

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET ECOLOGIE

N° de série.....

N° d'ordre.....

*Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de  
Magistère en Ecologie et Environnement*

**Option**  
*Ecologie végétale*

## **THEME**

**Limites thermiques et adaptation de Pin  
Pignon dans la région de Constantine**

Présenté par :

M<sup>elle</sup> LEHOUT Amel

Devant la commission d'examen :

Président : Pr BENDERRADJI M<sup>ed</sup> El Habib

Rapporteur : Pr ALATOU Djamel

Examineur : Pr TAHAR Ali

Annaba

Examineur : Pr RAHMOUNE Chaâbane

Université Mentouri Constantine

Université Mentouri Constantine

Université Badji Mokhtar

Université Mentouri Constantine

Juin 2008

## *Remerciement*

*Au terme de ce travail, je remercie avant tout Dieu le tout puissant qui a éclairé mon chemin tout au long de mes études.*

*Avant d'aborder mon sujet, qu'il me soit permis de remercier toutes les personnes qui, à des degrés divers, ont contribué à la mise à jour de ce mémoire:*

*Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Monsieur Alatou Djamel, professeur à l'université de Constantine, qui par ses nombreuses qualités, m'a formé à la recherche, encadré dans la bonne humeur et soutenu tout au long de ce travail. Qu'elles sont passées vite ces années sous ta direction dans un contexte de respect, d'écoute et d'échange. Je te remercie également pour la confiance que tu as su me témoigner et pour l'autonomie que tu m'as accordée. Je salue encore ta rigueur scientifique ainsi que tes grandes valeurs humaines.*

*Je tiens également à remercier Monsieur Bendearradji M. E. H., Professeur à l'Université de Constantine, qui a accepté de présider le jury. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.*

*Un grand remerciement à Monsieur Tahar Ali, professeur à l'université Badji Mokhtar, Annaba pour leur amabilité et leur disponibilité à répondre aux problèmes statistiques rencontrés d'une part, et d'autre part, pour avoir accepté d'être examinateur de ce travail.*

*Monsieur Rahmoune Chaabane, Professeur à l'Université de Constantine. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde gratitude pour avoir accepté d'examiner ce travail. Je vous prie de croire à ma respectueuse considération.*

*Monsieur MEGOURA R, chef de la circonscription des forêts d'El Khroub, qui a bien voulu mettre à ma disposition tous les moyens matériels disponibles au niveau de l'administration, notamment le véhicule de service pour mes déplacements sur terrain.*

*Un grand remerciement à mon oncle Mr LEHOU7 Bouzid pour son aide précieuse et sa disponibilité.*

*Je ne saurais non plus passer sous silence la contribution de Mme Kanouni Malika, M<sup>elle</sup> Lila sahli, M<sup>elle</sup> Chaib Rania, Mr Merniz Nourdine et tous les autres dont les noms m'échappent au moment d'écrire ces lignes. Leurs réponses à mes nombreuses questions et leur disponibilité m'ont permis de résoudre plus de problèmes que je n'aurais jamais osé imaginer.*

*Je remercie tout le personnel de laboratoire de Biochimie pour leur gentillesse et leur disponibilité, et particulièrement Mr Amar et je n'oublie jamais Mr Zogmar de laboratoire de chimie.*

*Je n'oublie pas non plus ma plus chère amie qui m'a accompagnée durant toutes ces années, Djihane. Je voudrais simplement leur dire que je l'aime de tout mon coeur. À toute sa famille particulièrement Mr Zekri Riad, et Zekri salima.*

*Je souhaiterai enfin finir par une pensée envers mes proches, pour leur soutien tout le long de mes études, bien sûr mon cher papa pour le soutien morale et l'aide précieuse jusqu'à la fin de ce travail, ma plus cher mère mes frères et sœurs, ma nièce Wissal et toute ma famille.*

# Sommaire

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Introduction .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>Partie I. Synthèse Bibliographique</b>   |           |
| <b>Chapitre 1. Données générales sur le Pin pignon.....</b>                       | <b>3</b>  |
| <b>1. 1. Air de répartition naturelle.....</b>                                    | <b>3</b>  |
| <b>1.2. Air d'introduction.....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>1.3. Caractères botaniques .....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>1.4. Eléments d'autécologie.....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>1.4.1. Exigence altitudinale.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>1.4.2. Exigences climatiques .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>1.4.6. Utilisations.....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>1.5. Facteurs de Dépérissement et de Mortalité de genre <i>Pinus</i>.....</b>  | <b>9</b>  |
| <br>  |           |
| <b>Chapitre 2. Le stress</b>  | <b>11</b> |
| <b>2.1. Définition.....</b>   | <b>11</b> |
| <b>2.2 Effet de l'intensité et la durée du stress.....</b>                        | <b>11</b> |
| <b>2.3 Transmission et perception du signale de stress chez les végétaux.....</b> | <b>12</b> |
| <b>2.3.1. Perception.....</b>   | <b>13</b> |
| <b>2.3.2. Transmission .....</b>  | <b>13</b> |
| <b>2.3.2.1. Le calcium.....</b>   | <b>13</b> |
| <b>2.3.2.2. Les MAPK .....</b>  | <b>14</b> |
| <b>2.3.2.3. Phosphorylations de protéines.....</b>                                | <b>15</b> |
| <b>2.4. La réponse des végétaux aux stress. ....</b>                              | <b>16</b> |
| <b>2.4.1. Transformation des parois cellulaire.....</b>                           | <b>16</b> |
| <b>2.4.2. Métabolisme secondaire.....</b>   | <b>17</b> |
| <b>2.4.2.1. La proline.....</b>   | <b>17</b> |
| <b>2.4.2.2. Les sucres.....</b>   | <b>18</b> |

|   |    |
|---|----|
| 2.4.2.3. Les protéines Heat shock.....                          | 19 |
| 2.4.2.4. Les groupes des HSP chez les végétaux.....             | 21 |
| 2.4.2.4. 1. Les protéines de la famille HSP-100.....            | 21 |
| 2.4.2.4. 2. Les protéines de la famille HSP-90 .....            | 21 |
| 2.4.2.4. 3. Les protéines de la famille HSP-70.....             | 22 |
| 2.4.2.4. 5. Les protéines de la famille HSP-60.....             | 22 |
| 2.4.2.4. 6. La famille des protéines de petit poids moléculaire | 23 |
| 2.4.2.4. 7 Rôle des HSP.....                                    | 23 |
| 2.5. Le stress thermique.....                                   | 25 |
| 2.5.1. Le stress thermique par les hautes températures.....     | 26 |
| 2.5.2. L'adaptation des plantes aux températures chaudes.....   | 26 |
| 2.5.3. Effet des hautes températures sur les végétaux.....      | 26 |
| 2.5.3.1 la photosynthèse.....                                   | 26 |
| 2.5.3.2 La respiration.....                                     | 27 |
| 2.5.3.3 La croissance.....                                      | 28 |
| 2.5.3.4 Les mécanismes de tolérance à la chaleur.....           | 29 |
| 2.5.3.5. Les processus biochimiques.....                        | 29 |
| 2.5.3.6 Membranes cellulaires.....                              | 30 |
| 2.5.3.7. Adaptation morphologique aux hautes températures.....  | 30 |
| 2.6. Le stress thermique par les basses températures.....       | 31 |
| 2.6.1. L'endurcissement.....                                    | 31 |
| 2.6.2. L'effet du froid sur les membranes.....                  | 32 |
| 2.6.3. Effet des basses températures sur la photosynthèse.....  | 32 |
| 2.6.4. Les changements métaboliques.....                        | 32 |

|  |    |
|--|----|
| 2.6.4.1. Synthèse des protéines LEA..... | 33 |
| 2.6.4.2. Synthèse des sucres .....       | 33 |
| 2.6.4.3. Expression génétique.....       | 33 |

## Partie 2. présentation de la zone d'étude et matériels et méthodes

|  |    |
|--|----|
| Chapitre 1. Présentation de la zone d'étude. ....                              | 35 |
| 1.1. Situation géographique .....  | 35 |
| 1.1.1. La région de Djebel Ouahch (Kef El Akhel) .....                         | 35 |
| 1.1.2. Topographie et géologie .....   | 35 |
| 1.1.3. Géomorphologie.....   | 35 |
| 1.1.4. Pédologie.....  | 36 |
| 1.1.5. Étude climatique .....  | 36 |
| 1.1.5.1 Conditions climatiques de la région étudiée .....                      | 37 |
| 1.1.5.2 Paramètres climatiques .....   | 37 |
| 1.1.5.2.1 Pluviométrie.....  | 37 |
| 1.1.5.2.1.2 Répartition mensuelle des précipitations .....                     | 37 |
| 1.1.5.2.1.3. Répartition saisonnière des précipitations. ....                  | 38 |
| 1.1.5.2.1.4. Fréquence saisonnière .....                                       | 40 |
| 1.1.5.4.2 Température .....  | 41 |
| 1.1.5.4.2.1 Le régime thermique. ....  | 41 |
| 1.1.5.4.3 Synthèse Bioclimatique .....   | 42 |
| 1.1.5.4.3.1 Diagramme ombrothermique .....                                     | 42 |
| 1.1.5.4.3.2 Détermination de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte.....   | 43 |
| 1.1.5.4.3.3 Indice de De Martone.....  | 44 |
| 1.1.5.4.3.4 Quotient pluviothermique et étages bioclimatiques d'Emberger ..... | 44 |
| 1.1.5.4.4 Autres facteurs climatiques .....                                    | 48 |
| 1.1.5.4.4.1 Humidité atmosphérique.....  | 48 |

|  |           |
|--|-----------|
| 1.1.5.4.4.2 Les vents.....                                       | 48        |
| 1.1.5.4.5 Conclusion .....                                       | 49        |
| <br>   |           |
| <b>Chapitre 2 Matériels et méthodes .....</b>                    | <b>50</b> |
| <b>2.1. Introduction .....</b>                                   | <b>50</b> |
| <b>2.2. Matériel végétal .....</b>                               | <b>50</b> |
| <b>2.3. Traitements appliqués .....</b>                          | <b>50</b> |
| <b>2.4. Paramètres morphologiques .....</b>                      | <b>51</b> |
| <b>2.4.1 La croissance en longueur.....</b>                      | <b>51</b> |
| <b>2.4.2 La croissance pondérale .....</b>                       | <b>51</b> |
| <b>2.4.3 Rapport partie aérienne et partie souterraine .....</b> | <b>51</b> |
| <b>2.5. Paramètres physiologiques .....</b>                      | <b>51</b> |
| <br>   |           |
| <b>2.5.1 Mesure du taux de chlorophylle.....</b>                 | <b>51</b> |
| <br>   |           |
| <b>2.5.2 Dosage de la proline.....</b>                           | <b>52</b> |
| <b>2.5.3 Dosage des sucres .....</b>                             | <b>52</b> |
| <b>2.5.4. Dosage des protéines</b>                               |           |
| <b>2.5.4.1. Mode opératoire.....</b>                             | <b>53</b> |
| <b>2.5.4.1.1 Extraction .....</b>                                | <b>53</b> |
| <b>2.5.4.1. 2 Dosage colorimétrique .....</b>                    | <b>53</b> |
| <b>2.6 Quantification de l'ADN et de l'ARN. ....</b>             | <b>53</b> |
| <b>2.6.1. Extraction .....</b>                                   | <b>55</b> |
| <b>2.6.2. Dosage de l'ADN.....</b>                               | <b>55</b> |
| <b>2.6.3. Dosage de l'ARN.....</b>                               | <b>55</b> |
| <b>2.7 Analyse statistique.....</b>                              | <b>56</b> |

## **Partie 3. Résultats et discussion**

### **Chapitre 1. Stress Aux Températures Extrêmes**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1.1. Les basses températures.....</b>               | <b>60</b> |
| <b>1.1.1. La proline .....</b>                         | <b>61</b> |
| <b>1.1.2. Les sucres.....</b>                          | <b>62</b> |
| <b>1.1.3. Chlorophylle .....</b>                       | <b>63</b> |
| <b>1.1.3.1. Chlorophylle a et chlorophylle b .....</b> | <b>63</b> |
| <b>1.1.1.2. Chlorophylles (a/b) .....</b>              | <b>65</b> |
| <b>1.2. Les hautes températures. ....</b>              | <b>67</b> |
| <b>1.2.1 La proline.....</b>                           | <b>68</b> |
| <b>1.2.2. Les sucres.....</b>                          | <b>69</b> |
| <b>1.2.3 Chlorophylle.....</b>                         | <b>70</b> |
| <b>1.2.3.1. Chlorophylle a et chlorophylle b.....</b>  | <b>70</b> |
| <b>1.2.3.2. Rapport chlorophyllien (a/b) .....</b>     | <b>72</b> |

### **Chapitre 2. Traitements des températures tri horaires pour l'année 2007**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>2.1. Traitements des durées et des fréquences des températures des périodes<br/>fraîches et chaudes.....</b> | <b>74</b> |
| <b>2.2. Les tendances thermiques des saisons.....</b>   | <b>76</b> |
| <b>2.3 Amplitude thermique mensuelle de l'année 2007. ....</b>  | <b>77</b> |
| <b>2.4. Les différents stress observés durant l'année 2007.....</b>   | <b>80</b> |
| <b>2.4.1. La saison estivale.....</b>   | <b>80</b> |
| <b>2.4.2. La saison hivernale.....</b>  | <b>82</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Chapitre 3. Les paramètres morphologiques.....</b> | <b>84</b> |
|---|-----------|



|  |           |
|--|-----------|
| <b>3 Effet des variations thermiques saisonnières sur les paramètres biométriques des semis de pin pignon.....</b> | <b>84</b> |
| <b>3.1 Longueur de la partie aérienne.....</b>   | <b>85</b> |
| <b>3.2 Longueur de la partie racinaire .....</b>   | <b>86</b> |
| <b>3.3 Rapport longueur partie souterraine/longueur partie aérienne .....</b>                                      | <b>87</b> |
| <b>3.4 Poids frais de la partie aérienne.....</b>  | <b>88</b> |
| <b>3.5 Poids sec de la partie aérienne.....</b>  | <b>89</b> |
| <b>3.6 Poids frais de la partie souterraine .....</b>  | <b>90</b> |
| <b>3.7 Poids sec de la partie racinaire.....</b>   | <b>91</b> |
| <b>3.8 Rapport de biomasse.....</b>  | <b>92</b> |
| <b>3.9. Taux de mortalité. ....</b>  | <b>92</b> |
| <b>3.10 Discussion.....</b>  | <b>93</b> |

#### **Chapitre 4. Les paramètres physiologiques**

|   |            |
|---|------------|
| <b>4.1. Conséquences des fluctuations thermiques sur les teneurs en proline totales</b>                                     | <b>98</b>  |
| <b>4.1.1. Conséquences des fluctuations thermiques saisonnières sur les teneurs totales en proline .....</b>                | <b>98</b>  |
| <b>4.1.1.1. La saison hivernale .....</b>   | <b>98</b>  |
| <b>4.1.1.2. La saison printanière.....</b>  | <b>99</b>  |
| <b>4.1.1.3. La saison estivale.....</b>   | <b>100</b> |
| <b>4.1.1.4. La saison automnale.....</b>  | <b>101</b> |
| <b>4.1.2. Conséquences des fluctuations thermiques inter saisonnière sur les teneurs en proline .....</b>                   | <b>102</b> |
| <b>4.1.3. Conséquences des fluctuations thermiques inter mensuelles pour chaque saisons sur les teneurs en proline.....</b> | <b>103</b> |
| <b>3.1.3.1. La saison hivernale .....</b>   | <b>103</b> |
| <b>4.1.3.2. La saison printanière.....</b>  | <b>104</b> |
| <b>4.1.3.3. La saison estivale.....</b>   | <b>105</b> |

|   |     |
|---|-----|
| 4.1.3. 4. La saison automnale.....  | 105 |
| 4.1.4. Variation mensuelle globale des teneurs en proline entre les organes .....                           | 106 |
| 4.2.1. Conséquences des fluctuations thermiques saisonnières sur les teneurs en sucres solubles.....        | 107 |
| 4.2.1.1. La saison hivernale .....  | 108 |
| 4.2.1.2. La saison printanière.....   | 108 |
| 4.2.1.3. La saison estivale.....  | 109 |
| 4.2.1.4. La saison automnale.....   | 110 |
| 4.2.2. Conséquences des fluctuations thermiques inter saisonnière sur les teneurs en sucres solubles .....  | 110 |
| 4.2.3. Conséquences des fluctuations thermiques inter saisonnière sur les teneurs en sucre soluble .....    | 111 |
| 4.2.3.1 La saison hivernale .....   | 111 |
| 4.2.3.2 La saison printanière .....   | 112 |
| 4.2.3.3 La saison estivale .....  | 113 |
| 4.2.3.4 La saison automnale .....   | 113 |
| 4.2.4. Variation mensuelle globale des teneurs en sucres solubles entre les organes .....                   | 114 |
| 4.3. Conséquences des fluctuations thermiques sur les teneurs en protéines totales .....                    | 116 |
| 4.3.1. Conséquences des fluctuations thermiques de chaque saison sur les teneurs en protéines totales.....  | 116 |
| 4.3.1.1 La saison hivernale .....   | 117 |
| 4.3.1.2 La saison printanière.....  | 117 |
| 4.3.1.3 La saison estivale .....  | 119 |
| 4.3.1.4 La saison automnale .....   | 120 |
| 4.3.2 Conséquences des fluctuations thermiques inter saisonnière sur les teneurs en protéines totales ..... | 121 |
| 4.3.3 Effet des variations thermiques saisonnières sur les teneurs en protéines                             |     |

|  |            |
|--|------------|
| <b>totales .....</b>   | <b>121</b> |
| <b>4.3.3.1 La saison hivernale .....</b>   | <b>122</b> |
| <b>4.3.3.2 La saison printanière .....</b>   | <b>122</b> |
| <b>4.3.3.3 La saison estivale.....</b>   | <b>123</b> |
| <b>4.3.3.4 La saison automnale .....</b>   | <b>123</b> |
| <b>4.3.4 Variation mensuelle globale des teneurs en protéines entre les organes .....</b>                                    | <b>124</b> |
| <b>4.4 Conséquences des fluctuations thermiques sur les teneurs en ADN &amp; ARN.....</b>                                    | <b>125</b> |
| <b>4.4.1. Conséquences des fluctuations thermiques de chaque saison sur les teneurs en ADN et ARN .....</b>                  | <b>126</b> |
| <b>4.4.1.1. La saison hivernale .....</b>  | <b>126</b> |
| <b>4.4.1. 2. La saison printanière .....</b>   | <b>127</b> |
| <b>4.4.1.3. La saison estivale.....</b>  | <b>129</b> |
| <b>4.4.1.4. La saison automnale .....</b>  | <b>130</b> |
| <b>4.4.2. Conséquences des fluctuations thermiques inter saisonnière sur les teneurs en ADN et ARN.....</b>                  | <b>131</b> |
| <b>4.4.3. Conséquences des fluctuations thermiques inter mensuelles de chaque saison sur les teneurs en ADN et ARN .....</b> | <b>132</b> |
| <b>4.4.3.1. La saison hivernale .....</b>  | <b>132</b> |
| <b>4.4.3.2. La saison printanière .....</b>  | <b>133</b> |
| <b>4.4.3.3. La saison estivale.....</b>  | <b>134</b> |
| <b>4.4.3.3. La saison automnale.....</b>   | <b>135</b> |
| <b>4.3.5. Conséquences des fluctuations thermiques globales des teneurs en ADN entre les organes .....</b>                   | <b>137</b> |
| <b>4.5. Conséquences des fluctuations thermiques sur les teneurs en chlorophylle</b>   | <b>139</b> |
| <b>4.5.1. Conséquences des fluctuations thermiques saisonnières sur les teneurs en chlorophylles.....</b>                    | <b>140</b> |
| <b>4.5.1.1 La saison hivernale .....</b>   | <b>140</b> |
| <b>4.5.1.2. La saison printanière.....</b>   | <b>141</b> |
| <b>4.5.1.3. La saison estivale.....</b>  | <b>142</b> |

|   |     |
|---|-----|
| 4.5.1.4 La saison automnale.....  | 144 |
| 4.5.2. Conséquences des fluctuations thermiques inter saisonnières sur les teneurs en chlorophylle .....                | 145 |
| 4.5.3. Conséquences des fluctuations thermiques inter mensuelles de chaque saison sur les teneurs en chlorophylle ..... | 146 |
| 4.5.3.1. La saison hivernale.....   | 146 |
| 4.5.3.2. La saison printanière.....   | 148 |
| 4.5.3.3. La saison estivale.....  | 149 |
| 4.5.3.4. La saison automnale.....   | 150 |
| 4.5.4. Conséquences des fluctuations thermiques des teneurs en chlorophylle totale entre les organes .....              | 152 |
| 4.6 Discussion .....  | 153 |
| <br><b>Partie 4. Conclusion et perspectives</b>   |     |
| Conclusion .....  | 164 |
| Perspectives.....   | 166 |
| <br><b>Partie 5. Références bibliographiques</b>  |     |
| Références bibliographiques.....  | 167 |
| <br><b>Partie 6. Annexe</b>   |     |
| Annexes .....   |     |
| <br><b>Liste des tableaux</b>   |     |
| <b>Liste des figures</b>  |     |
| <b>Liste des photos</b>   |     |
| <b>Liste des abréviations</b>   |     |

# Introduction

# Introduction

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

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

Les stress environnementaux tels que, les hautes températures, le déficit hydrique et autres, affectent la croissance et le rendement des plantes. Cependant, les plantes peuvent développer des stratégies d'adaptation pour répondre à ces changements en ajustant leur système métabolique.

Devant un certain nombre d'interrogations et d'appels des médias, de gestionnaires ou du grand public, il nous a semblé opportun de rappeler certaines connaissances fondamentales sur la réponse des arbres forestiers aux événements climatiques extrêmes et exceptionnels. La recherche en écophysiologie forestière a acquis des résultats nouveaux depuis les grandes canicules (sécheresses), à la fois quant à la réponse des arbres forestiers aux contraintes hydriques et thermiques. Il est en effet important de distinguer ces deux effets et les réponses physiologiques des arbres parce qu'elles n'impliquent pas les mêmes mécanismes, bien qu'elles puissent interagir et accélérer la traduction " visible " des contraintes.

