Caulerpa taxifolia</i> – <i>C. racemosa</i>	Caulerpaceae	Mers tropicales
Cerisier tardif - <i>Prunus serotina</i>	Rosaceae	Amérique du nord
Chiendent d'eau - <i>Paspalum distichum</i>	Poaceae	Amérique tropicale
Egéria - <i>Egeria densa</i>	Hydrocharitaceae	Amérique du sud
Elodées - <i>Elodea canadensis</i> – <i>E. nuttallii</i> – <i>E. callitrichoides</i>	Hydrocharitaceae	Continent américain
Erable negundo - <i>Acer negundo</i>	Aceraceae	Amérique du nord
Faux indigo - <i>Amorpha fruticosa</i>	Fabaceae	Amérique du nord
<b>Faux vernis du Japon - <i>Ailanthus altissima</i></b>	Simaroubaceae	Chine

Griffes de sorcière - <i>Carpobrotus sp.</i>	Aizoaceae	Afrique du sud
Herbe de la pampa - <i>Cortaderia selloana</i>	Poaceae	Amérique du sud
Jussies - <i>Ludwigia peploides</i> – <i>L. grandiflora</i>	Onagraceae	Amérique du nord et du sud
Lagarosiphon - <i>Lagarosiphon major</i>	Hydrocharitaceae	Afrique du sud
Lentille d'eau minuscule - <i>Lemna minuta</i>	Lemnaceae	Amérique tropicale
Lentille d'eau rouge - <i>Lemna turionifera</i>	Lemnaceae	Amérique du nord
Mimosa - <i>Acacia dealbata</i>	Fabaceae	Australie – Tasmanie
Myriophylle du Brésil - <i>Myriophyllum aquaticum</i>	Haloragaceae	Amérique du sud
Paspale dilaté - <i>Paspalum dilatatum</i>	Poaceae	Amérique du sud
Renouées - <i>Fallopia japonica</i> – <i>F. sachalinensis</i>	Polygonaceae	Japon - Asie orientale
Rhododendron pontique - <i>Rhododendron ponticum</i>	Ericaceae	Balkans et Turquie
Robinier faux-acacia - <i>Robinia pseudoacacia</i>	Fabaceae	Amérique du nord
Rudbéckie laciniée - <i>Rudbeckia laciniata</i>	Asteraceae	Amérique du nord
Sénéçon en arbre - <i>Baccharis halimifolia</i>	Asteraceae	Amérique du nord
Sénéçon du cap - <i>Senecio inaequidens</i>	Asteraceae	Afrique du sud
Solidages - <i>Solidago canadensis</i> – <i>S. gigantea</i>	Asteraceae	Amérique du nord
Spartine de Townsend - <i>Spartina townsendii</i>	Poaceae	Espèce hybride
Topinambour - <i>Helianthus tuberosus</i>	Asteraceae	Amérique du nord

<b>Nom :</b> SOLTANI-AMRI	<b>Date de soutenance :</b> / /2014
<b>Prénom :</b> AMEL	
<b>N° d'ordre :</b> <b>N° Série :</b>	
<b>Titre :</b>  Ecologie de l'ailante glanduleux ( <i>Ailanthus altissima</i> ) dans la région de Constantine	
<b>Résumé :</b>  Les invasions biologiques sont un objet de préoccupation d'actualité au même titre que les changements climatiques. En effet, elles peuvent être considérées comme une manipulation expérimentale de la biodiversité à très grande échelle et utilisées pour tester des hypothèses fondamentales en écologie. En particulier, elles permettent d'examiner l'altération du fonctionnement des écosystèmes par la modification de l'assemblage des espèces. Ce travail a pour objet de déterminer les capacités d'adaptation de l'ailante glanduleux dans la région de Constantine, à la variabilité thermique à l'aide des marqueurs biochimiques (chlorophylle, sucres et proline) et l'appréciation de son caractère écologique par la caractérisation physico-chimique du sol.  Les semis élevés en conditions semi contrôlées subissent des stress de courte durée (03 heures) à une gamme de température variant de 30°C à 50°C et au cours desquelles sont quantifiés les paramètres biochimiques (chlorophylle, sucres et proline). Les résultats montrent que les semis d'ailante sont aptes à accumuler les différents osmolytes comme la proline et les sucres dans les différents organes en réponse au stress thermique et que les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des racines pour la proline et au niveau des feuilles pour les sucres traduisant ainsi la capacité de résistance de cette espèce à la contrainte. La caractérisation physico-chimique du milieu révèle un rapport C/N élevé traduisant des conditions très favorables pour la décomposition de la matière carbonée et des teneurs en éléments traces métalliques très faibles qui reflètent le fond géochimique. Ainsi, l'espèce étudiée montre une bonne aptitude à se développer dans le site d'étude.	
<b>Mots clés :</b> stress thermique, marqueurs biochimiques, chlorophylle, sucres, proline, <i>Ailanthus altissima</i> , Facteurs édaphique.	
<b>Laboratoire de développement et valorisation des ressources phytogénétiques</b> <b>Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie</b> <b>Université Constantine 1</b>	
<b>Présenté devant le jury :</b>  <b>Président :</b> Mr. Chaabane Rahmoune. Professeur. Université Constantine 1 <b>Rapporteur :</b> Mr. Djamel Alatou. Professeur. Université Constantine 1 <b>Examineurs :</b> Mr. Med el habib Benderradji Professeur. Université Constantine 1 Mr. Mostefa Benlaribi Professeur. Université Constantine 1	