La recherche concernant les mécanismes de tolérance des plantes aux contraintes thermiques est d'une importance primordiale. Les mécanismes de tolérance sont très complexes, impliquant des changements adaptatifs et/ou néfastes. Ils peuvent impliquer des

facteurs morphologiques, physiologiques et biochimiques à différents niveaux d'organisation de la plante.

Le pin pignon, essence forestière présente en Algérie sous forme de reboisement, intéresse les forestiers pour son introduction dans le massif de djebel ouahch à Constantine, en zone continentale à la limite du semi-aride pour son intérêt économique de par sa production de pignes et de son bois, malgré qu'il soit beaucoup plus nouveau que le pin d'Alep ou le pin maritime. C'est une essence qui est parfois considérée comme arbre fruitier pour la rentabilité de ses fruits. De cette idée il est intéressant d'approfondir son écologie qui reste peu connue des spécialistes, et de définir les amplitudes thermiques en relation avec sa productivité. Pour évaluer son amplitude écologique, différentes expérimentations seront réalisées sur des semis afin de tester leur aptitude d'endurcissement, donc résistance au froid durant la saison hivernale ou tolérance aux variations thermiques et aux conditions chaudes de la saison estivale, par l'estimation des acides aminés marqueurs de stress comme la proline, l'arginine etc. et l'accumulation ou synthèse des protéines.

Ce qui nous amène à nous poser un certain nombre de questions ainsi nous nous proposons de :

- déterminer l'amplitude thermique du pin pignon avec des marqueurs biochimiques comme les sucres solubles les protéines solubles, les acides aminés comme la proline pour mieux estimer sa résistance vis-à-vis du stress thermique.
- de définir les capacités d'adaptation des semis aux contraintes climatiques notamment thermiques durant les saisons froides et chaudes.
- De connaître l'éventail thermique de cette essence ; des expérimentations menées sur des semis exposés à des températures extrêmes en durée et en intensité.

# Partie 1

# Synthèse Bibliographique



## **Partie I. Synthèse Bibliographique**

### **Chapitre 1. Données générales sur le Pin pignon**

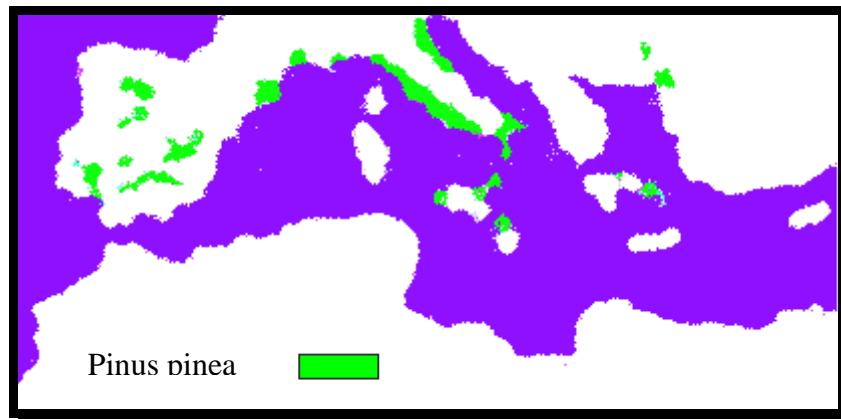
Le pin pignon présente un intérêt de plus en plus grandissant, non seulement en raison de sa rusticité, son différence vis-à-vis la nature chimique du sol, son système racinaire très développé, son bois de qualité, mais surtout à sa fructification qui fait l'objet de transactions commerciales annuelles dont la valeur dépassent de loin dans certain cas celle de la production ligneuse.

C'est dans cette optique que la FAO a créé un sous groupe de travail inter-régional incluant l'Europe, l'Afrique du Nord et les régions du Proche Orient en vue de renforcer la collaboration en matière de recherche et de développement de la culture de cette espèce.

#### **1. 1. Air de répartition naturelle**

L'aire de répartition de *Pinus pinea* comprend la région méditerranéenne septentrionale, de la péninsule ibérique à l'Anatolie jusqu'aux côtes méridionales de la mer Noire. Cette essence a fait l'objet de boisements très anciens pour la production de ses graines comestibles. En France, on le trouve principalement dans les plaines littorales et les collines méditerranéennes, en général à moins de 50 km des côtes et à moins de 600 m d'altitude.

La superficie totale couverte par le pin pignon dans le monde est estimée à 600 000 ha (75 % en Espagne, 9 % au Portugal, 8 % en Turquie, 7 % en Italie, 0.5 % au Maroc et le reste en Grèce, Liban, Tunisie et en France) (Figure.1).



**Figure 1.** Air de répartition naturelle du *Pinus pinea* dans le monde (Seigue, 1985)

## 1.2. Air d'introduction

Le pin pignon n'existe pas à l'état spontané dans tout le nord de l'Afrique ; toutefois cette absence ne s'explique pas facilement, étant donné sa diffusion dans la Méditerranée occidentale et la présence en Berbérie de toutes les autres espèces euro-ibériques. L'introduction du pin pignon en Afrique du Nord est relativement récente même si certains auteurs n'excluent pas l'hypothèse de sa présence dans le passé à l'état spontané.

En Tunisie, les plantations forestières ont été réalisées depuis les années 1930 dans les régions du Nord et du Nord Est du pays et dans le cadre d'essais d'introduction dans les différents arboretums à partir des années 1950 (Khouja, 1992 ; Rejeb et al 1996 in Khouja M 2006 ) 20 000 ha environ sur les dunes littorales, dans les subéraies dégradées et dans le maquis (Sbay, 2006).

Au Maroc entre 1955 et 1992, des plantations de pin pignon ont été réalisées principalement au nord du pays, aussi l'espèce paraît prometteuse le long de la côte. Les reboisements récents sont surtout localisés dans la région de Tanger Larache et Tétouan.

En Algérie, il pousse bien sur les dunes littorales de Mostaganem à Bourahma, Bouachira, Khadra. Il constitue une magnifique pineraie à Ouled Baroudi (Loulou, 1987). On le trouve aussi à Relizane, La Mactaa (Oran), ElKala, Djebel Ouache , Draa Nagah (Constantine), Bainem, Bouchaoui, Merja, Mezloug (Setif) Berrahal et à Zeralda (Zandouche, 2001).

### 1.3. Caractères botaniques

- ❖ **Nom commun:** Pin parasol, Pin pignon ou Pinier nommé par les anglophones 'Stone pine', 'Stone' ou 'Umbrella pine'.
- ❖ **Nom latin :** *Pinus pinea* L., synonyme *Pinus sativa* Lam.
- ❖ **Famille :** Pinaceae
- ❖ **Catégorie :** arbre (conifère) monoïque à l'écorce d'un gris brunâtre qui en vieillissant se fissure et se desquame en grandes plaques verticales laissant apparaître une écorce ocre rouge.
- ❖ **Port :** globulaire, compact, arrondi qui s'aplatit en parasol en prenant de l'âge
- ❖ **Feuillage :** persistant (se renouvelle tous les 3 ou 4 ans), vert franc, glauque. Longues et épaisses aiguilles (10 à 18 cm) rigides et piquantes réunies en faisceaux par 2 ou
- ❖ **Floraison :** au printemps (avril-mai) unisexuée, châtons mâles oblongs ocre jaune assez insignifiants mais fortement chargés de pollen, les femelles en petits cônes aux extrémités des rameaux.
- ❖ **Fruits :** à maturité tous les 3 ans, strobiles ovoïdes à globuleuses (pomme de pin ou pigne) de 8 à 15 cm d'un brun roux brillant, contenant des graines noirâtres à coque ligneuse renfermant des amandes ailées comestibles (pignons).
- ❖ **Croissance :** lente.
- ❖ **Hauteur :** 15-25 m pour un étalement de 10-15 m.
- ❖ **Sol :** tous, plutôt sec, supporte mal le calcaire.
- ❖ **Emplacement :** soleil, mi-ombre.
- ❖ **Multiplication :** semis après stratification à froid.
- ❖ **Entretien :** les jeunes sujets sont sensibles au gel, adulte il est parfaitement adapté à la chaleur et à la sécheresse.

- ❖ **Entretien** : sans. Mais comme d'autres espèces du genre, il peut être visité par les chenilles processionnaires (*Thaumetopoea pityocampa*) *Thuringiensis*.

## **1.4. Eléments d'autécologie**

### **1.4.1. Exigence altitudinale**

Les études sur le pin pignon avec des marqueurs neutres montrent une très faible diversité dans toute l'aire de répartition (Fallons et al.1997 in IFN 2001). En France le pin pignon n'est plus présent au dessus de 600 m d'altitude (Cemagref, 1987 in IFN 2001), les régions de provenance sont donc limitées à 600 m d'altitude. Au Liban et en Turquie, il atteint les niveaux de cédraies notamment dans les régions de Barouk au Liban vers 1400 à 1500m (Quezel,1980). En Algérie, les différents reboisements se trouvent à des altitudes variant de 50 à 280m (Ouanes, 2000).

### **1.4.2. Exigences climatiques :**

Le pin pignon est une essence héliophile et thermophile. Il se situe dans l'étage bioclimatique méditerranéen, variantes humide à semi-aride. Il est sensible aux basses températures et ce d'autant plus que l'atmosphère est humide. (IFN,2001).

Il demande un ensoleillement pour assurer une bonne fructification (Seigue, 1985). Il se rencontre dans les étages bioclimatiques humides, subhumides à variante tempérée chaude (Quezel, 1980). Il est surtout sensible aux températures minimales absolues (Giordano, 1967). Selon Boisseau1993 les basses températures combinées à l'humidité seraient néfastes sur les houppiers. Il arrive à supporter les grands froids exceptionnels (-20°C) en Espagne (Alexandrian,1986) et (-10°C à -15°C) en France(Foucard, 1994).

C'est une espèce exigeante quant à la température, supporte relativement la sécheresse, et elle est très exigeante en lumière. Sa diffusion est en effet liée au climat chaud et lumineux des côtes méditerranéennes (Sbay , 2006)

Les températures annuelles qui lui convient varient entre 10°C et 18°C. La moyenne des températures du mois le plus chaud est comprise entre 27°C et 23°C (Seigue, 1985).

En région méditerranée, il exige une température annuelle, égale à 13.5°C, et la température moyenne de la saison de végétation égale 18°C, par contre en Corse la moyenne annuelle est égale à 14.6°C et la température moyenne de la saison de végétation égale à 18.8°C (IFN, 2001).

Concernent les précipitations, le pin pignon exige une tranche pluviométrique allant de 500 à 1500mm annuellement dont 50 à 70 mm en été (Seigue, 1985). C'est un arbre qui ne supporte pas la charge de la neige sur la cime (Alexandrian, 1982).

#### **1.4.5. Exigences édaphiques :**

On le trouve sur tout type de roches, aussi bien sur calcaire que sur substrat siliceux. Cependant, il a une préférence pour les sols profonds à texture sableuse. (IFN, 2001).

L'espèce est indifférente à la nature chimique du sol; toutefois le calcaire actif et la salinité du sol, sans interdire le développement de l'arbre, peuvent en limiter la croissance. Les caractéristiques physiques du sol (compacité, fissuration de la roche et surtout la pénétrabilité) sont par contre déterminantes. Le pin pignon préfère les sables d'origine dunaire du littoral. Il végète sur les encroûtements calcaires superficiels et supporte l'hydromorphie (pseudogley) et les sols marneux (Sbay ,2006).

#### **1.4.6. Utilisations**

Le pin pignon est généralement planté pour 03 objectifs :

##### **1- reboisement de protection :**

Il joue un rôle extrêmement important dans la lutte contre l'érosion dans les régions montagneuses et dans la fixation des dunes littorales grâce à son système racinaire généralement très bien développé (Sbay, 2006).

## **2- Production ligneuse :**

Dans les stations fertiles le pin pignon peut produire jusqu'à  $75 \text{ m}^3 / \text{h}/\text{an}$ . Les reboisements de production ligneuse doivent se limiter aux zones bioclimatiques humides et subhumides sur terrains fertiles (Sbay, 2006).

Du point de vue anatomique, il y a peu de différences entre le bois de pinus pinea .L et celui des autres pins, il ressemble beaucoup au bois du pinus pinaster mais avec des canaux résinifères plus gros (Loulou, 1987).

Sur le plan production ligneuse, il est comparable aux espèces de pins les plus connus. Les résultats obtenues par Abdallah 1999 in Khouja 2006 à partir des essais de comparaison d'espèces installées en Tunisie, ont révèlent des productions intéressantes de l'ordre de  $7.4 \text{ m}^3 / \text{h} / \text{an}$  et de  $8 \text{ m}^3 / \text{h} / \text{an}$  respectivement sous bioclimat humide et subhumide concurrençant nettement celles obtenues par d'autres espèces reconnues très productives telles que le pin radiata ou le pin maritime.

## **3- Production fruitière:**

La graine de pin pignon a une valeur commerciale qui peut valoir la production ligneuse. La production marocaine en graine est de l'ordre de 8 ; tonnes le prix est compris entre 30 et 70 dh/Kg en fonction de l'année et de l'importance de la fructification le rendement moyen est de 15 kg/ha/an de cône soit 3 kg d'amande /ha/an. Les plantations de production fruitière peuvent être faite dans les stations moins fertiles.

Le commerce des pignes n'est pas encore organisé, la production de graines est estimée à 500kg/ha ; chaque cône porte environ 50 graines et 100kg de cônes donne en moyenne 20 kg

de graines. La quasi-totalité de la production marocaine estimée en moyenne à 70 tonnes /an est exporté en Espagne.

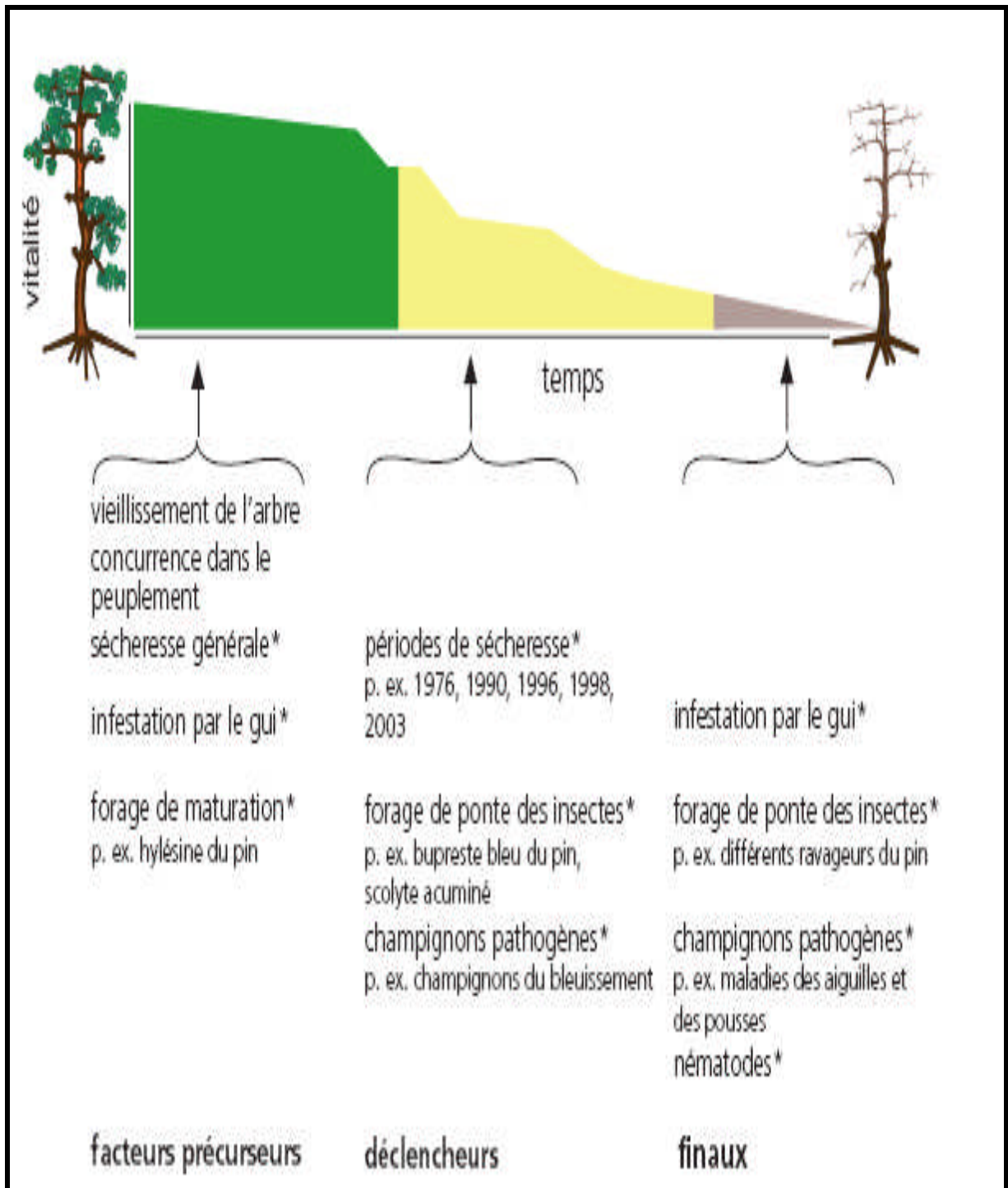
La production mondiale est de l'ordre de 30 000 à 40 000 tonnes / an. L'Espagne, l'Italie et le Portugal produisent plus de 25 000 tonnes de graines avec coque par an ; la majeure partie de production espagnole est exportée principalement aux USA.

### **1.5. Facteurs de Dépérissement et de Mortalité de genre *Pinus***

Nous trouvons dans les ouvrages de référence nombre de concepts divers sur la dynamique du dépérissement de certains arbres ou de peuplements forestiers dans leur totalité. Malgré les nombreuses différences, les théories sur le dépérissement s'accordent toutes sur un point: il est extrêmement rare qu'un unique facteur soit tenu responsable du dépérissement. Elles partent au contraire du principe que différents facteurs de stress biotiques et abiotiques y participent en règle générale. Nous souhaitons par la suite nous appuyer sur le concept de Manion 1981 in Rigling et al, 2006 qui distingue les facteurs précurseurs (*predisposing*), déclencheurs (*inciting*) et finaux (*contributing*). (Rigling et al, 2006)

La combinaison de ces facteurs et l'interaction qui en résulte entraîne la mort précoce de l'arbre (Fig. 02). Dans les facteurs précurseurs à noter sont le vieillissement de l'arbre, la concurrence croissante au sein du peuplement, la forte infestation par le gui, la sécheresse aux effets généraux, ainsi que les forages de maturation réguliers des insectes comme l'hylésine du pin. Lors du forage de maturation, des champignons pathogènes et des nématodes peuvent de plus contaminer l'arbre. Ces facteurs combinés fragilisent l'arbre sur des années, voire des décennies; ils réduisent sa résistance par rapport aux facteurs de stress déclencheurs - périodes de sécheresse par exemple, attaques d'insectes comme le bupreste du pin, les scolytes, les nématodes, ou d'agressifs champignons du bleuissement – dont l'effet est à court terme. Ces facteurs déclencheurs entravent les processus physiologiques de l'arbre et amenuisent sa capacité de résistance vis-à-vis d'autres insectes et champignons pathogènes. La somme des facteurs précurseurs et déclencheurs détermine la capacité de résistance (vitalité) de l'arbre. Si celui-ci est déjà très affaibli, un facteur de stress final relativement faible suffira à causer sa mort. De tels facteurs finaux sont des insectes ravageurs secondaires comme l'hylésine du pin, le charançon ou le sirex, des champignons pathogènes telles les maladies des aiguilles et des pousses, des nématodes, une infestation aiguë par le gui ou d'autres facteurs climatiques

comme le gel. La combinaison des facteurs varie selon le peuplement forestier et reste soumise aux conditions environnementales en perpétuel changement. (Rigling et al, 2006).



**Figure 2.** Facteurs du dépérissement des pins (les facteurs accompagnés d'un \* sont influencés directement ou indirectement par les modifications du climat).



## **Chapitre 2. Le stress**

### **2.1. Définition du stress**

Le stress désigne à la fois l'action d'un agent agresseur et les réactions qu'il entraîne dans l'organisme agressé, une force qui tend à inhiber les systèmes normaux (Jones et al. 1989) ou encore une condition non optimale causée par un facteur qui tend à altérer l'équilibre des fonctions d'un organisme (Orcutt et al. 2000).

En matière de biologie végétale, les principaux stress peuvent être classés, tout dépendant de la nature de l'agent stressant, en quatre catégories : physiques, chimiques, biotiques et anthropogéniques (Orcutt et al. 2000). Les facteurs de stress agissent rarement seuls ou de façon constante tout au long du développement des végétaux, ce qui complique l'étude physiologique des stress chez ces derniers. La complexité de la réponse biologique au stress rend souvent difficile à discerner la cause et les effets du stress (Jones et al. 1989).

Levitt (1980) décrit la physiologie du stress en l'abordant dans son aspect physique. Le stress est une contrainte qui peut se résumer à une (ou plusieurs) force(s) de déformation appliquée(s) à un corps. Cette contrainte modifie les dimensions et la forme du corps exposé traduisant sa (tension intérieure. À la différence d'un stress physique, un stress biologique n'est pas une force à proprement parler et est associé dans le langage commun à une agression possiblement irréversible et donc une déformation plastique du corps exposé.

### **2.2 Effet de l'intensité et la durée du stress**

L'intensité du stress est une notion dynamique. À long terme, sous l'effet constant d'un agent stressant, les caractéristiques physiologiques des végétaux changent. Ces derniers s'adaptent, ce qui fait que pour une même intensité de stress, les végétaux des générations suivantes seront de moins en moins affectés (Orcutt et al. 2000).

Le stress perçu par une plante, dépend de la résistance de l'organisme à un type de stress appliqué avec une certaine intensité. En plus du type de stress et de son intensité, il faut également considérer la durée d'exposition. Si l'intensité d'un stress est trop faible pour provoquer des dommages irréversibles à court terme, à long terme, ce stress peut provoquer des changements plastiques, voire la mort de l'organisme (Levitt 1980, Lichenthaler 1996).

La réponse des végétaux aux différents stress est donc influencée par la nature et l'intensité du stress en cause mais aussi par l'historique des espèces, cultivars et génotypes représentés. Chacun étant adapté à des conditions spécifiques par l'évolution et la sélection naturelle (Grime 1989).

### **2.3 Transmission et perception du signal de stress chez les végétaux**

Les stress environnementaux (ou abiotiques), comme la sécheresse, la salinité, les basses et les hautes températures sont des conditions de stress qui affectent la croissance et le rendement des plantes. Contrairement aux animaux, qui peuvent se déplacer lorsque les conditions de vie ne leur sont plus favorables, les plantes ont développé des stratégies d'adaptation pour répondre aux changements environnementaux en contrôlant et en ajustant leurs systèmes métaboliques.

Les réponses cellulaires et moléculaires des plantes aux conditions de stress ont été très étudiées. Les mécanismes par lesquels elles perçoivent les signaux environnementaux et les transmettent à la machinerie cellulaire pour activer des mécanismes de réponses adaptées déterminent chaque jour leur survie.

Les végétaux perçoivent les signaux environnementaux et les transmettent à la machinerie cellulaire pour activer des mécanismes de réponses. La connaissance de ces réponses, basées sur la transduction des signaux de stress, est donc la base des études visant à améliorer la réponse des plantes cultivées aux différents stress. 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, incluant des changements morphologiques, biochimiques et physiologiques.

### **2.3.1. Perception**

C'est l'étape de reconnaissance de stress. Elle est essentielle car elle permet aux étapes ultérieures de défense de se déclencher.

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

### **2.3.2. Transmission**

En réponse à la détection de l'éliciteur et donc à la reconnaissance de stress par la plante, on observe un influx d'ions calcium  $\text{Ca}^{2+}$  (entrée d'ions dans la cellule) et de protons  $\text{H}^+$  ainsi qu'un efflux d'ions potassium  $\text{K}^+$  et d'ions chlorure  $\text{Cl}^-$  (sorties d'ions de la cellule vers le milieu extracellulaire). Ces flux d'ions entraînent une modification de la perméabilité de la membrane plasmique de la cellule infectée. En effet, elle devient plus perméable donc renforcée. Les échanges sont alors plus faciles à réaliser entre la cellule et le milieu extracellulaire et les molécules de défense produites par la plante par la suite peuvent alors circuler plus facilement.

De plus les ions  $\text{Ca}^{2+}$  en particulier ont un rôle essentiel dans la cascade de signalisation puisqu'ils permettent en partie l'activation des gènes de défense de la plante

#### **2.3.2.1. Le calcium**

L'importance du rôle du calcium dans la transduction du signal a été démontrée par l'utilisation d'inhibiteurs des canaux calciques (Lanthane, 5-nitro-2,3-phenylpropyl aminobenzoïque acide, acide 4,4'-diisothiocyanatostilbene-2,2'-disulfonic), des chélateurs de calcium EDTA (acide éthylène diamine tétraacétique) et EGTA (acide éthylène Glycol-bis( $\beta$ -aminoethyl ether)-N,N,N',N'-tétraacétique) ou des ionophores (A23187). Des plantes ont été transformées par un gène exprimant l'apoeaequorine dans certains compartiments cellulaires (cytoplasme, noyau), permettant une quantification précise et non-invasive des concentrations cytoplasmiques ou nucléaires en calcium (première transformation par Knight et al, 1991 dans

Blume et al, 2000) : le calcium libre cytoplasmique de cellules de persil transformées augmente rapidement après un traitement par l'éliciteur Pep-13 pour atteindre un pic vers 1 M, avant de redescendre pour se stabiliser vers 300 nM, alors que la valeur normale en calcium libre cytoplasmique se situe vers 100 nM (Bush, 1995). Un aspect important du Cal<sup>+</sup> en tant que messenger est la présence d'oscillations régulières de concentrations. Ces oscillations spécifiques sont par exemple responsables de la fermeture des stomates (Allen et al., 2000). De plus, ces variations dépendent de stress particuliers (Kiegle et al., 2000), de l'intensité du stress (Plieth et al., 1999) ainsi que de l'exposition précédente aux mêmes conditions de stress (Knight et al., 1997).

### **2.3.2.2. Les MAPK**

Comme tous les organismes vivants, les plantes doivent percevoir et signaler des stimuli extérieurs. Les MAPK, présentes chez tous les eucaryotes, sont une part importante des composants intervenant dans cette transduction du signal. Ce sont des médiateurs de la transduction du signal provenant de la matrice extracellulaire, et sont présentes chez tous les eucaryotes. De nombreuses voies métaboliques faisant intervenir des MAP kinase pour différents types de stimuli (ex : blessure, sécheresse, froid, blessure) ont été décrites. Chez le tabac, Hoyos et Zhang, (2000) ont isolé deux MAP kinases induites par un stress osmotique. La première correspond à une protéine kinase induite par l'acide salicylique (SIPK) et la seconde seulement induite en milieu hyper-osmotique (HOSAK). Ces deux MAP kinase ne sont inductibles ni par l'ABA, ni par le Ca<sup>2+</sup>, mais semblent être impliquées dans l'adaptation au stress hyper-osmotique. Cette MAP kinase présente une activité induite par la sécheresse, le stress salin ou un traitement à l'ABA. Ces résultats mettent en avant l'implication de cette MAP kinase dans la réponse aux stress ou à la déshydratation cellulaire.

Chez la luzerne, SAMK est régulée au niveau de la transcription par des stress hydriques (Jonak et al, 1996) mais est également activée par le stress mécanique que constitue l'agitation de suspensions cellulaires (Bögge et al, 1996). Toujours chez la luzerne, Munnik et al (1999) ont mis en évidence la SIMK (MAPK constitutivement nucléaire dont l'activité n'est pas corrélée à un changement de compartiment cellulaire) activée par des concentrations de 100-150 mM de sel ; des concentrations plus élevées n'activent plus la SIMK mais une PK de 35 kDa, indiquant la présence de 2 osmosenseurs dans ce système, selon que la pression osmotique est modérée ou élevée. Chez *Arabidopsis*, AtMEKK1 et AtMPK3 (une MAPK homologue de SAMK) ne sont pas seulement transcriptionnellement induites par une

stimulation mécanique, mais aussi par la déshydratation (Mizoguchi *et al*, 1996). AtMEKK1, exprimée chez des levures, permet leur survie sur un milieu hypersalé, certainement grâce à la synthèse accrue de glycérol (Covic *et al*, 1999).

D'autres stress ont été associés à l'activation d'une MAPK. En 1999, He *et al* ont isolé une MAPK du riz, BWMK1, activée par des blessures mécaniques et des infections par le champignon *Magnaporthe grisea*. Stratmann *et al* (2000) ont testé les effets des radiations UVB/UVA sur des jeunes plants de tomate : ils induisent l'activation d'une MAPK de 48 kDa dans les feuilles, et la synthèse systémique potentielle d'un inhibiteur de protéinase en réponse à une blessure, suggérant une contribution de l'irradiation solaire dans l'interaction plante-herbivores/pathogènes.

### **2.3.2.3. Phosphorylations de protéines**

Les phosphorylations/déphosphorylations de protéines jouent un rôle important dans la transduction des signaux menant à la résistance aux stress chez les plantes. Elles permettent une amplification efficace du signal initial, une désensibilisation par réaction négatif, des interconnexions et des ramifications pour l'activation de plusieurs voies de défense. La mise en évidence de leur implication a été réalisée très tôt par l'analyse des changements dans les profils de phosphorylations après l'application d'éliciteurs sur des suspensions cellulaires : le traitement de cultures cellulaires de tomate, persil, soja ou tabac avec différents types d'éliciteurs (oligosaccharides, oligomères de chitine, extraits de levure, xylanase, élicitrine) entraîne l'induction dès les premières minutes de la phosphorylation de protéines (Grab *et al*, 1989 ; Dietrich *et al*, 1990 ; Felix *et al*, 1991, 1994 ; Viard *et al*, 1994). Des études pharmacologiques avec des inhibiteurs de PK montrent en outre que ces produits entraînent des modifications des autres événements impliqués dans les réactions de défense, incluant l'alcalinisation extracellulaire (Felix *et al*, 1991 ; Mathieu *et al*, 1996b), le stress oxydatif (Chandra et Low, 1995 ; Mathieu *et al*, 1996b), la transcription de gènes de défense (Suzuki et Shinshi, 1995).

Un des événements principaux des voies de transduction du signal éliciteur est la transcription de nombreux gènes. L'activation de facteurs de transcription est un niveau de régulation supplémentaire où la phosphorylation de protéines intervient. Les MAPK sont également des intermédiaires reconnus dans la transduction du signal éliciteur jusqu'au noyau des cellules végétales

## **2.4. La réponse des végétaux aux stress.**

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 acides gras afin de modifier la perméabilité de la membrane plasmique ;
- des osmoprotectants, comme la proline ou la glycine bêtaïne, qui permettent de maintenir l'équilibre en eau entre la cellule végétale et l'environnement extérieur ;
- des protéines spécifiques.

### **2.4.3. Transformation des parois cellulaires**

Les parois, à base de fibres de cellulose, qui protègent les cellules végétales et constituent l'armature de la plante, sont plus des voies de colonisation que des barrières efficaces contre les stress abiotiques. Les défenses de la plante comprennent un ensemble de mécanismes conduisant à étanchéifier les parois et à les renforcer contre les dégradations enzymatiques générées par les stress. Un mécanisme fréquent est la synthèse de métabolites secondaires, de nature phénolique, qui se lient chimiquement entre eux, et imprègnent les fibres de cellulose. Les polymères très résistants ainsi formés ressemblent beaucoup à la lignine des parois de certains tissus (bois, fibres sclérifiées) mais leur composition et leur localisation leur valent le nom de lignines pathologiques. Ce phénomène de polymérisation met en jeu des enzymes spécifiques, notamment des peroxydases, dont l'activité est accrue de façon considérable en réponse aux agressions. Un rôle analogue est joué par d'autres polymères comme la subérine et la callose. Ces changements peuvent être induits par des modifications au niveau des enzymes impliquées dans la biosynthèse des monolignols ou dans leur assemblage dans la paroi (Dixon et Paiva, 1995). L'augmentation de l'expression de ces gènes peut être reliée à l'arrêt de la croissance, et à l'épaississement de la paroi. Un autre composant majeur de la paroi correspond aux composés issus de la polymérisation des sucres (cellulose et hemicellulose). Xu et al. (1996) ont mis en évidence des modifications au niveau de l'hemicellulose *via*, notamment, la modulation de l'expression d'une famille multigénique appelée XET (xyloglucane endo-trans-glucanase). Les XET effectuent des coupures internes dans les polymères de xyloglucanes, pour ensuite lier les fragments générés à d'autres chaînes

de xyloglucanes. Braam et al. (1997) ont proposé l'idée qu'à l'instar des gènes impliqués dans la lignification, les XET pourraient intervenir dans l'altération des propriétés (ex : extensibilité) de la paroi lors des stress abiotiques et notamment hydriques. Enfin, d'autres transcrits codants pour des protéines impliquées dans la paroi ont été caractérisés comme étant sur-exprimés au cours du stress hydrique. Chez le soja (*Glycine max*) Creelman et Mullet, (1991) ont montré l'accumulation de transcrits correspondant à des GRP (protéines riches en glycine), des PRP (protéines riches en proline) ou encore à l'expensine (HRGP : glycoprotéines riches en hydroxyproline). Des changements structuraux au niveau du cytosquelette peuvent également s'opérer. Creelman et Mullet, (1991) ont aussi mis en évidence une diminution de l'expression de deux gènes chez le soja. Le premier codait pour une  $\beta$ -tubuline, une protéine impliquée dans les phénomènes de croissance cellulaire. Le second codait pour l'actine, une protéine impliquée dans la structure du cytoplasme et dans l'orientation des organelles. De la même manière, il a été montré que la division cellulaire de levures (*Saccharomyces cerevisiae*) était inhibée lors d'un stress osmotique, et était directement corrélée à une inhibition du gène codant pour l'actine (Chowdhury et al., 1992). Ainsi, ces deux transcrits peuvent rendre compte des phénomènes d'inhibition de la croissance et des remaniements cytoplasmiques qui se produisent lors d'un déficit hydrique.

#### **2.4.4. Métabolisme secondaire**

Les mécanismes de tolérance favorisent quant à eux le maintien de la turgescence de la plante alors que son potentiel hydrique est très négatif. L'ajustement osmotique constitue le processus majeur permettant à la cellule de maintenir sa turgescence sous stress, grâce à l'accumulation active de molécules particulières : sucres solubles, bétaine ou la proline. Il semblerait que cette accumulation d'osmolites soit reliée au maintien de l'intégrité des protéines et des membranes (Crowe et al., 1992).

##### **2.4.2.1. La proline**

Parmi les facteurs impliqués dans cette accumulation, on pourra citer par exemple l'induction des gènes impliqués dans la synthèse d'acides aminés, tels que la proline ( $\Delta^1$ -pyrroline-5-carboxylate synthétase : P5CR) ou la glycine-bétaine (bétaine aldéhyde déshydrogénase : BADH). L'augmentation de transcrits de la P5CR, corrélée à une augmentation de proline, a été montrée chez *Arabidopsis* (Savouré et al., 1995 – Yoshida et al., 1995 - Peng et al., 1996 -Kiyosue et al., 1996). De plus, ces auteurs ont montré que cette augmentation était directement reliée à l'application du stress. En effet, lors de la phase de

récupération juste après l'application du stress, le contenu en proline diminue en même temps que la quantité de transcrits correspondant à la P5CR. L'induction de ces gènes est directement reliée à la régulation du taux de proline dans les cellules, en fonction du stress. Sur des plants transgéniques de tabac (*Nicotiana tabacum*) contenant un gène codant une BADH d'orge, Ishitami et al., (1995) ont mis en évidence la sur-expression du transcrit correspondant, lors d'un stress hydrique (sel et sécheresse) ou après traitement à l'ABA. Cette augmentation de transcrit était multipliée par huit dans les feuilles et par 2 dans les racines.

#### **2.4.2.3. Les sucres**

Les sucres peuvent servir de composés solubles compatibles pour cet ajustement osmotique, comme de nombreuses autres molécules (proline, glycine-bétaïne ou pinitol). Ainsi, les enzymes liés au métabolisme des sucres semblent avoir une importance majeure dans la tolérance au stress. Nombreuses études ont mis en évidence l'accumulation de sucres solubles lors de la dessiccation. Une idée principale en ressort : différents sucres solubles peuvent être présents dans des tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation. Un exemple frappant a été montré à partir de feuilles de *C. plantagineum* où le sucre majeur (2-octulose) dans les tissus bien hydratés (représentant 90% des sucres présents) est transformé en saccharose lors d'un stress hydrique. Le saccharose représente alors 40% du poids sec (Bianchi et al., 1991). Chez cette même espèce, l'induction lors d'un stress hydrique des messagers codants pour la sucrose synthase (Susy) semble indiquer que l'accumulation du saccharose est régulée au niveau transcriptionnel (Kleines et al., 1999). Déjardin et al. (1999) ont aussi démontré l'existence d'un gène codant pour une Susy qui est spécifiquement induite au cours du stress hydrique chez *Arabidopsis*. Cette augmentation semble directement reliée à la diminution du potentiel hydrique au sein de la cellule.

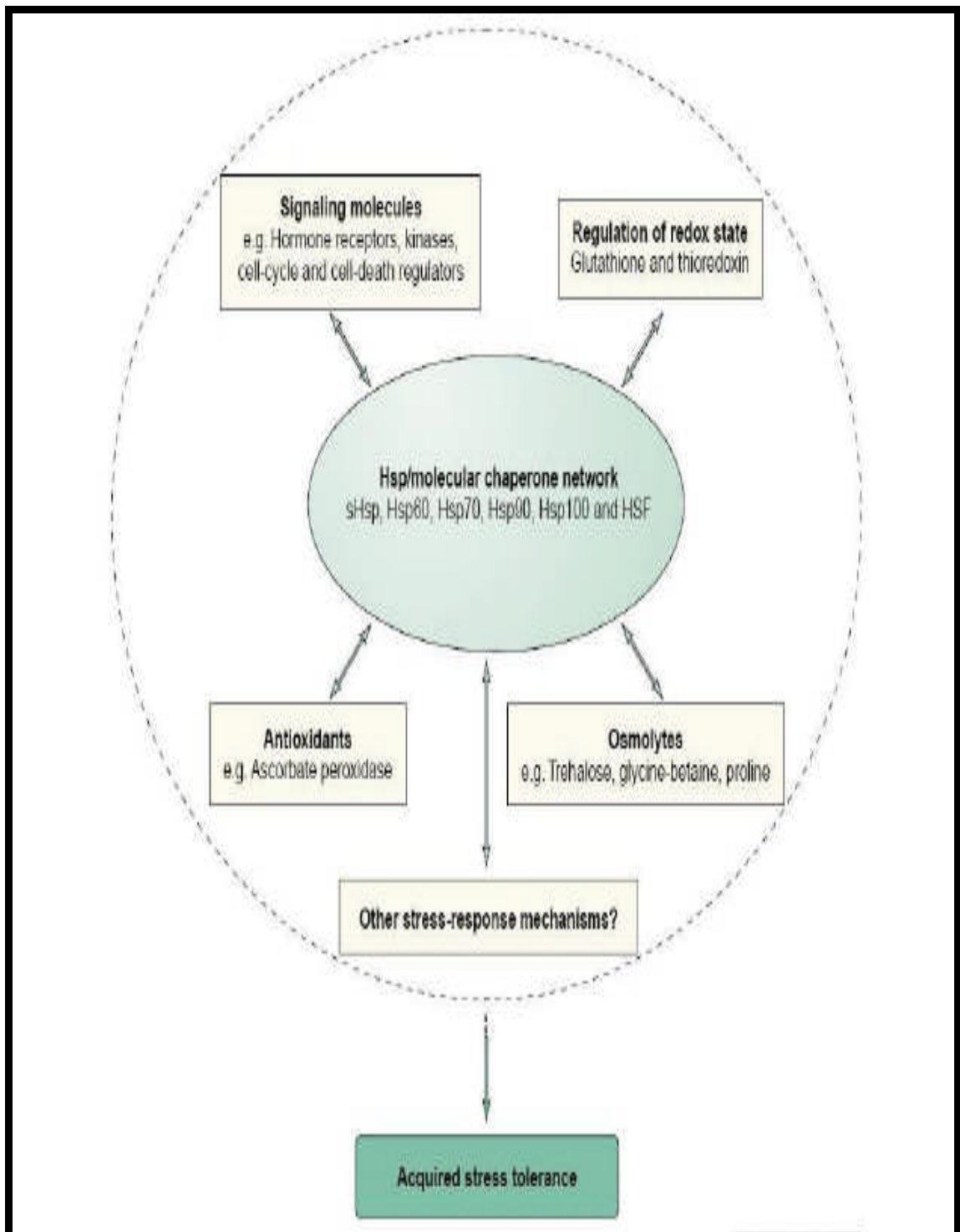
Enfin, les sucres peuvent avoir un impact sur la régulation de l'expression des gènes. En effet, certains gènes sont directement régulés par le taux de glucose dans la cellule. On pourra citer par exemple le gène codant pour la protéine GRR1 (glucose regulated repressor) isolé chez *S. cerevisiae* qui est impliqué dans les cascades de transduction qui font intervenir le glucose. La protéine GRR1 joue aussi un rôle dans la dégradation des protéines ubiquitinilées. Enfin, GRR1 intervient dans la régulation du cycle cellulaire *via* la dégradation des cyclines Cln1 et Cln2 spécifiques de la phase G1 (Barral et al., 1995; Ning Li and Johnston, 1997).



### **2.4.2.3. Les protéines Heat shock**

La réaction des organismes vivants à des situations 'défavorables (stress) se traduit, notamment, par la synthèse rapide de polypeptides (Craig ,1988). Ces polypeptides furent nommés "Heat shock proteins"(protéines de choc thermique) parce qu'elles étaient systématiquement surexprimées après un choc thermique. Elles participent à la réponse à une large variété de stress comme l'exposition aux métaux lourds (Levinson et al, 1996) au rayonnement ionisants, aussi leur synthèse peut augmenter dans les cellules en cultures par exposition aux analogues d'acides aminés (Keller et Schlesiger., 1978).

Suite à un stress thermique, les synthèses de ces protéines sont coordonnées : elles résultent soit d'un changement brutal de température d'un passage brusque (de 25 °C à 39°C - 41 °C), soit une augmentation régulière de T de 2,5 °C par heure. Cependant, il faut noter que la synthèse des HSP est transitoire des que la source de chaleur anormale disparaît la synthèse des HSP diminue et finit par cesser.



**Figure 3.** Interaction entre Hsp et les autres mécanismes responsables de stress

#### **2.4.2.4. Les groupes des HSP chez les végétaux:**

##### **2.4.2.4. 1. Les protéines de la famille HSP-100**

Les protéines HSP-100 ne sont pas autant étudiées que les protéines HSP-90 et HSP-70. Leur synthèse est induite dans plusieurs conditions de stress autres que le choc thermique : par exemple le stress causé par l'éthanol et l'arsenite (Sanchez *et al.*, 1992).

Les membres de la famille des Hsp100 sont des ATPases caractérisées par la présence d'une région hautement conservées appelée le domaine AAA. Ce domaine contient différents motifs incluant ceux nécessaires à la liaison de l'ATP et à son hydrolyse. (Neuwald *et al.*, 1999). À ce jour, des membres de cette famille ont été identifiés chez les bactéries (les Clp) et il existe un homologue chez la levure (Hsp104) et chez les plantes (Hsp101) (Lee *et al.*, 2004). Les membres de cette famille ont été classés en deux classes, soit la classe I et la classe II selon que la protéine contient deux ou un seul site de liaison à l'ATP (Schirmer *et al.*, 1996)

Les HSP100 agissent au niveau de deux principaux phénomènes; d'un côté, l'aptitude à renaturer les protéines mal repliées et ainsi prévenir l'agrégation protéique et, de l'autre côté, la capacité de dégrader les protéines (Lee *et al.*, 2004). D'ailleurs, il a été démontré que la protéine ClpB de *E. coli* pouvait resolubiliser les protéines agrégées en collaboration avec DnaK (Mogk *et al.*, 1999). De plus, leurs homologues eukaryotes, Hsp104 et Hsp70, ont la même aptitude. Cette habilité de solubilisation des agrégats protéiques qu'ont les HSP100 semble être une propriété unique aux membres de cette famille (Schirmer *et al.*, 1996).

##### **2.4.2.4. 2. Les protéines de la famille HSP-90**

La protéine Hsp90 est une des plus abondantes de la cellule eucaryote, correspondant à entre 1 et 2% de la quantité de protéines totale en conditions normales. Les membres de la famille HSP90 contribuent à de nombreux processus cellulaires, dont la transduction de signal ainsi que le repliement et la dégradation des protéines (Sreedhar *et al.*, 2004). Au niveau de la transduction de signal, Hsp90 interagit avec plusieurs tyrosines kinases, dont v-Src et c-Src (Xu *et Lindquist*, 1993).

Plusieurs autres fonctions sont attribuées aux HSP-90. Ces protéines sont impliquées dans la renaturation des protéines dénaturées (Nathan *et al.*, 1997) et aussi dans la

détermination entre la renaturation et la dégradation des protéines dénaturées (Schneider *et al.*, 1996).

#### **2.4.2.4. 3. Les protéines de la famille HSP-70**

Les HSP 70 induites par la chaleur font partie d'une famille de protéines hautement conservées que l'on trouve dans tout organisme examiné. Certaines de ces protéines sont essentielles pour la vie de la cellule. Des travaux récents ont montré que ces protéines HSP 70 sont associées aux mouvements des protéines dans et à travers les différents compartiments de la cellule eucaryotique.

La famille des protéines HSP-70 est très grande. Certaines protéines de cette famille sont synthétisées constitutivement et d'autres sont induites dans des conditions de stress (Becker et Craig, 1994). Quelques-unes sont présentes dans le cytoplasme, tandis que d'autres sont présentes dans des organelles comme la mitochondrie ou le réticulum endoplasmique (Becker et Craig, 1994). La fonction générale de ces protéines est d'assurer le bon repliement des protéines cellulaires. Les protéines HSP-70 qui sont synthétisées constitutivement sont responsables du repliement adéquat des protéines nouvellement synthétisées (Gething et Sambrook, 1992; Beckmann *et al.*, 1990). Les protéines HSP-70, dont la synthèse est induite dans le cas d'un stress comme le choc thermique, ont une tâche différente mais connexe : elles protègent les protéines contre la dénaturation (Gething et Sambrook, 1992; Lindquist, 1986) préviennent l'agrégation des protéines dénaturées (Ellis, 1990) et aident à la renaturation des protéines dénaturées (Ellis, 1990; Skowyra *et al.*, 1990).

#### **2.4.2.4. 5. Les protéines de la famille HSP-60**

Les protéines HSP-60 sont présentes dans le cytoplasme des cellules, ainsi que dans quelques organelles comme la mitochondrie (Becker et Craig, 1994). Ces protéines de 60 kDa s'associent à des protéines dénaturées et inhibent l'agrégation de ces protéines. Ceci facilite la renaturation des protéines dénaturées, par l'entremise d'autres protéines de la famille HSP (Martin *et al.*, 1992).

#### **2.4.2.4. 6. La famille des protéines de petit poids moléculaire**

Les HSP-ppm sont les moins bien conservées de toutes les HSP et elles sont d'un nombre variable d'une espèce à l'autre, atteignant leur maximum chez les plantes, où on peut retrouver jusqu'à 20 HSP-ppm différentes (voir la synthèse de Arrigo et Landry, 1994). Leur expression varie au cours du développement et de la croissance cellulaire (Arrigo et Tanguay, 1991).

Il y a plusieurs autres protéines HSP, plus petites que 35 kDa, qui sont synthétisées par les cellules durant un choc thermique (Sanders, 1993; Lindquist, 1986). Entre autres, on retrouve la HSP-28 (Arrigo et Welch, 1987), la HSP-30 (Plesofsky-Vig et Brannbl, 1990) et l'ubiquitine pond et Schlesinger, 1985), qui est une protéine de 7 kDa. Les fonctions de ces protéines sont très peu connues, sauf pour l'ubiquitine, une protéine qui se lie aux protéines dénaturées qui doivent être dégradées par le complexe du protéosorne (Udvardy, 1993).

Une protéine qui entre dans cette catégorie est la protéine HSP-32 ou l'hème oxygénase. Cette protéine est très intéressante car en plus d'être induite par choc thermique, sa synthèse est aussi induite dans des conditions de stress oxydatif (Ossola et Tomaro, 1995; Llesuy et Tomaro, 1994; Vile et Tyrrell, 1993; Ewing et *al.*, 1992). Cette protéine est principalement impliquée dans le catabolisme de l'hème (Maines, 1988). Les détails moléculaires du mécanisme d'action de l'hème oxygénase afin de combattre les effets néfastes d'un stress oxydatif ne sont pas encore connus.

#### **2.4.2.4. 7 Rôle des HSP**

Les protéines HSP 70 et HSP 90 jouent un rôle dans la structure et l'assemblage des protéines au sein du cytoplasme et du réticulum endoplasmique (Pelham HRB 1986) ; ces protéines peuvent, d'autre part, participer au réassemblage des structures cellulaires endommagées par le choc de température.

Le mécanisme d'action, la spécificité de substrat et les fonctions physiologiques précises restent à élucider. Burke et al, (1988) soulignent également l'incapacité des recherches à élucider quel rôle joue les protéines induites par les chocs thermiques

En cas d'élévation de la température cellulaire on assisterait à une diminution de l'efficacité du système de transport membranaire des sels et ions métalliques : ce serait une action directe de la température élevée sur les pompes transmembranaires. La diminution de l'activité de ces pompes à travers la plasmalemmes et le tonoplaste pourrait résulter d'une altération de l'activité du transport ionique, par exemple du calcium ou de métaux

(aluminium, fer, cuivre et cadmium). La plupart des stress étudiés en conjonction avec les chocs de température affecteraient soit les gradients de concentration métallique, soit l'énergie requise pour alimenter les pompes ioniques ou le transport des sels à travers la membrane. L'évaluation de ces ions et métaux toxiques n'aurait plus lieu, ce qui conduirait la cellule à l'intoxication. Craig, a passé en revue les rôles essentiels de protéines 70 Kd dans la cellule (Kurkela S et al, 1988).

Les HSP 70 induites par la chaleur font partie d'une famille de protéines hautement conservées que l'on trouve dans tout organisme examiné. Certaines de ces protéines sont essentielles pour la vie de la cellule. Des travaux récents ont montré que ces protéines HSP 70 sont associées aux mouvements des protéines dans et à travers les différents compartiments de la cellule eucaryotique.

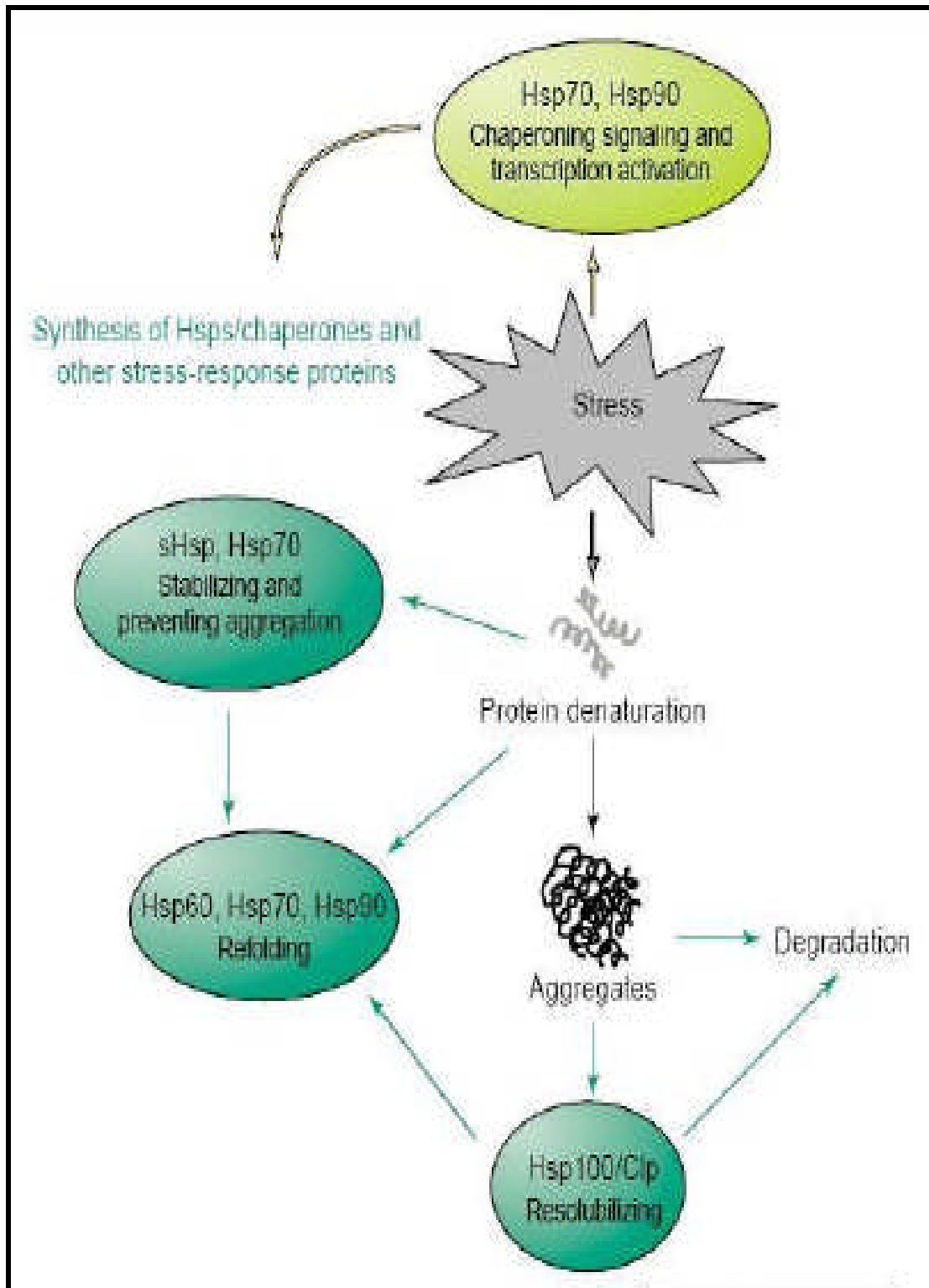


Figure 4. Le réseau des HSP impliqué dans la réponse aux stress abiotiques

## 2.5. Le stress thermique

La sensibilité des plantes aux températures extrême est très variable, certaines sont tuées ou lésées par les baisses modérées de températures, alors que d'autre parfaitement acclimatées sont capables de suivre au gel des dizaines de degrés C° en dessous de zéro (Hopkin.2003).

### **2.5.1. Le stress thermique par les hautes températures**

La chaleur peut endommager une foule de structures cellulaires et affecter de nombreux processus biochimiques, mais l'envergure de ces bris est étroitement lie à l'intensité et à la durée du stress. 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 (Nover 1991 ; Laszlo, 1992 et Parseil et Linquisl 1 994 in Bernier 1997).

La plupart des plantes cultivées craignent les hautes températures, même pendant des laps de temps courts. Une température de l'air entre 45 et 55°C pendant une demi-heure abîme directement les feuilles des plantes dans la plupart des cas, et même des températures plus basses (entre 35 et 40°C) peuvent être graves si elles persistent.

### **2.5.2. L'adaptation des plantes aux températures chaudes.**

De nombreuses plantes évitent la surchauffe en faisant adopter une position plus verticale aux feuilles, comme le cas des graminées, en provoquant l'enroulement des feuilles le long de leur grand axe. D'autres adaptations morphologiques comprennent la production de poils foliaires (pubescence) et de surfaces cireuses qui réfléchissent la lumière réduisant de ce fait l'absorption d'énergie, ou la production de feuilles plus petites et fortement découpées qui réduisent la couche d'air limite et permettent une perte maximum de chaleur par convection ou conduction (Hopkin2003).

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

#### **2.5.3.1 la photosynthèse**

Les plantes occupent sur notre globe des habitats dont les températures sont très contrastées. La réponse de leur activité photosynthétique à la température reflète le régime thermique qu'elles subissent. Ceci est apparent chez des espèces différentes dont les aires de répartitions sont différentes. Mais aussi observable chez la même espèce si son aire



géographique est très grande. On voit alors des variations de la réponse thermique de la photosynthèse le long de gradients altitudinaux ou latitudinaux. En règle générale les plantes issues des milieux froids ou des saisons froides ont une photosynthèse plus élevée à basses températures, tandis que celles se trouvant dans les milieux chauds, ou se développant durant la saison chaude, ont une photosynthèse plus élevée à hautes températures (Cornic, 2007).

La température est le troisième facteur limitant mis en évidence par Blackman comme pour toutes les activités métabolique. On observe un effet positif de température jusque 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 (Heller et al 1989)

Différents auteurs ont notés 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). 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).

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).

### **2.5.3.2 La respiration**

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

L'activité de respiration végétale (consommation d'oxygène, rejet de gaz carbonique) augmente avec la température.

A long terme, la respiration des plantes pourrait s'acclimater aux températures plus chaudes. En effet, les « taux de respiration » de plantes que l'on fait pousser à des températures élevées ou normales sont quasiment identiques, En outre, les plantes situées dans des zones chaudes ont une sensibilité aux variations de température beaucoup plus faible que celles situées dans des régions où le climat est plus frais (Mathieu, 2006).

L'action de la température sur l'intensité respiratoire est à retenir dans tous les problèmes de stockage des données agricoles, qu'il s'agit de substances sèches comme les grains ou aqueuses comme les tubercules et les racines. Toute élévation de température entraîne :

- Une consommation exagérée de glucides, d'où la perte de la matière;
- Une production plus intense de CO<sub>2</sub> susceptible de s'accumuler dans un local clos (Diehl ,1975).

### **2.5.3.3 La croissance**

Il est à remarquer en effet que si les hautes températures dégradent les structures vivantes et si les tissus meurent lorsque ils sont porté au delà de 125 à 150°C par contre le froid les empêche seulement de se développer.

L'effet de la température sur la croissance et la résultante de son action sur la photosynthèse et les réactions métaboliques mais aussi sur l'alimentation hydrique et minérale. (Heller et al 1989).

### **2.5.3.4 Les 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 une espèce a évolué ces mécanismes sont :

1. la dépendance thermique aux niveaux biochimique et métabolique;
2. la tolérance thermique en relation avec la stabilité membranaire;
3. la thermo tolérance induite par une augmentation graduelle de température vis-à-vis de la production de protéines contre le choc thermique.

#### **2.5.3.5. Les processus biochimiques**

Les effets de la température sur les vitesses de réactions biochimiques peuvent être modélisés comme le produit de deux fonctions, une vitesse de réaction progressive croissant exponentiellement et une chute exponentielle résultant d'une dénaturation enzymatique avec l'augmentation de la température.

La défaillance d'un seul système enzymatique critique peut causer la mort d'un organisme. Ce fait peut expliquer pourquoi la plupart des espèces de cultures survivent à des températures élevées prolongées jusqu'à une gamme assez étroite de 40 à 45 °C. La relation entre l'environnement thermique d'un organisme et la dépendance thermique des enzymes a été bien établie (Senioniti et al. 1986).

La dépendance thermique de la vitesse apparente de réaction pour des enzymes sélectionnées peut indiquer la gamme thermique optimale pour une plante. La gamme dans laquelle la constante apparente de Michaelis-Menten pour le CO<sub>2</sub> (K<sub>m</sub>) est minimale et stable est appelée la fenêtre cinétique thermique (Mahan *et al.*, 1987).

#### **2.5.3.6 Membranes cellulaires**

Les parois et les membranes des organelles 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. Une lésion aux parois, due à la chaleur, peut être mesurée par une fuite ionique (Chaisompongpan *et al.*, 1990; Hall, 1993).

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 qui conduit à la rupture des membranes et à, la perte du contenu cellulaire (Ahrens et Ingram, 1988

Le stress thermique peut être oxydant. La peroxydation des lipides membranaires, un symptôme de lésion cellulaire, a été observée à hautes températures. La synthèse renforcée d'un anti-oxydant par les tissus végétaux peut accroître la tolérance cellulaire à la chaleur mais aucun anti-oxydant de la sorte n'a été identifié de façon positive (Cornic, 2007).

### **2.5.3.7. Adaptation morphologique aux hautes températures**

De nombreuses plantes évitent la surchauffe en faisant adopter une position plus verticale aux feuilles, comme le cas des graminées, en provoquant l'enroulement des feuilles le long de leur grand d'axe. D'autres adaptations morphologiques comprennent la production de poils foliaires (pubescence) et de surfaces cireuses qui réfléchissent la lumière réduisant de ce fait l'absorption d'énergie, ou la production de feuilles plus petites et fortement découpées qui réduisent la couche d'air limite et permettent une perte maximum de chaleur par convection ou conduction. Il faut noter que ces mêmes modifications permettent de réduire la perte d'eau par transpiration, qui habituellement joue un rôle important dans la dissipation de la chaleur par les feuilles.

## **2.6. Le stress thermique par les basses températures**

Les végétaux peuvent s'adapter à des températures extrêmes soit basse (en dessous de 12°C) soit élevées (en dessus de 35°C). Ils sont aussi capable de résister à la congélation (<< 0° C). La résistance au froid peut être acquise par un prétraitement (endurcissement). Selon Andrews 1987, l'exposition directe à des températures gélives peut causer des dommages considérables aux plantes De tels dommages peuvent modifier la tolérance des plantes face à d'autres stress ou même les détruire

### **2.6.1. L'endurcissement :**

Dans la nature, les températures basses non gélantes de la fin de l'automne ou du début de l'hiver sont les principaux déclencheurs de l'acclimatation au froid bien que la qualité de la lumière et la photopériode peuvent aussi être impliquées dans cette réponse. Ainsi, chez le Pois, cette adaptation au froid, grâce aux températures basses, n'a pas lieu

quand l'intensité lumineuse est faible. Par contre, quand l'intensité lumineuse est normale, les Pois d'hiver acquièrent une plus grande tolérance au gel que les Pois d'été (Bourion et al. 2003). L'acclimatation est un processus réversible qui disparaît une fois que les températures remontent au-dessus de zéro (un redoux pendant l'hiver ou le retour des conditions printanières) (Fisher ,2004)

L'acclimatation au froid comprend d'abord l'adaptation des plantes aux basses températures, puis l'acquisition de la tolérance au gel. L'acclimatation au froid déclenche plusieurs modifications biochimiques et physiologiques ( augmentation des concentrations en sucres, en protéines solubles, en acides organiques, en ions de calcium et en acide abscissique, ainsi que de la synthèse de nouvelles protéines et des modifications de la composition en lipide des membranes. Ces variations résultent de changement dans l'expression de certains gènes.

### **2.6.2. L'effet du froid sur les membranes**

Lors de l'acclimatation au froid, une augmentation du taux d'insaturation des acides gras constituant des lipides membranaires et une augmentation du rapport phospholipides sur protéines sont observées dans les membranes. L'asymétrie des lipides de la membrane semble contribuer à la stabilité de cette dernière à basse température (Sung et al. 2003). Ces changements empêchent la fuite d'électrolytes ou d'autres molécules de la cellule vers le milieu extérieur et la perturbation du fonctionnement des protéines de transport qui ont un rôle important dans le contrôle des flux métaboliques.

Le froid accroît par exemple, l'efflux passif des ions  $K^+$  hors des racines de riz (Zsoldos et Karvaly ,1979 in Côme ,1992), cet accroissement à basse température des fuites ioniques entre compartiments cellulaires est un phénomène général. Les membranes cellulaires présentent au froid des réorganisations structurales (tendances à la rigidification). On peut observer, en réaction, divers mécanismes cellulaires tendant à contrebalancer la rigidification (Côme ,1992).

### **2.6.3. Effet des basses températures sur la photosynthèse**

La lumière en association avec les températures basses est nécessaire à cette acclimatation (Levitt J, 1980). Dans les conditions naturelles, l'endurcissement au froid est lié

au raccourcissement des jours lorsque la mauvaise saison arrive. Les plantes qui ne perçoivent pas la longueur des jours sont incapables de s'acclimater au froid

Durant la photosynthèse journalière, la température n'est pas cruciale si elle n'est pas suivie par une nuit froide: En effet, lorsque la photopériode est de 12 heures, l'endurcissement est voisin chez les plantes maintenues en continu à 1°C et chez celles qui sont soumises à 21°C durant la journée et à 1°C durant la nuit. Par contre les plantes ne sont pas endurcies si elles sont placées à 1°C durant la journée et 21°C durant la nuit. La photosynthèse à 1°C ou 21°C est responsable de l'acclimatation en synthétisant des produits qui peuvent disparaître rapidement lorsque la température nocturne est élevée (Cornic, 2007).

La photosynthèse peut exister au dessous de 0°C, le minimum de température nécessaire pour avoir un bilan de photosynthèse positif et en relation avec les phénomènes de gelée des tissus (Gantier, 1978 in Côme, 1992).

## **2.6.4. Les changements métaboliques**

### **2.6.4.1. Synthèse des protéines LEA**

Des protéines LEA (Late Embryogenesis Abundant) sont accumulées dans les tissus pendant les périodes d'acclimatation à des stress qui mettent en jeu la déshydratation comme le froid. Ce sont des protéines hautement hydrophiles qui restent stables même après avoir bouilli. Elles ont une composition en acides aminés simple et contiennent des motifs répétés en acides aminés dont  $\alpha$ certaines régions sont capables de former des hélices amphipathiques. Ces hélices permettraient aux protéines de stabiliser les membranes contre les dommages du gel (Thomashow 1999).

### **2.6.4.2. Synthèse des sucres**

L'accumulation des sucres est à même de diminuer la température de cristallisation de la glace et la quantité de glace formée. En effet, chez les plantes pérennes tempérées, une forte augmentation en sucres solubles et une diminution de la teneur en amidon dans les tissus en automne et en hiver sont observées (Guy et al. 1992). Bourion et al. (2003), dans leurs études

sur le Pois, montrent que la teneur en sucres solubles augmente rapidement pendant les 7 premiers jours de froid et diminue légèrement durant les 7 jours suivant. Le stockage des sucres chez le Pois d'hiver peut avoir un rôle nutritionnel pendant l'acclimatation au froid mais aussi participer directement à la tolérance au gel comme moyen d'assurer, également, la cryoprotection des tissus de la plante surtout ceux comme les feuilles qui sont nécessaires pour amener l'énergie à la plante.

Chez différentes plantes ligneuses, ce serait spécifiquement l'accumulation du raffinose qui est corrélé à la tolérance au gel bien que le rôle exact du raffinose dans la protection contre le gel reste à élucider. Chez les herbacées, ce sont généralement le saccharose et parfois des polymères solubles vacuolaires comme les fructanes (inuline chez la Chicorée et phléanes pour les Poacées) qui sont corrélés à cette tolérance au gel. Des changements de concentration et de distribution des sucres pourraient constituer un mécanisme pour protéger des compartiments spécifiques pendant la déshydratation. Selon Gerhardt et Heldt (1984), il existe des changements considérables dans la localisation des sucres entre le jour (vacuole) et la nuit (cytoplasme) chez l'Épinard. Des changements similaires pourraient être observés entre des cellules de plantes acclimatées ou non au froid.

#### **2.6.4.3. Expression génétique**

L'évolution des stratégies adaptatives permet aussi aux cellules de la plante de sentir les stimuli environnementaux et d'activer les réponses pour la survie. Pour répondre aux basses températures, les plantes doivent donc percevoir le stress, transmettre le signal au noyau et activer l'expression de gènes impliqués dans les mécanismes d'adaptation.

La principale régulation des gènes inductibles par le froid est une régulation transcriptionnelle. Cette régulation est en grande partie modulée par des protéines se fixant sur des sites spécifiques dans les régions promotrices des gènes. Le motif CCGAC (ou CRT pour C-repeat) forme le motif d'un LTRE (low temperature responsive element) ou DRE (dehydration responsive element). Ce motif ou des variantes sont présents dans les promoteurs de COR15A ou COR6.6 d'Arabidopsis, de BLT4.6 de l'Orge, ou de BN115 du Chou. Un autre élément nommé TCA peut aussi intervenir. Il est présent dans une région importante du promoteur de WCS120 et s'il est tronqué, la réponse au stress est beaucoup moins efficace ce qui montre son implication dans cette réponse au stress (Ouellet 2002).

# Partie 2

# Présentation de la zone d'étude

# et

# Matériels et Méthodes

## **Chapitre 1. Présentation de la zone d'étude.**

### **1.1. Situation géographique :**



### **1.1.1. La région de Djebel Ouahch (Kef El Akhel)**

Constantine, l'une des grandes Wilayas de l'Est Algérien, limitée au Nord par la W. de Skikda, au Sud par la W. de Oum el-Bouaghi, à l'Est et à l'Ouest respectivement par la wilaya de Mila et Guelma.

La forêt de Djebel - Ouahch, située au côté Est de la ville de Constantine, regroupe, plusieurs essences forestière (Chêne vert, Chêne liège, Erable champêtre, Peuplier blanc et Pin pignon).

La superficie totale de plantation en pin pignon dans la zone de Kef El Akhel est estimée à 412ha, son situation géographique est : y 4031-4036, x 294-298 et son exposition générale est Nord -Est.

Elle s'éloigne de 11 à 12 Km de Constantine, elle est limitée au :

- Nord : par la région de Zighoud Youssef.
- Sud : par l'arboretum de Draa Naga, vers elkhroub.
- Est : vers El Aria.
- Ouest : par la pépinière de Djebel – Ouahch, vers Constantine.

### **1.1.2. Topographie et géologie**

Le relief varie en escalier, nous remarquons des pentes moyennes à fortes, par contre au sud, une topographie plus calme avec des pentes moyennes plus faibles, le constantinois se caractérise par de grands massifs Karstifiés, émergant en horst d'un ensemble de terrain à dominance marneuse (Coiffait et al, 1977 ; in Bourass et Frika, 1999).

### **1.1.3. Géomorphologie**

La présence d'une chaîne numidique, composée de grès très friable mélangés avec de l'argile imperméable, ce binôme subit une action érosive différentielle dégagent un paysage de grès, cet dernière donne la roche la plus dure constituant le relief dominant.

### **1.1.4. Pédologie**

Les principaux types de sol rencontrés au niveau de Djebel Ouahch sont:

- Sols minéraux bruts: 9%
- Sols peu évolués : 20%

- Les vertisols: 1%
- Les sols calcimagnésiques:20%
- Les sols isohumiques:50% (C.U.R.E.R, 1977)

### **1.1.5. Étude climatique**

La connaissance des conditions climatiques d'une région nécessite de longs séries de données climatiques (pluies, température, vents,...etc.), car elles permettent de voir l'évolution du climat sur la région et aussi de maîtriser les fluctuations observées lors des changements climatiques et leurs effets possibles. Par ailleurs, l'information pluviométrique peut permettre la compréhension du régime pluviométrique et ainsi l'évaluation du phénomène de sécheresse.

L'Algérie est sous l'influence d'un climat méditerranéen. Les étés sont chauds et secs, les hivers doux et humides (400 mm à 1 000 mm de pluie par an). Les températures moyennes varient en fonction de l'altitude. En été, le sirocco, un vent extrêmement chaud et sec, souffle du Sahara sur les Hauts Plateaux et dans l'Atlas saharien, les précipitations sont peu abondantes.

Agriculteurs et forestiers doivent régulièrement faire face à des déficits hydriques estivaux car la répartition des précipitations n'est pas homogène tout au long de l'année : celles-ci sont surtout concentrées en automne et en hiver, lorsque la végétation est au repos, et font défaut lors de la phase de croissance.

Une réduction des disponibilités en eau et une augmentation des besoins en eau d'irrigation sont prévoir pour l'agriculture, causée par les modifications du régime des pluies la hausse de l'évapotranspiration et l'élévation du niveau de la mer ; conséquences des changements climatiques accentuant ainsi les risques sécheresses aux périodes cruciales des cycles de croissance de la végétation.

#### **1.1.5.1 Conditions climatiques de la région étudiée**

Comme l'ensemble de l'aire méditerranéenne, la région de Constantine est caractérisée par des précipitations irrégulières et soumises à l'alternance bien marquée d'une saison sèche et d'une saison de pluies.

### 1.1.5.2 Paramètres climatiques:

Les données climatiques, concernant la température et les précipitations ont été obtenues à partir de la station météorologique de Ain el Bey pour la période de 1971-2006. Et de 1983 à 2006 pour l'humidité.

#### 1.1.5.2.1 Pluviométrie

##### 1.1.5.2.1.2 Répartition mensuelle des précipitations

La pluie joue un rôle déterminant puisque c'est elle qui règle la vie et la distribution des végétaux.

**Tableau 1 :** Modules pluviométriques mensuelles et annuelles (1971-2006)

| Stations       | J     | F     | M    | A     | M     | J     | J   | A     | S     | O     | N     | D     | Module<br>Annuel | Module<br>mensuel |
|----------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------------------|
| <b>Ain Bey</b> | 72,38 | 57,89 | 58,2 | 55,88 | 45,91 | 18,87 | 6,5 | 11,18 | 37,64 | 37,51 | 53,35 | 77,13 | <b>532,44</b>    | <b>44,37</b>      |

Source : ONM . Constantine 2006

L'analyse du tableau 1, nous permet de constater que, la moyenne annuelle de la pluviométrie est de **532,44** mm. La valeur maximale est de 77,13 mm enregistrée pendant le mois de décembre, par contre le mois le plus sec est le mois de juillet avec une pluviométrie de 6,5mm. On remarque aussi que la répartition temporelle des pluies est très variable (figure 5).

La région de Constantine appartient au domaine semi aride d'après la figure 6 des zones bioclimatiques pour la région de Constantine, cependant Djebel Ouahch appartient au domaine sub humide.

Concernant la figure 7 des précipitations annuelles moyennes, la région peut recevoir des sommes qui s'échelonnent entre 500 et 750mm.

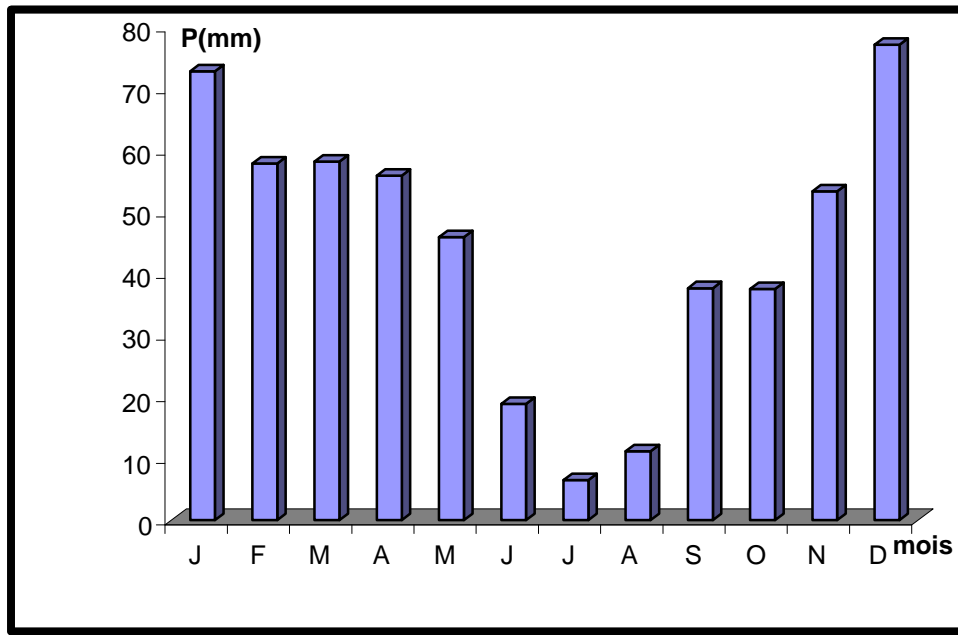


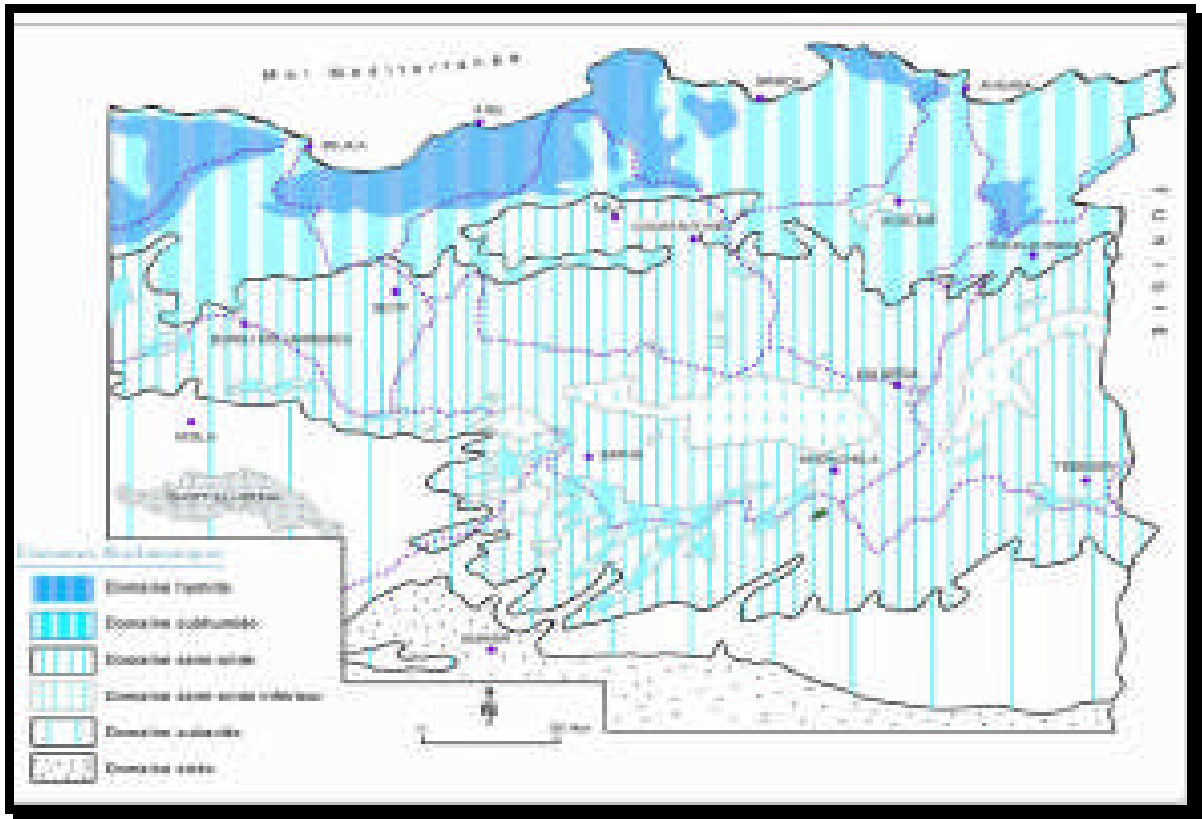
Figure 5. Moyennes mensuelles des précipitations

#### 1.1.5.2.1.3. Répartition saisonnière des précipitations.

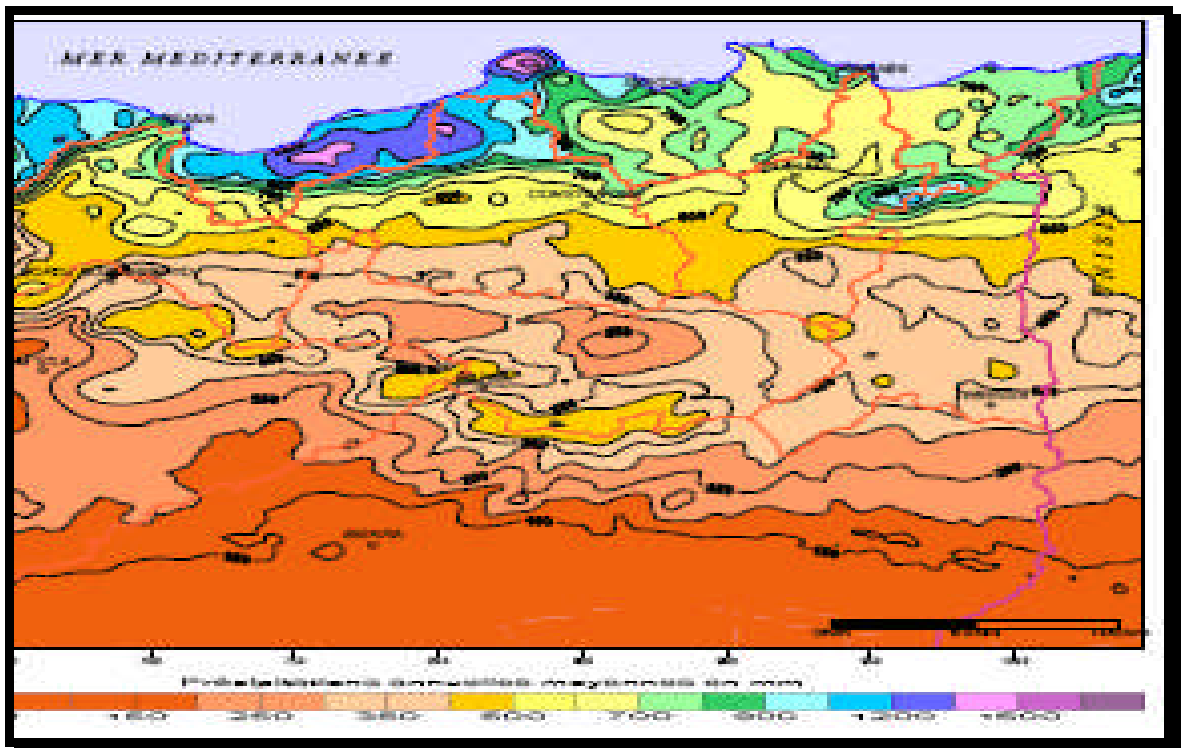
Tableau 2 : Répartition saisonnière des précipitations (1971-2006)

| Stations | Pluviométrie | AUTOMNE | HIVER | PRINTEMPS | ETE   |
|----------|--------------|---------|-------|-----------|-------|
| Ain Bey  | P (mm)       | 128,5   | 207,4 | 159,99    | 36,55 |
|          | P (%)        | 24,13   | 38,94 | 30,04     | 6,86  |

Les pluies sont très nettement groupées pendant les mois d'hiver et d'automne, le maximum se situant généralement en décembre, plus rarement en juin. L'été est la saison sèche, le minimum se situe d'ordinaire en juillet. Or, une telle répartition des pluies correspond toujours, selon les définitions actuellement admises, à un climat d'un régime saisonnier du type H.P.A.E. Ceci peut s'expliquer par la position géographique de la station de Ain Bey qui se trouve dans une zone de transition entre les régions à régime sub-humide plus au Nord.



**Figure 6.** Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'est algérien (établie d'après Côte M, 1998a)



**Figure 7.** Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien (établie d'après A.N.R.H, 1993 : Données moyennes de 60 ans, période du 1 septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1 septembre 1968 au 31 août 1989)

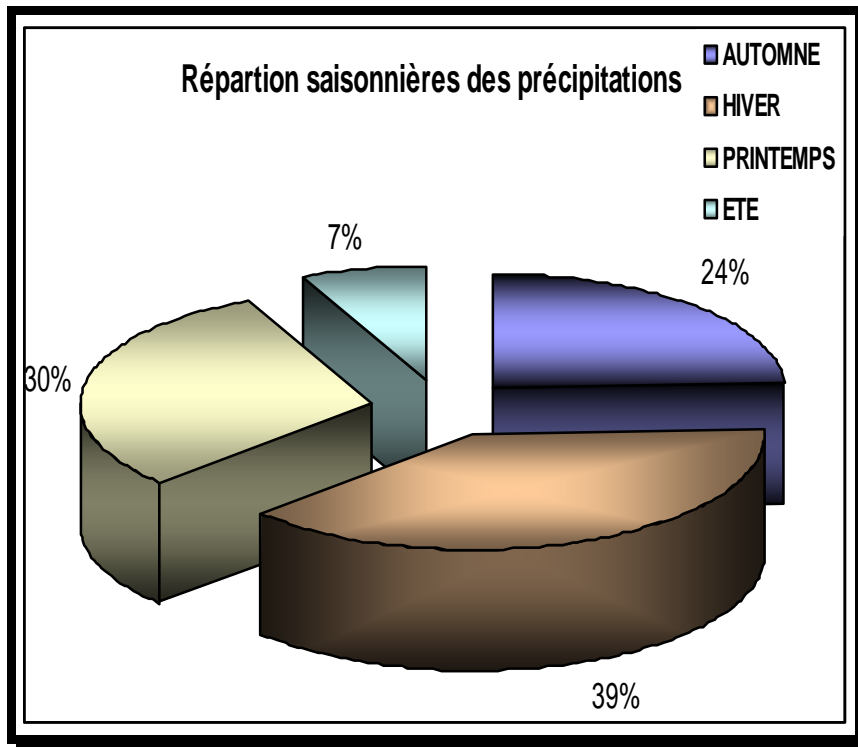


Figure 8. Répartition saisonnière des précipitations

#### 1.1.5.2.1.4. Fréquence saisonnière :

Tableau 3. Coefficient de fréquence des précipitations journalière.

|         | Mois | S    | O    | N     | Aut   | D     | J     | F     | Hiv   | M     | A    | M    | Print | J    | J    | A    | Eté   |
|---------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|-------|
| Ain Bey | NJP  | 7,5  | 8,36 | 11,77 | 27,37 | 12,91 | 13,30 | 12,47 | 38,68 | 11,94 | 11,5 | 8,91 | 32,35 | 5,22 | 3,08 | 4,69 | 12,99 |
|         | Cf   | 0,25 | 0,27 | 0,39  | 0,30  | 0,41  | 0,42  | 0,43  | 0,42  | 0,38  | 0,38 | 0,28 | 0,34  | 0,17 | 0,1  | 0,15 | 0,14  |

Source : ONM . Constantine 2006

L'office mondial de météorologie considère comme jour pluvieux, chaque jour dont la pluie est supérieur ou égale à 0.2mm en 24h. Le coefficient de fréquence est le rapport du nombre de jours de précipitation par le nombre de jours du mois considéré. Les résultats du coefficient de la fréquence mentionnée dans le tableau 3 confirment celles du régime saisonnier où la saison la plus pluvieuse est la saison hivernale tandis que la saison sèche est la saison estivale

#### 1.1.5.4.2 Température

La température représente un facteur limitant de toute première importance car, elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (Ramade, 1984).

La température est donc l'un des éléments majeurs influençant le climat d'une région.

**Tableau 4. Moyennes mensuelles des températures.**

| mois<br>T°C | J     | F     | M     | A      | M     | J     | J     | A     | S     | O     | N     | D     | Moy          |
|-------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| T°min       | 2,37  | 2,93  | 4,56  | 6,63   | 10,6  | 15,07 | 17,76 | 18,15 | 15,09 | 11,05 | 6,5   | 3,69  | <b>9,53</b>  |
| T°moy       | 6,52  | 7,49  | 9,71  | 12,2   | 16,97 | 22,02 | 25,19 | 25,28 | 21,12 | 16,55 | 11,03 | 7,69  | <b>15,15</b> |
| T°max       | 11,59 | 12,93 | 15,57 | 18,497 | 23,96 | 29,72 | 33,68 | 33,42 | 28,46 | 23,05 | 16,66 | 12,77 | <b>21,69</b> |

Source : ONM . Constantine 2006

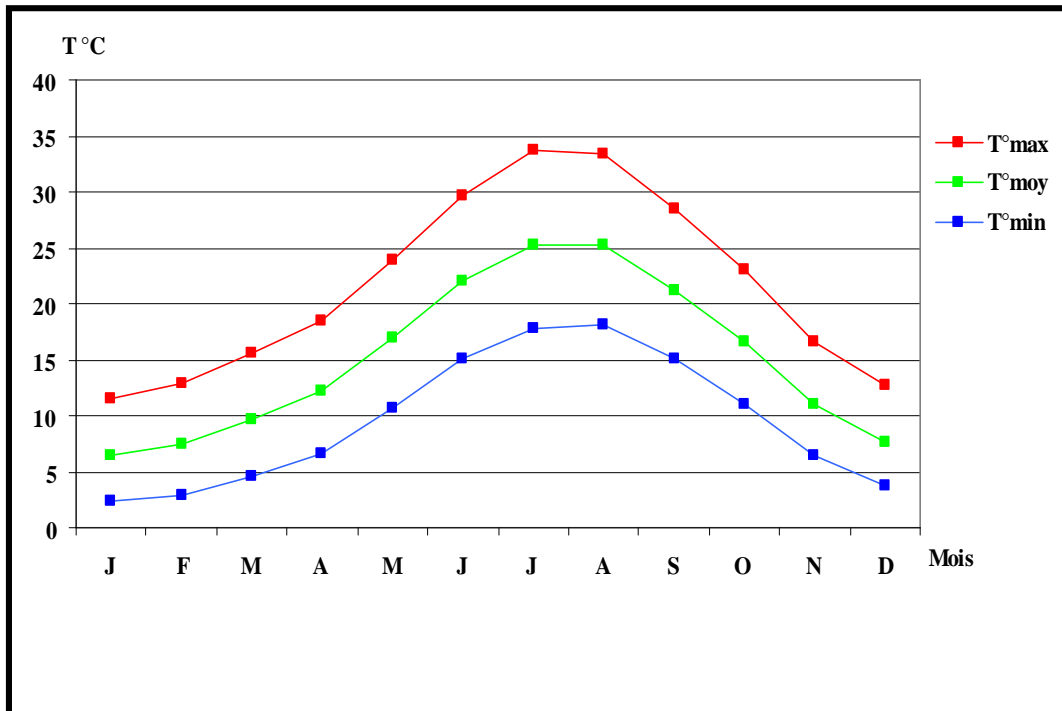
La température moyenne annuelle est de 15.15°C. Le maximum des températures minimales est observé au mois d'août atteint 18.15°C. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées pendant le mois de janvier (2.37°C)

L'étude des moyennes des maxima montre que les plus basses d'entre elles sont atténuées en janvier (11.59). Les valeurs les plus élevées sont observées au mois d'août enregistrant 33.68°C.

##### 1.1.5.4.2.1 Le régime thermique.

P. Seltzer a apporté dans une étude sur le climat de l'Algérie que «la température moyenne est, de Novembre à avril, inférieure à la moyenne annuelle, et elle lui est supérieure de mai à septembre » c'est pour cette raison qu'il a divisé l'année en deux saisons (Abbas 1999)

- ❖ La saison froide va de Novembre à avril où les températures moyennes sont inférieures à la moyenne annuelle.
- ❖ Le semestre chaud va de Mai à Octobre mois pendant lequel les températures moyennes mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle



**Figure 9.** Moyennes mensuelles des températures dans la station de Ain Bey (1971-2006)

#### 1.1.5.4.3 Synthèse Bioclimatique :

##### 1.1.5.4.3.1 Diagramme ombrothermique

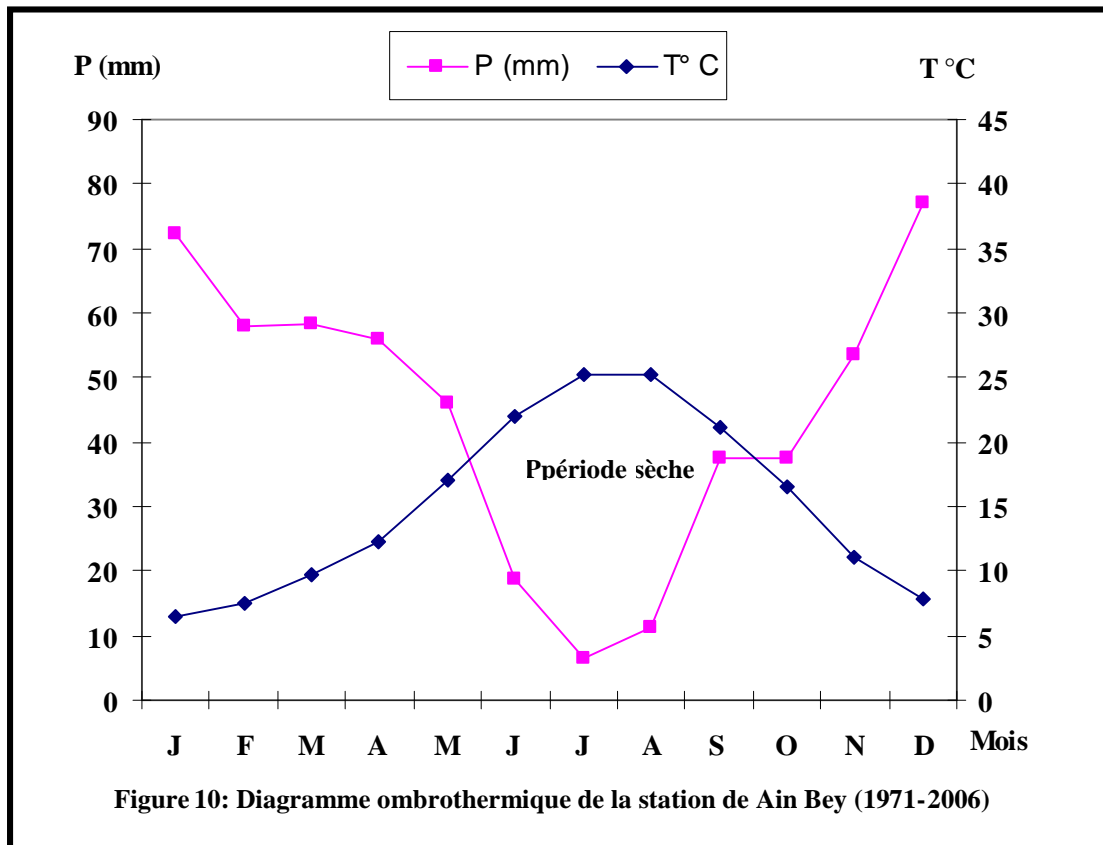
Les courbes des valeurs mensuelles des températures et des précipitations le long de l'année permettent par ailleurs d'identifier la période de sécheresse relative et la durée de la saison relativement humide, de même que divers seuils dans les valeurs des températures et des précipitations mensuelles.

Le diagramme ombrothermique du Gaussen est utilisable dans le monde entier. Il est construit à partir des courbes des moyennes des précipitations et des températures, selon l'échelle  $P=2T$ .



Le diagramme ombrothermique du Gaussen fait apparaître deux périodes bien délimitées :

- ❖ Une période sèche relativement courte, s'étala du mois du Mai jusqu'au début du mois de septembre ;
- ❖ Une période humide s'étal sur le reste de l'année (figure 10)



#### 1.1.5.4.3.2 Détermination de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte

A partir des moyennes mensuelles des précipitations et des températures, Euverte a déterminé l'humidité du sol selon quatre types de régimes :

- Un régime très sec ou  $P / T < 1$ ;
- Un régime sec ou  $1 < P / T < 2$ ;
- Un régime subhumide où  $2 < P / T < 3$ ;

**Tableau 5. Le régime des mois selon la méthode d'Euverte**

| Station     | Régime     | Mois   |
|-------------|------------|--|
| Constantine | Très sec   | Juin, Juillet, et Août                               |
|             | Sec        | Septembre  |
|             | Sub-humide | Octobre et Mai                                       |
|             | Humide     | Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars, et Avril |

#### 1.1.5.4.3.3 Indice de De Martone

Le géographe De Martone définit l'indice d'aridité (**A**) en se basant sur les paramètres de température et précipitation selon la formule suivante :

$$A = P / T + 10$$

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

T : Température moyenne annuelle en (°C).

A : Indice de De Martone.

P = 532,48mm et T = 15,15 °C; donc

$$A = 21,17$$

Selon l'indice De Martone, la zone d'étude appartient à la zone tempérée se rapprochant d'un climat semi-aride. Ceci est dû à la position de la station très influencée par le climat sub-humide.

#### 1.1.5.4.3.4 Quotient pluviothermique et étages bioclimatiques d'Emberger

Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat. Les limites de séparation entre les différents étages climatiques restent encore imprécises. Il est intéressant de signaler qu'il ne s'agit pas de lignes au sens géométrique du mot, mais plutôt de bandes de transition mixte. À ce titre, Emberger a bien précisé que, sur le diagramme, les limites ont été tracées là où le changement de la végétation a été observé (De Granville, 1971)

Le quotient d'Emberger est spécifique du climat méditerranéen, il est le plus fréquemment utilisé en Afrique du Nord. Le quotient  $Q_2$  a été formulé de la façon suivante :

$$Q_2 = [ 2000P / M^2 - m^2 ]$$

**M** : moyenne du maxima du mois le plus chaud en degré absolu °K.

**m** : moyenne du minima du mois le plus froid en degré absolu °K.

**P** : précipitation annuelle en mm.

Et en abscisse, la moyenne des minima de la saison la plus froide (hiver) en °C.

$$M = 33,42 + 273,15 = 306,57 \text{ °K}$$

$$m = 2,37 + 273,15 = 275,52 \text{ °K}$$

$$P = 532,48 \text{ mm.}$$

$$Q_2 = 58,92.$$

Le  $Q_2$  nous a permis de localiser notre station d'étude sur le climagramme d'Emberger, à un climat semi-aride à hiver frais influencé par le climat subhumide par suite à la position de la station de Ain El bey. (Figure 11)

Sur une période de 25 ans, la région de Constantine a enregistré un climat semi aride à hiver frais. Les années 1983 et 1984 sont caractérisées, respectivement, par un climat semi aride à hiver froid et sub humide à hiver frais.

**Tableau 06.** Les valeurs du quotient pluviométrique d'Emberger (1978-2004).

| Année       | M(°c) | m(°c) | P(mm) | Q2 (X)       |
|-------------|-------|-------|-------|--------------|
| 1978        | 32,7  | 0,4   | 457,4 | <b>48,88</b> |
| 1979        | 33,1  | 2,4   | 702,4 | <b>78,65</b> |
| 1980        | 34    | 1,6   | 541,3 | <b>57,42</b> |
| 1981        | 31,7  | 1,2   | 522,7 | <b>59,18</b> |
| 1982        | 36,1  | 2,6   | 663,5 | <b>67,71</b> |
| <b>1983</b> | 35,6  | -0,6  | 252,7 | <b>24,02</b> |
| <b>1984</b> | 34,5  | 2,2   | 876,1 | <b>93,05</b> |
| 1985        | 35,2  | 2     | 462,3 | <b>47,73</b> |
| 1986        | 34,5  | 2,7   | 561,4 | <b>60,51</b> |
| 1987        | 35,8  | 2,1   | 498,7 | <b>50,66</b> |
| 1988        | 34,7  | 2,4   | 512   | <b>54,34</b> |
| 1989        | 33,7  | 1,3   | 372,7 | <b>39,58</b> |
| 1990        | 32,3  | 2,5   | 426,2 | <b>49,22</b> |
| 1991        | 33,8  | 0,4   | 509   | <b>52,50</b> |
| 1992        | 34    | 0,6   | 758   | <b>78,14</b> |
| 1993        | 34,4  | 0,8   | 391,4 | <b>40,06</b> |
| 1994        | 37,4  | 3,5   | 451,6 | <b>45,37</b> |
| 1995        | 34,3  | 2,2   | 534,6 | <b>57,15</b> |
| 1996        | 33,3  | 3     | 628   | <b>71,15</b> |
| 1997        | 33,8  | 3,2   | 506,5 | <b>56,75</b> |
| 1998        | 35,4  | 2,3   | 570,3 | <b>59,01</b> |
| 1999        | 37,3  | 1,5   | 514,2 | <b>49,10</b> |
| 2000        | 35,1  | -0,3  | 390,5 | <b>37,97</b> |
| 2001        | 35,9  | 2,2   | 463,5 | <b>47,07</b> |
| 2002        | 33,5  | 1,2   | 485,2 | <b>51,71</b> |
| 2003        | 37    | 2,6   | 767,6 | <b>76,17</b> |
| 2004        | 35,5  | 2,8   | 701   | <b>73,34</b> |

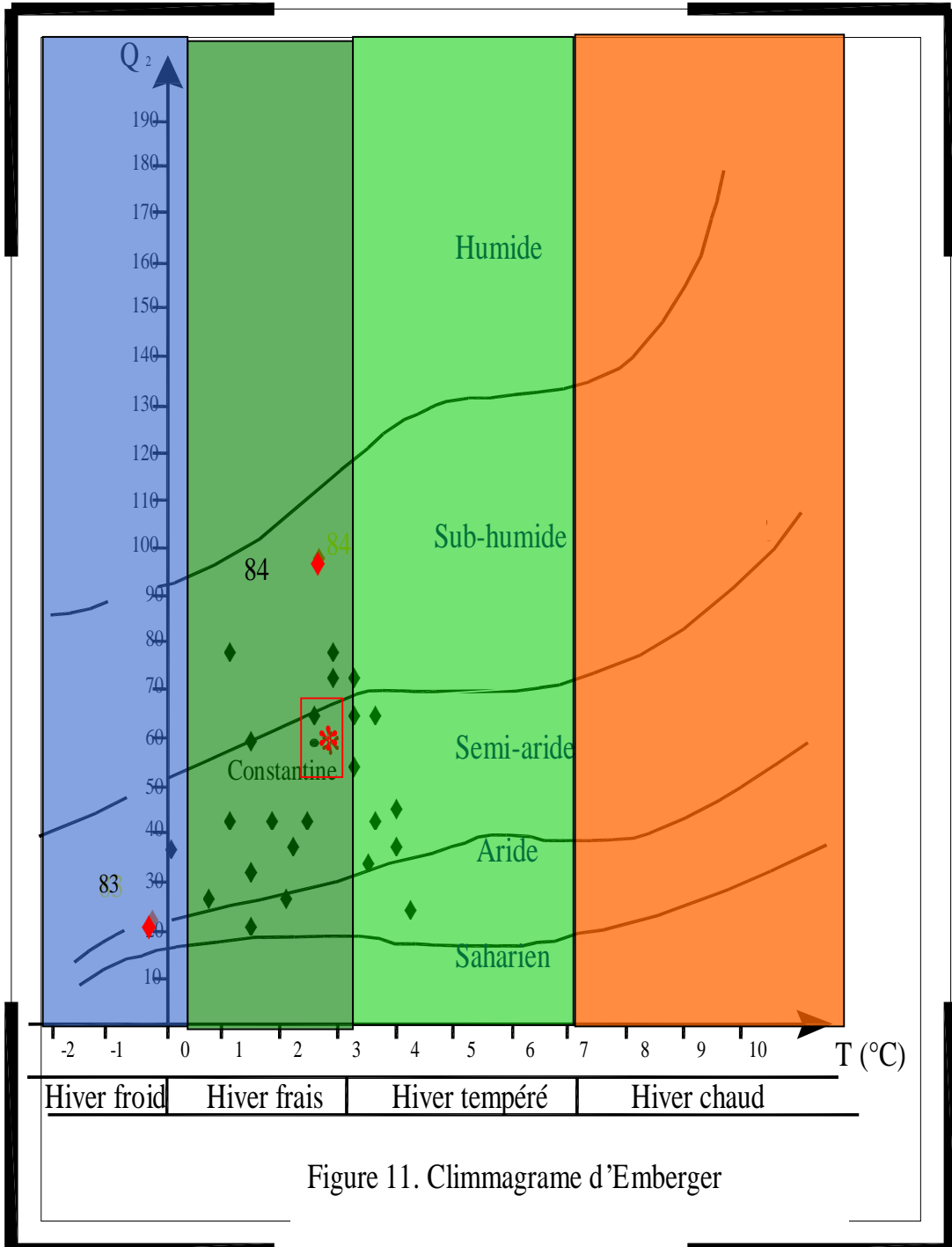


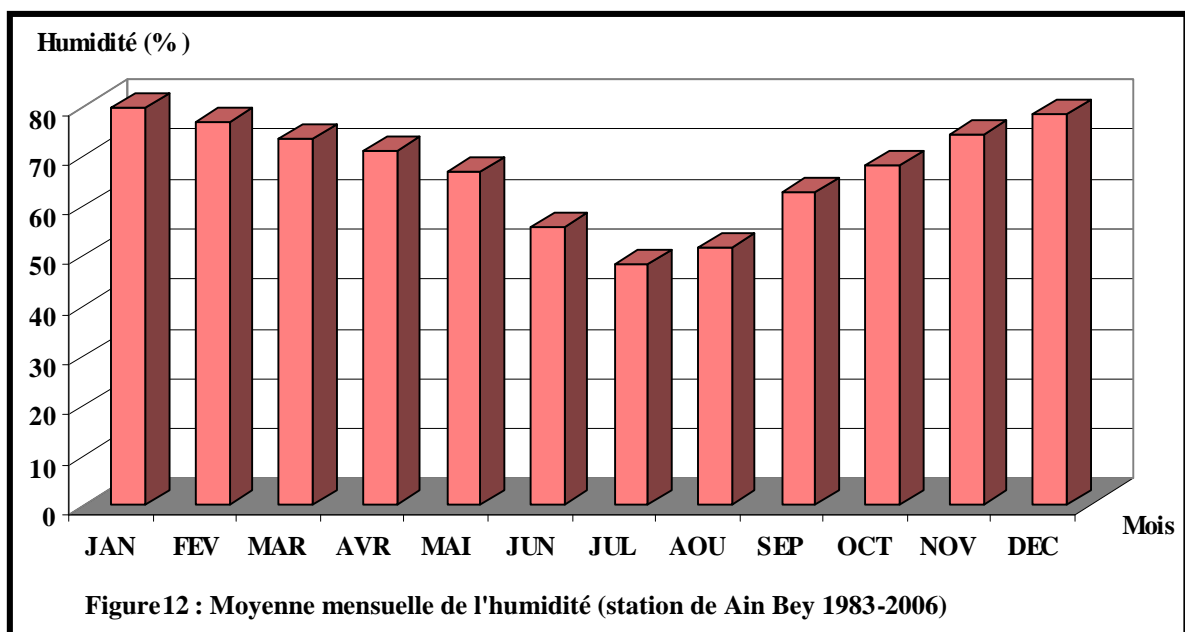
Figure 11. Climmagrame d'Emberger

#### 1.1.5.4.4 Autres facteurs climatiques :

##### 1.1.5.4.4.1 Humidité atmosphérique

L'Humidité a une grande importance pour la végétation forestière, c'est la source de toutes les précipitations, elle contrôle en outre pour une large part les taux d'évaporation du sol et de la couverture végétale.

L'évolution mensuelle de l'humidité calculée dans la station de Ain Bey sur une période de vingt quatre ans (1983-2006) est représentée dans la figure (12) qui montre que l'humidité est souvent supérieure à 50 % sauf en été avec une valeur minimale de l'ordre 48,17 % au mois de **juillet**. La valeur maximale du mois de **janvier** est de 79,25 % ceci indique que l'atmosphère se trouve dans un état plus ou moins proche de la condensation (figure 12).



##### 1.1.5.4.4.2 Les vents

Jusqu'à une vitesse de 100 km/h, le vent ne provoque que peu de dégâts aux forêts, abattant seulement quelques arbres malades ou au système racinaire déficient. De 100 à 150 km/h apparaissent des chutes ou bris d'arbres appelés chablis, mot qui désigne également

l'arbre abattu, qui peuvent être plus ou moins importants selon les caractéristiques du peuplement et de la station. Au delà de 150 km/h, bien peu de peuplements résistent (Lemmnauor 2002).

La région de Constantine est soumise à l'influence de 02 types du vent :

#### 1. Vents du Nord Ouest et du Nord

Ce sont les vents dominants. Ils soufflent du nord-ouest et du nord. Une grande partie des précipitations provient de l'ascendance forcée de ces masses d'air sur les monts de la région de constantine. Ils sont fréquents en l'hiver.

#### 2. Vents du Sud

Secs et chauds, les vents du Sud qui soufflent surtout au été et à la fin d'automne, ramènent avec eux une quantité appréciable de sable et de limon. Peut être nuisible pour la végétation en accentuant l'évaporation.

#### **1.1.5.4.5 Conclusion :**

Les données climatologiques mettent en évidence deux saisons bien distinctes. La première brève et sèche et la deuxième longue et humide.

Les températures moyennes annuelles sont de l'ordre de 15,15°C. Quant au régime thermique nous avons deux saisons : Une saison chaude qui va de mai à octobre, à laquelle s'oppose une saison froide qui va de novembre à avril. Ceci se manifeste par une période de haute eau qui va de décembre jusqu'à avril

La région d'étude est de climat semi-aride avec une moyenne de précipitations mensuelles comprise entre 6.5mm et 77.13 mm et une moyenne annuelle à 532.44 mm

## **Chapitre 2 Matériels et méthodes**

### **2.1. Introduction**

Ce chapitre a pour but de présenter les expériences réalisées sur les semis du pin pignon exposés à un stress thermique de basse et de haute température élevés en conditions semi contrôlées (laboratoire) et in situ au cours d'une année en conditions naturelles (terrain). Ce ci afin de déterminer les limites thermique du pin pignon (stress au laboratoire) et la réponse éco physiologique des semis en conditions de stress au climat semi aride (stress en conditions naturelles).

### **2.2. Matériel végétal**

Le matériel végétal est constitué par des plants de pin pignon âgés d'une année élevés en pépinière de Dj-Ouahch (Constantine), puis transportés au laboratoire repiqués dans des pots en plastique, remplis de terre végétale et élevés en conditions semi contrôlées dans une chambre de culture, les plants sont arrosés régulièrement une fois par semaine avec l'eau de robinet sous une température contrôlée ( $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ ) et un éclairage lumineux artificiel d'une intensité de 6000 lux à base des plants, sous une photopériode de 16 heures.

En conditions naturelles, les plants sont transportés dans des pots en plastique remplis de terre végétale au jardin à Ain el bey exposés aux conditions naturelles arrosés régulièrement chaque semaine avec l'eau de robinet.

### **2.3. Traitements appliqués**

Les plants élevés au laboratoire sont transférés pendant une durée de 3 heures à des basses températures de  $-2\text{ °C}$  et  $-4\text{ °C}$  et à des hautes température  $35\text{ °C}$ ,  $40\text{ °C}$ , et  $45\text{ °C}$  puis remis en conditions initiales. Les semis subissent trois stress successifs à ces mêmes températures après 24 heures de temps. Les paramètres physiologiques sont réalisés après le troisième stress.



Pour les températures extrêmes -10°C et 50°C, le stress est fixé à une durée d'une heure.

En conditions naturelles on procède à des analyses mensuelles pour les paramètres physiologiques et saisonniers pour les paramètres morphologiques.

## **2.4. Paramètres morphologiques**

Tout au long d'une année, nous avons réalisé des mesures saisonnières sur les plants élevés en conditions naturelles

### **2.4.1 La croissance en longueur**

La longueur des tiges et des racines a été mesurée à l'aide d'une règle graduée. Les valeurs données sont les moyennes de trois répétitions par saison.

### **2.4.2 La croissance pondérale**

La partie aérienne est séparée du système racinaire à l'aide d'une lame au niveau du collet. On pèse son poids frais à l'aide d'une balance de précision. La matière sèche des deux parties est déterminée après passage à l'étuve réglée à 80°C pendant 48h. Une fois les échantillons complètement secs, leur poids sec est déterminé à l'aide d'une balance de précision électronique.

### **2.4.3 Rapport partie aérienne et partie souterraine**

Les valeurs moyennes des longueurs et des poids de la matière sèche ont été utilisées pour déterminer le rapport en longueur et celui en biomasses des parties aériennes et souterraines.

## **2.5. Paramètres physiologiques :**

### **2.5.1 Mesure du taux de chlorophylle**

Cent (100) mg de la matière fraîche (pour chaque essai) sont prélevés des aiguilles des semis du pin pignon. On ajoute 10 ml d'une solution préparée de 75% d'acétone et 25%

d'éthanol. On les conserve dans des boites noires fermées pendant 48h à 30°C et à l'obscurité. Les extraits ont été dosés par spectrophotométrie. Nous avons mesuré les densités optiques à deux longueurs d'ondes différentes correspondant aux pics d'absorption de la chlorophylle a (663nm) et b (645nm), afin d'en déterminer les quantités correspondantes (ml mol/mg M.F)

$$\text{Chl (a) (ml mol/mg M.F) = 12.3DO (663) - 0.86 (645).}$$

$$\text{Chl (b) (ml mol/mg M.F) = 9.3DO (645) - 3.6 (645).}$$

### 2.5.2 Dosage de la proline

Nous avons procédé au dosage de la proline dans les différents organes des semis du pin pignon par la méthode de Troll et Lindsley, (1955) simplifiée et mise au point par Dreier et Goring, (1974).

On pèse pour chaque échantillon 100mg de matière fraîche dans des tubes à essai et on ajoute 2 ml de méthanol à 40%.

Les tubes sont ensuite hermétiquement fermés et chauffés au bain marie à 85°C pendant 1 heure ; après refroidissement, on prélève 1ml auquel on ajoute 1ml d'acide acétique, 1ml du réactif à la proline (120ml d'eau distillée, 300ml d'acide acétique et 80ml d'acide orthophosphorique) et 25mg de ninhydrine, le tout est porté à ébullition à 100°C pendant 30minutes. Après refroidissement, l'ajout de 5ml du toluène (C<sub>7</sub> H<sub>8</sub>) et l'agitation au vortex permet de distinguer deux phases : une supérieure contenant la proline et une inférieure, aqueuse sans proline. Après récupération de la phase supérieure, 5mg de sulfate de sodium oxydé (Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>) sont ajoutés pour éliminer l'humidité. Enfin, on procède à la lecture des densités optiques des échantillons au spectrophotomètre à une longueur d'onde ( $\lambda = 528\text{nm}$ ).

### 2.5.3 Dosage des sucres

Le dosage des sucres est effectué selon la méthode de Dubois et al. (1956). Elle consiste à prendre 100mg de la matière végétale fraîche la mettre dans un tube à essai, on ajoute 3 ml d'éthanol à 85%, le laisser pendant 48 heures à l'obscurité puis on filtre le contenu ; on ajoute 20ml d'eau distillée et en prend 1 ml de la solution à laquelle on

ajoute 1 ml de phénol à 5% et 5 ml de l'acide sulfurique à 1.8N puis on incube pendant 15 à 20 minutes à 30°C dans un bain marie.

La lecture de la densité optique est effectuée sur une longueur d'onde de 490nm.

#### **2.5.4 Dosage des protéines.**

La méthode utilisée est celle de Lowry (1951) qui nous permet d'extraire les protéines solubles et les protéines insolubles.

#### **2.5.4 Mode opératoire**

##### **2.5.4.1 Extraction**

Pour chaque échantillon, on pèse 2x2g de matière végétale fraîche (aiguilles des pousses inférieures et supérieures, tige et racine), les broyer dans 1 ml de soude 1M. A la fin du broyage 3 ml de soude sont ajoutés ; Laisses en contact pendant 1h30 (au minimum) à la température ambiante. Transvaser le broyat dans un tube à centrifuger et rincer le mortier et le pilon soigneusement avec 2x1mL de soude 1M. Le très fin broyat obtenu est centrifugé 10 minutes à 4000 rpm puis le surnageant recueilli est amené à 10ml dans une éprouvette (avec NaOH 1M) Le dosage est réalisé sur une partie aliquote après avoir dilué 10 fois l'extrait.

##### **2.5.4.2 Dosage colorimétrique :**

Les protéines donnent en présence des réactifs de Lowry et de Folin, une coloration bleue caractéristique. La coloration finale résulte :

- de la réaction du biuret qui se produit avec le réactif de Lowry (cuivre en milieu alcalin).
- de la réduction des acides phosphotungstique et phosphomolybdique (réactif de Folin) par la tyrosine et le tryphophane des protéines.

Dans la gamme des concentrations données, l'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de protéines présentes dans la solution.

Le dosage colorimétrique nécessite la préparation de 4 types de solutions A, B, C et M.

- ✓ **La solution A:**  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  2% dans NaOH 0,1N.
- ✓ **La solution B:** tartrate double de Na et K 2% dans l'eau distillée.
- ✓ **La solution C:**  $\text{CuSO}_4$  1% dans l'eau distillé.

- ✓ **La solution M:** est l'ensemble des 3 solution; 50 ml de la solution A+0.5 ml de la solution B et 0.5 ml de la solution C.

Après avoir préparé la solution M, on ajoute à 1 ml d'échantillon 5 ml de la solution M puis agiter et laissé reposé 10 minutes à température ambiante puis on ajoute 0.5 ml de réactif de Folin dilué 1/3.après le développement de la réaction colore on laisse les échantillons dans l'obscurité pendant 30 minutes, la lecture sa se faire après la dilution avec 3ml de NaOH à 650mm.

Les teneurs en protéines sont obtenus à partir de l'équation suivante:

$$Y = 1.4751 X$$

Y:densité optique.

X:concentration des protéines.

## **2.6 Quantification de l'ADN et de l'ARN.**

### **2.6.1. Extraction**

La méthode utilisée est celle décrite par Dishe (1930), modifiée par Burton 1956.

Elle consiste à broyer 0.5 g de matière végétale en poudre fine et les mettre dans un tube à essai. Ajouté 2 ml d'acide perchlorique. Faire bouillir l'ensemble dans un bain marie à 90°C pendant 20 mn. Après refroidissement, passé les échantillons au centrifugation. L'extrait obtenu comporte l'ADN et L'ARN

### **2.6.2. Dosage de l'ADN**

Dans un tube à essai, prend 0.5 ml de l'extrait obtenue, ajouté 0.5 ml de l'acide perchlorique pure et 2 ml de Diphenylamine. Conservé les échantillons pendant 18 h à l'obscurité.

La lecture de la densité optique est effectuée par spectrophotométrie sur une longueur d'onde de 600nm.

### **2.6.3. Dosage de l'ARN**

5 ml d'extrait sont ajoutés à 1 ml d'eau distillée et 1.5 ml d'un détecteur de l'orcinole dans un tube à essai, le tout est porté à ébullition pendant 45 mn dans un bain marie. La lecture de la densité optique est ensuite effectuée par spectrophotométrie sur une longueur d'onde de 675nm

## **2.7. Analyse statistique**

### **2.7.1 Introduction**

Toute étude statistique peut être décomposée en deux phases au moins : le rassemblement ou la collecte des données, d'une part, et leur analyse ou leur interprétation, d'autre part.

L'analyse statistique peut être décomposée en deux étapes, l'une déductive ou descriptive et l'autre inductive.

La statistique descriptive a pour but de mesurer et de présenter les données observées d'une manière telle qu'on puisse en prendre connaissance aisément, par exemple sous la forme de tableaux ou de graphiques.

L'inférence statistique permet d'étudier ou de généraliser dans certaines conditions les conclusions ainsi obtenues à l'aide des tests statistiques en prenant certains risques d'erreur qui sont mesurés en utilisant la théorie des probabilités.

Concernant notre travail, tous les calculs ont été réalisés pour chaque variable pour les 12 mois et pour les 4 saisons à l'aide du logiciel d'analyse et de traitement statistique des données Minitab version 13, 2000.

### **2.7.2. Méthodes statistiques univariées**

#### **2.7.2.1. Description des données**

Pour mieux décrire les différentes caractéristiques obtenues pour l'ensemble des 12 mois, nous avons calculés certains paramètres statistiques de base tels que la moyenne arithmétique, l'écart – type ( $s$ ) qui mesure la dispersion des données autour de la moyenne, les valeurs minimales ( $x_{\min}$ ) et maximales ( $x_{\max}$ ) qui donnent toutes les deux une idée sur l'étendue des données, et enfin l'effectif ( $n$ ) qui nous renseigne sur l'importance des données traitées.

#### **2.7.2.2 Comparaison entre mois et entre saisons et entre organes, des caractéristiques moyennes : test de l'analyse de la variance**

Pour comparer, entre les 12 mois ainsi que les 4 saisons, les moyennes de chacune des 19 variables, nous avons utilisé le test d'analyse de la variance à un critère de classification

modèle fixe (Pour comparer les 4 saisons pour chaque variable) et aussi à deux critères de classification pour comparer, les trois mois de chaque saison (facteur 1) et les 4 organes (facteur 2) pour chaque variable, les 4 saisons (facteur 1) et les 4 organes (facteur 2) pour chaque variable et aussi entre les différentes températures chaudes et froides pour chaque variable (Dagnelie, 2006).

Ce test consiste à comparer les moyennes de plusieurs populations à partir de données d'échantillons aléatoires, simples et indépendants.

La réalisation du test se fait, soit en comparant la valeur de  $F_{obs}$  avec la valeur théorique  $F_{1-\alpha}$  correspondante, extraite à partir de la table F de Fisher pour un niveau de signification  $\alpha = 0.05$  ou  $0.01$  ou  $0.001$  et pour  $K_1$  et  $K_2$  degrés de liberté, soit en comparant la valeur de la probabilité  $p$  avec toujours les différentes valeurs  $\alpha = 5\%$  ou  $1\%$  ou  $0.1\%$ .

Selon que cette hypothèse d'égalité des moyennes est rejetée au niveau  $\alpha = 0.05$  ou  $0.01$  ou  $0.001$ , on dit conventionnellement que l'écart observé entre les moyennes est significatif, hautement significatif ou très hautement significatif. On marque généralement ces écarts d'un, ou deux ou trois astérisques (Dagnelie, 2006).

Les calculs sont réalisés à l'aide de la procédure GLM du logiciel Minitab version 13, (2000).

### 2.7.2.3. La méthode de Newman et Keuls

La méthode de Newman et Keuls est basée sur la comparaison des amplitudes observées pour des groupes de deux, trois, ...,  $p$  moyennes, avec l'amplitude maximum attendue à un niveau de signification donné. Pour effectuer cette comparaison, on doit tout d'abord calculer la plus petite amplitude significative relative à des groupes de deux moyennes, de trois moyennes, etc. Ce calcul nécessite l'emploi de tables particulières (table F), dont les valeurs  $q_{1-\alpha}$  remplacent les quantités  $\sqrt{2} t_{1-\alpha/2}$  intervenant dans la définition de la plus petite différence significative.

La plus petite amplitude significative est donc, pour un niveau de signification  $\alpha$  pour un nombre de degrés de liberté donné et pour un nombre de moyennes donné

$$q_{1-\alpha} \sqrt{CM_r/n}$$

Les valeurs  $q_{1-\alpha}$  ayant été calculées de telle sorte, pour  $p$  populations normales de même moyenne et de même variance, la probabilité de dépasser la plus petite amplitude significative soit précisément égale à  $\alpha$  (table F).

Après avoir déterminé de cette manière les amplitudes maximums admissibles relatives aux différents nombres de moyennes, on compare l'amplitude observée des  $p$  moyennes considérées à la plus petite amplitude significative correspondante.

Puis on traite de la même manière l'amplitude des différents groupes de  $p-1$  moyennes, de  $p-2$  moyennes, etc., jusqu'au moment où l'amplitude de certains groupes de moyennes ne dépasse plus la limite admissible correspondante. Les moyennes de ces groupes sont alors considérées comme non significativement différentes.

## **2.7.2.2. Analyse statistique bivariée**

### **2.7.2.2.1. Calcul des corrélations**

Pour mettre en évidence des relations linéaires entre, les 19 variables (9 physiologique et 9 morphologique) nous avons calculé chaque fois le coefficient de corrélation de Bravais-pearson.

Ce coefficient,  $r$  mesure l'intensité du lien qui existe entre les deux caractéristiques (ou variables) quantitatives quelconques pour autant que cette liaison soit linéaire ou approximativement linéaire (Dagnelie, 2006).

Par exemple pour deux caractéristiques quelconques  $x$  et  $y$  le coefficient de corrélation est déterminé par la formule suivante : Où  $Cov(x, y)$  représente la covariance de  $x$  et de  $y$ , et  $S_x$  et  $S_y$  représentent les écarts types de  $x$  et de  $y$ . Ce coefficient est compris entre  $-1$  et  $+1$ . Il est en valeur absolue, d'autant plus proche de  $1$  que la liaison entre les deux séries d'observations est nette pour autant que cette liaison soit linéaire ou approximativement linéaire. Au contraire si le coefficient de corrélation est nul, c'est que les deux caractéristiques ne sont pas corrélées entre elles.

D'autre part, le signe du coefficient de corrélation indique si la relation est croissante ou décroissante, en effet, lorsque le coefficient est positif, les valeurs élevées d'une caractéristique correspondent dans l'ensemble aux valeurs élevées de l'autre caractéristique, et les valeurs faibles d'une caractéristique correspondent aux valeurs faibles de l'autre



caractéristique ; par contre, lorsque la corrélation est négative, les valeurs élevées d'une caractéristique correspondent dans l'ensemble aux valeurs faibles de l'autre caractéristique et vis versa (Dagnelie, 2006).

Pour chaque valeur de  $r$  calculée nous avons calculé également la valeur de la probabilité  $p$ , de mettre en évidence une différence significative entre la valeur de  $r$  et la valeur zéro.

# Partie 3

## Résultats et discussion

## Chapitre 1. Stress Aux Températures Extrêmes

### 1.2. Les basses températures

**Tableau 07.** Résultats descriptifs des données des paramètres physiologiques durant le stress aux basses températures

|                         | <b>Variable</b> | <b>Nombre</b> | <b>Moyenne</b> | <b>Ecartype</b> | <b>Minimum</b> | <b>Maximum</b> |
|-------------------------|-----------------|---------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| <b>proline</b>          | Témoin          | 8             | 0,4741         | 0,1915          | 0,209          | 0,718          |
|                         | (-10°C)         | 8             | 2,859          | 0,538           | 2,089          | 3,587          |
|                         | (-4°C)          | 8             | 2,126          | 0,389           | 1,551          | 2,649          |
|                         | (-2°C)          | 8             | 1,87           | 0,486           | 1,253          | 2,461          |
|                         | <b>Variable</b> | <b>Nombre</b> | <b>Moyenne</b> | <b>Ecartype</b> | <b>Minimum</b> | <b>Maximum</b> |
| <b>sucré</b>            | Témoin          | 8             | 186,9          | 97,3            | 79,4           | 315,3          |
|                         | (-10°C)         | 8             | 1294,8         | 247,1           | 1007,5         | 1533,7         |
|                         | (-4°C)          | 8             | 1033,0         | 100,3           | 918,1          | 1161,4         |
|                         | (-2°C)          | 8             | 844,8          | 134,9           | 683,7          | 991,3          |
|                         | <b>Variable</b> | <b>Nombre</b> | <b>Moyenne</b> | <b>Ecartype</b> | <b>Minimum</b> | <b>Maximum</b> |
| <b>Chlorophylle a</b>   | Témoin          | 4             | 0,7382         | 0,1011          | 0,6488         | 0,8339         |
|                         | (-10°C)         | 4             | 0,3375         | 0,0233          | 0,3100         | 0,3610         |
|                         | (-4°C)          | 4             | 0,4550         | 0,0297          | 0,4270         | 0,4880         |
|                         | (-2°C)          | 4             | 0,7062         | 0,0763          | 0,6390         | 0,7810         |
|                         | <b>Variable</b> | <b>Nombre</b> | <b>Moyenne</b> | <b>Ecartype</b> | <b>Minimum</b> | <b>Maximum</b> |
| <b>Chlorophylle b</b>   | Témoin          | 4             | 0,1677         | 0,02600         | 0,01300        | 0,1431         |
|                         | (-10°C)         | 4             | 0,1405         | 0,01121         | 0,00561        | 0,1290         |
|                         | (-4°C)          | 4             | 0,2290         | 0,07110         | 0,03550        | 0,1660         |
|                         | (-2°C)          | 4             | 0,2670         | 0,04510         | 0,02260        | 0,2250         |
|                         | <b>Variable</b> | <b>Nombre</b> | <b>Moyenne</b> | <b>Ecartype</b> | <b>Minimum</b> | <b>Maximum</b> |
| <b>Chlorophylle a+b</b> | Témoin          | 4             | 0,9059         | 0,1268          | 0,7918         | 1,0215         |
|                         | (-10°C)         | 4             | 0,4780         | 0,0341          | 0,4390         | 0,5090         |
|                         | (-4°C)          | 4             | 0,6840         | 0,1004          | 0,5930         | 0,7820         |
|                         | (-2°C)          | 4             | 0,9733         | 0,1211          | 0,8640         | 1,0850         |
|                         | <b>Variable</b> | <b>Nombre</b> | <b>Moyenne</b> | <b>Ecartype</b> | <b>Minimum</b> | <b>Maximum</b> |
| <b>Chlorophylle a/b</b> | Témoin          | 4             | 4,4116         | 0,1231          | 0,0615         | 4,2415         |
|                         | (-10°C)         | 4             | 2,4042         | 0,0633          | 0,0316         | 2,3158         |
|                         | (-4°C)          | 4             | 2,1100         | 0,5280          | 0,2640         | 1,6450         |
|                         | (-2°C)          | 4             | 2,6664         | 0,1714          | 0,0857         | 2,4773         |
|                         | <b>Variable</b> | <b>Nombre</b> | <b>Moyenne</b> | <b>Ecartype</b> | <b>Minimum</b> | <b>Maximum</b> |

### 1.1.1. La proline

**Tableau 08.** Taux de variation des teneurs en proline pour les basses températures

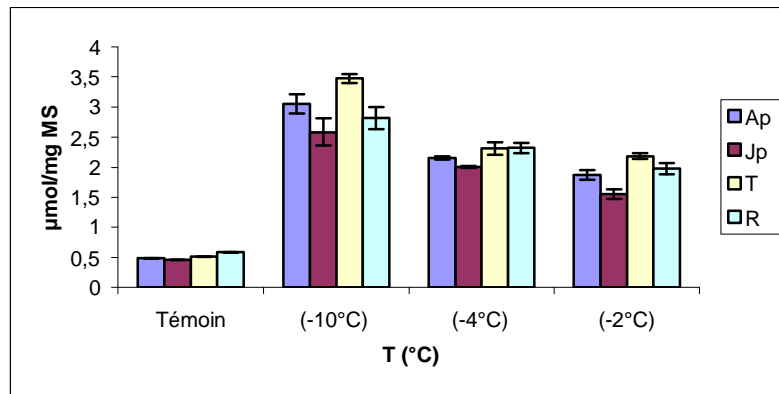
|    | Témoin | (-10°C) | (-4°C)  | (-2°C)  |
|----|--------|---------|---------|---------|
| Ap | /      | 579,179 | 352,297 | 327,273 |
| Jp | /      | 464,083 | 337,336 | 238,646 |
| T  | /      | 342,098 | 260,420 | 239,161 |
| R  | /      | 946,462 | 659,670 | 521,934 |

Pour les basses températures, les taux d'accumulations de la proline par rapport au témoin sont illustrés dans le tableau 08. Les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau de la température -10°C et les plus faibles pour la température -2°C. Au niveau des organes, les teneurs les plus élevées sont signalés au niveau des tiges et des anciennes pousses avec un taux d'augmentation de 342% et 579% respectivement par rapport au témoin. Alors que les teneurs les plus faibles sont signalées aux niveau racines avec des taux d'augmentation variant de 946%, 659% et 521% respectivement pour les températures -10 ° C, -4°C et -2°C (figure 13).

L'analyse de la variance à un critère de classification montre une différence très hautement significative entre les différentes températures ( $p < 0.001$ ) (Annexe 01; tableau 01). La comparaison des moyennes avec le test de Newman et Keuls fait sortir trois groupes homogènes, le premier correspond au température -10°C avec une moyenne de 2.859  $\mu$  mol/mg MS, le deuxième regroupe les températures -4°C et -2°C. Alors que le troisième groupe correspond au témoin avec la plus faible moyenne (0.469  $\mu$  mol/mg MS) (Tableau 09).

**Tableau 09.** Tableau des groupes des températures homogènes, de la teneur en proline pour les températures basses, obtenus par le test de Newman et Keuls

| Températures | Moyenne estimée ( $\mu$ mol/mg MS) | Groupes |
|--------------|------------------------------------|---------|
| (-10°C)      | 2,859                              | A       |
| (-4°C)       | 2,126                              | B       |
| (-2°C)       | 1,870                              | B       |
| Témoin       | 0,469                              | C       |



**Figure13.** Variations des teneurs en prolines dans les différents organes des semis de pin pignon pour les basses températures.

### 1.1.2. Les sucres

**Tableau 10.** Taux de variation des teneurs en sucres solubles pour les basses températures

|    | Témoin | (-10°C)  | (-4°C)   | (-2°C)   |
|----|--------|----------|----------|----------|
| Ap | /      | 1147,677 | 1102,757 | 841,0203 |
| Jp | /      | 1173,902 | 810,7769 | 734,6878 |
| T  | /      | 401,6501 | 279,8935 | 208,8422 |
| R  | /      | 363,9474 | 278,3018 | 182,0258 |

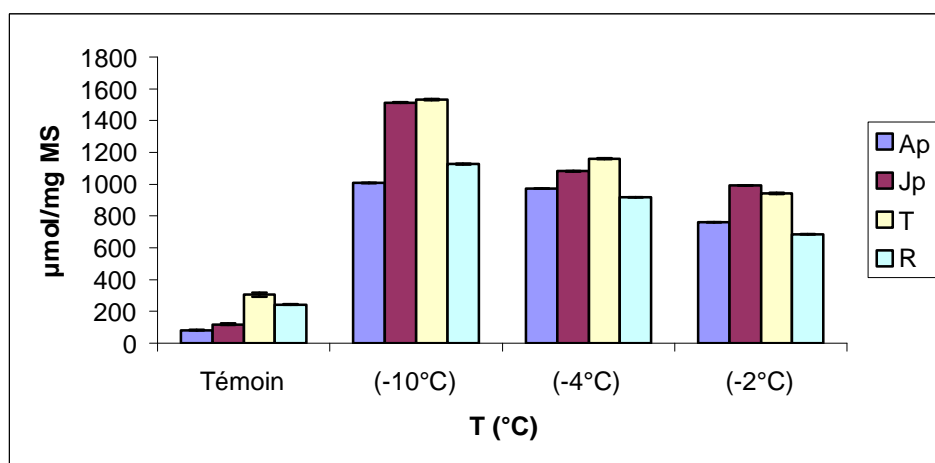
Les teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon présentent des variations importantes entre les différentes températures. Elles tendent à augmenter avec la diminution de la température (figure 14). Les teneurs les plus élevées sont signalées au niveau des tiges et des jeunes pousses dans les taux d'augmentations varient de 1147% à 1102% enregistrées respectivement aux température-10°C et -2°C au niveau des anciennes pousses (tableau.10). Alors que les teneurs les plus faibles sont enregistrées aux niveaux des racines dont les concentrations présentent dans l'ordre croissant suivant (-2°C) < (-4°C) < (-10°C). L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative entre les températures ( $p < 0.001$ ) (annexe01 ; tableau 01).

Le test de Newman et Keuls fait ressortir quatre groupes homogènes le premier correspond au température -10°C, le deuxième est occupé par la température-4°C, le

troisième par la température -2°C et le dernier groupe par le témoin qui présente la plus faible moyenne (202.270  $\mu$  mol/mg MS) (tableau 11)

**Tableau 11.** Tableau des groupes des températures homogènes, de la teneur en sucres solubles pour les températures basses, obtenus par le test de Newman et Keuls

| températures | Moyenne estimée ( $\mu$ mol/mg MS) | Groupes |
|--------------|------------------------------------|---------|
| (-10°C)      | 1294,771                           | A       |
| (-4°C)       | 1032,991                           | B       |
| (-2°C)       | 844,844                            | C       |
| Témoin       | 202,270                            | D       |



**Figure 14.** Variations des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon pour les basses températures.

### 1.1.3. Chlorophylle

#### 1.1.3.1. Chlorophylle a et chlorophylle (b)

**Tableau 12.** Taux de variation des teneurs en chlorophylles pour les basses températures

|       | organes | Témoin | (-10°C)   | (-4°C)    | (-2°C)    |
|-------|---------|--------|-----------|-----------|-----------|
| Ch, a | Ap      | /      | -56,81688 | -41,85723 | -6,487038 |
|       | Np      | /      | -51,06625 | -33,93559 | -1,594764 |
| Ch, b | Ap      | /      | -20,0128  | 54,90855  | 63,17389  |
|       | Np      | /      | -32,00457 | -13,05928 | 18,3432   |

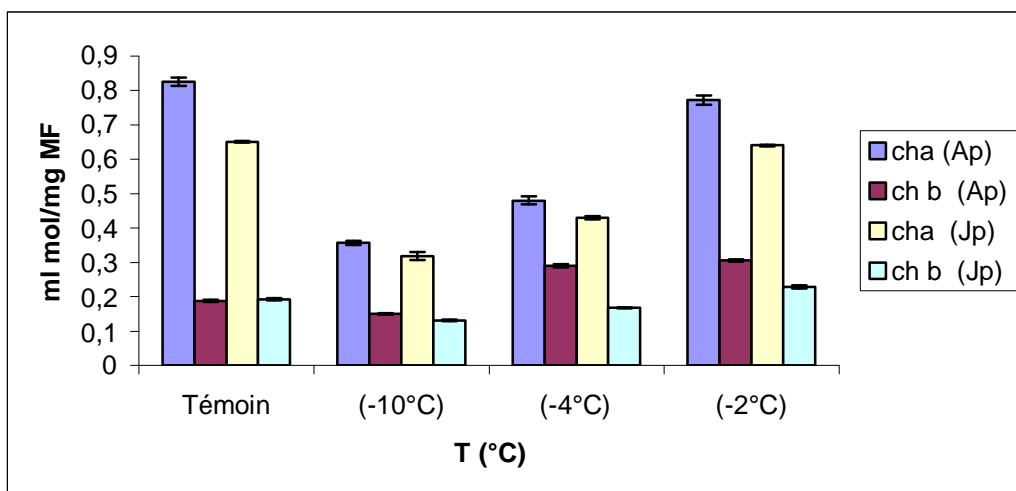
La figure15 montre les grandes variations négatives des teneurs en chlorophylle (a) et chlorophylle (b) aux niveaux des anciennes et des nouvelles pousses des semis de pin pignon pour les différentes températures, ce qui est soutenu par l'analyse de la variance

à un seul critère de classification qui signale des différences très hautement significatives en fonction des températures pour la Ch. (a) ( $p < 0.001$ ) et hautement significative pour la Ch. b ( $p = 0.007$ ) (annexe 01 ; tableau 01). Les teneurs en chlorophylle (a) sont toujours supérieures à la chlorophylle (b). Les plus faibles sont enregistrées aux températures  $-10^{\circ}\text{C}$  pour la chlorophylle (a) et (b) avec des taux de diminution de 56% et 51% pour la chlorophylle a et 20% et 32% pour la chlorophylle (b) respectivement au niveau des anciennes et des nouvelles pousses. Suite à la lecture des résultats, on remarque que la température  $-2^{\circ}\text{C}$  présente des variations presque identique au témoin pour la chlorophylle a mais une augmentation pour la chlorophylle (b) (tableau 12)

La comparaison des moyennes par le test de Newman et Keuls donne trois groupes homogènes pour la chlorophylle a dont le témoin et la température  $-2^{\circ}\text{C}$  occupent le premier groupe, tandis que les températures  $-4^{\circ}\text{C}$  et  $-10^{\circ}\text{C}$  sont affectées respectivement aux 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> groupes. Alors que pour la chlorophylle b le test de Newman et Keuls donne quatre groupes pour la chlorophylle (b) dont le premier groupe est occupés par la température  $-2^{\circ}\text{C}$  le dernier groupe avec la température  $-10^{\circ}\text{C}$ , tandis que le témoin et la température  $-4^{\circ}\text{C}$  sont affectées au groupes intermédiaires (tableau 13)

**Tableau 13.** Tableau des groupes des températures homogènes, de la teneur en chlorophylle (a) et (b) pour les températures basses, obtenus par le test de Newman et Keuls

| Ch, a                   |                                |         | Ch, b                   |                                |         |
|-------------------------|--------------------------------|---------|-------------------------|--------------------------------|---------|
| températures            | Moyenne estimée (ml mol/mg MF) | Groupes | températures            | Moyenne estimée (ml mol/mg MF) | Groupes |
| Témoin                  | 0,706                          | A       | $(-2^{\circ}\text{C})$  | 0,267                          | A       |
| $(-2^{\circ}\text{C})$  | 0,706                          | A       | $(-4^{\circ}\text{C})$  | 0,229                          | A-B     |
| $(-4^{\circ}\text{C})$  | 0,455                          | B       | Témoin                  | 0,161                          | B-C     |
| $(-10^{\circ}\text{C})$ | 0,338                          | C       | $(-10^{\circ}\text{C})$ | 0,141                          | C       |



**Figure 15.** Variations des teneurs en chlorophylles dans les différents organes des semis de pin pignon pour les basses températures.

### 1.1.1.2. Chlorophylles (a/b)

**Tableau 14.** Taux de variation des teneurs en rapport chlorophyllien pour les basses températures

|           | Témoin | (-10°C) | (-4°C)  | (-2°C)  |
|-----------|--------|---------|---------|---------|
| Ch a/b v1 | /      | -46,012 | -62,466 | -42,691 |
| Ch a/b v2 | /      | -28,034 | -24,012 | -16,848 |

Les résultats des teneurs en chlorophylle (a/b) dans les anciennes et les nouvelles pousses des semis de pin pignon durant le stress aux températures froides, illustrées par la figure 16 montrent des variations importantes aussi bien au niveau des températures qu'aux niveaux des organes. L'analyse de la variance à un critère de classification indique des variations très hautement significatives en fonction des températures ( $p < 0.001$ ) (Annexe 01; tableau 01)

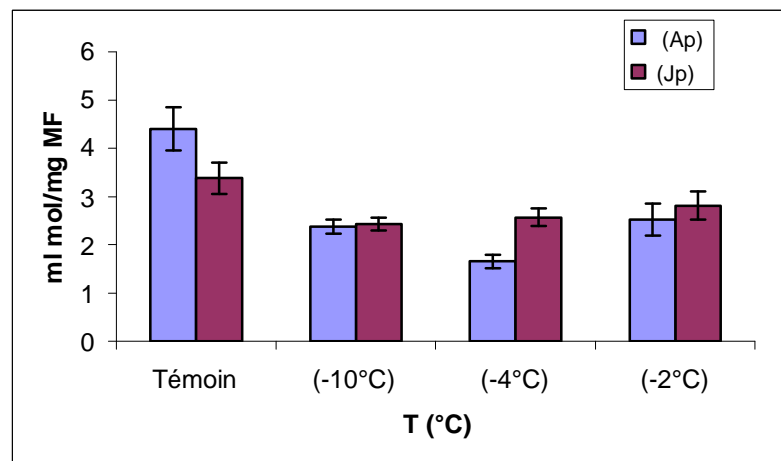
Les teneurs les plus élevées sont signalées durant le stress à la température  $-2^{\circ}\text{C}$  qui sont presque identiques aux températures  $-10^{\circ}\text{C}$ , alors que la température  $-4^{\circ}\text{C}$  présente les teneurs des taux de diminutions les plus fortes (tableau 14).



Le test de Newman et Keuls fait ressortir deux groupes homogènes, le premier correspond au témoin (25°C) avec la plus forte moyenne (4.40 ml mol/mg MF) et le deuxième groupe regroupe les températures -2°C, -10°C et -4°C dont les moyennes sont respectivement 2.66, 2.40 et 2.11 ml mol/mg MF (tableau 15).

**Tableau 15.** Tableau des groupes des températures homogènes, de la teneur en rapport chlorophyllien pour les températures basses, obtenus par le test de Newman et Keuls

| températures | Moyenne estimée (ml mol/mg MF) | Groupes |
|--------------|--------------------------------|---------|
| Témoin       | 4,400                          | A       |
| (-2°C)       | 2,666                          | B       |
| (-10°C)      | 2,404                          | B       |
| (-4°C)       | 2,110                          | B       |



**Figure 16.** Variations du rapport de chlorophylles dans les différents organes des semis de pin pignon pour des basses températures.

### 1.3. Les hautes températures.

**Tableau 16.** Résultats descriptifs des données des paramètres physiologiques durant le stress aux températures chaudes.

|                         | <b>Variable</b> | <b>N</b> | <b>Moyenne</b> | <b>Ecartype</b> | <b>Minimum</b> | <b>Maximum</b> |
|-------------------------|-----------------|----------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| <b>proline</b>          | Témoin          | 8        | 0,4741         | 0,1915          | 0,209          | 0,718          |
|                         | (35°C)          | 8        | 1,2610         | 0,3330          | 0,721          | 1,738          |
|                         | (40°C)          | 8        | 1,9800         | 0,5520          | 1,211          | 2,848          |
|                         | (45°C)          | 8        | 2,1620         | 0,4480          | 1,483          | 2,848          |
|                         | (50°C)          | 8        | 2,7710         | 0,5850          | 2,019          | 3,526          |
| <b>sucre</b>            | Témoin1         | 8        | 186,9          | 97,3            | 79,4           | 315,3          |
|                         | (35°C)          | 8        | 523,1          | 111,2           | 415,3          | 682,5          |
|                         | (40°C)          | 8        | 627,9          | 126,5           | 460,9          | 778,4          |
|                         | (45°C)          | 8        | 714,3          | 50,4            | 650,3          | 785,0          |
|                         | (50°C)          | 8        | 1120,6         | 191,0           | 840,0          | 1309,0         |
| <b>Chlorophylle a</b>   | Témoin          | 4        | 0,7382         | 0,1011          | 0,0505         | 0,6488         |
|                         | (35°C)          | 4        | 0,7713         | 0,0441          | 0,0220         | 0,7280         |
|                         | (40°C)          | 4        | 0,7330         | 0,0207          | 0,0104         | 0,7100         |
|                         | (45°C)          | 4        | 0,6545         | 0,0413          | 0,0207         | 0,6130         |
|                         | (50°C)          | 4        | 0,5257         | 0,0802          | 0,0401         | 0,4490         |
| <b>Chlorophylle b</b>   | Témoin          | 4        | 0,73820        | 0,10110         | 0,6488         | 0,8339         |
|                         | (35°C)          | 4        | 0,22350        | 0,01115         | 0,2110         | 0,2360         |
|                         | (40°C)          | 4        | 0,20220        | 0,02180         | 0,1810         | 0,2220         |
|                         | (45°C)          | 4        | 0,12725        | 0,01960         | 0,1080         | 0,1470         |
|                         | (50°C)          | 4        | 0,17830        | 0,03630         | 0,1430         | 0,2120         |
| <b>Chlorophylle a+b</b> | Témoin          | 4        | 0,9059         | 0,1268          | 0,7918         | 1,0215         |
|                         | (35°C)          | 4        | 0,9948         | 0,0545          | 0,9390         | 1,0440         |
|                         | (40°C)          | 4        | 0,9353         | 0,0419          | 0,8960         | 0,9720         |
|                         | (45°C)          | 4        | 0,7817         | 0,0607          | 0,7210         | 0,8350         |
|                         | (50°C)          | 4        | 0,7040         | 0,1162          | 0,6000         | 0,8100         |
| <b>Chlorophylle a/b</b> | Témoin          | 4        | 4,4116         | 0,1231          | 4,2415         | 4,5346         |
|                         | (35°C)          | 4        | 3,4504         | 0,0769          | 3,3899         | 3,5590         |
|                         | (40°C)          | 4        | 3,6480         | 0,3000          | 3,3740         | 3,9830         |
|                         | (45°C)          | 4        | 5,1990         | 0,4800          | 4,6800         | 5,6760         |
|                         | (50°C)          | 4        | 2,9747         | 0,1913          | 2,8208         | 3,2448         |

### 1.2.1 La proline

**Tableau 17.** Taux de variations des teneurs en proline pour les hautes températures

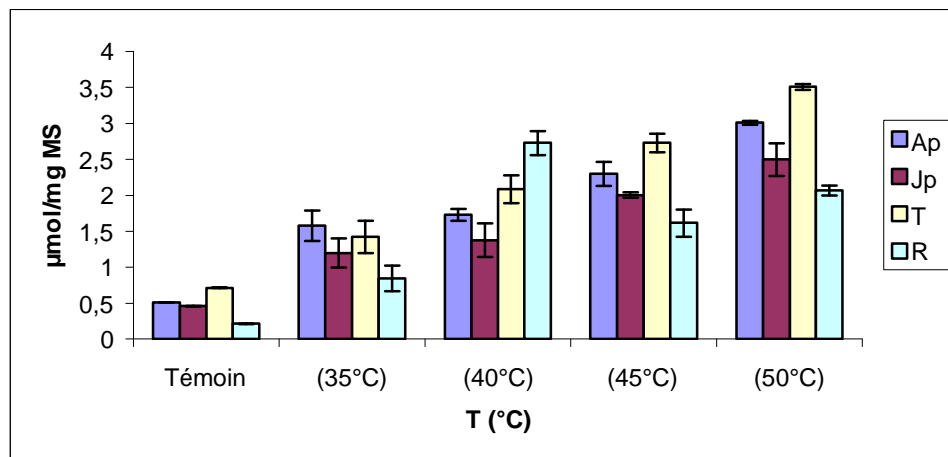
|    | Témoin | (35°C)  | (40°C)   | (45°C)  | (50°C)  |
|----|--------|---------|----------|---------|---------|
| Ap | /      | 208,798 | 237,634  | 349,365 | 488,661 |
| Jp | /      | 161,354 | 200,218  | 337,991 | 445,306 |
| T  | /      | 98,881  | 191,818  | 281,608 | 390,559 |
| R  | /      | 299,764 | 1187,736 | 662,264 | 876,179 |

Au cours du stress aux hautes températures, l'accumulation de la proline est différente au niveau des organes et en fonction des températures. De ce fait les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau de la température 50°C, alors que les teneurs les plus faibles sont signalées pour la température 35°C. L'analyse de la variance à un critère de classification signale des différences très hautement significatives en fonction des températures ( $p < 0.001$ ) (annexe03 ; tableau04).

L'analyse statistique par le test de Newman et Keuls au seuil de 5% révèle l'existence de quatre groupes homogènes, le premier comprend la température 50°C avec la plus forte moyenne (2.771  $\mu\text{mol/mg MS}$ ), le deuxième groupe regroupe les températures 45°C et 40°C, le troisième correspond au température 35°C. Alors que le dernier groupe correspond au témoin (25°C) avec la plus faible moyenne (0.469  $\mu\text{mol/mg MS}$ ) (Tableau 18).

**Tableau 18.** Tableau des groupes des températures homogènes, de la teneur en proline pour les hautes températures, obtenus par le test de Newman et Keuls

| températures | Moyenne estimée ( $\mu\text{mol/mg MS}$ ) | Groupes |
|--------------|---|---------|
| (50°C)       | 2,771                                     | A       |
| (45°C)       | 2,162                                     | B       |
| (40°C)       | 1,980                                     | B       |
| (35°C)       | 1,262                                     | C       |
| Témoin       | 0,469                                     | D       |



**Figure 17.** Variations des teneurs en proline dans les différents organes des semis de pin pignon pour les hautes températures.

### 1.2.2. Les sucres

**Tableau 19.** Taux de variation des teneurs en sucres solubles pour les températures chaudes.

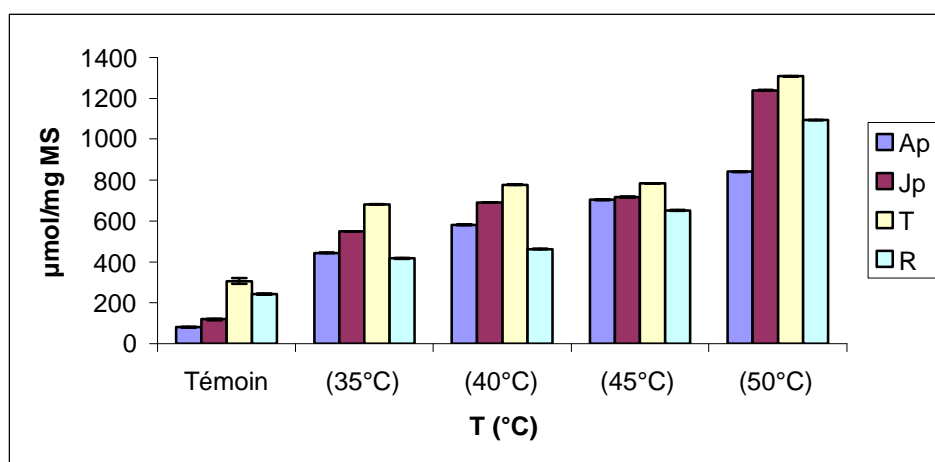
|    | Témoin | (35°C)   | (40°C)   | (45°C)   | (50°C)     |
|----|--------|----------|----------|----------|------------|
| Ap | /      | 449,7939 | 619,0511 | 771,178  | 940,717499 |
| Jp | /      | 363,0027 | 481,6493 | 504,25   | 943,231234 |
| T  |        | 123,2226 | 154,7496 | 156,7961 | 328,424047 |
| R  | /      | 71,62899 | 90,34675 | 168,4137 | 350,761415 |

Pour les températures chaudes, les résultats illustrés par la figure 18 montrent des variations importantes dans l'accumulation des sucres solubles au niveau des différents organes et en fonction des températures. La température 50°C enregistre les teneurs les plus élevées par rapport aux températures 35°C, 40°C, et 45°C avec des taux d'augmentations allant de 940 % au niveau des anciennes pousses à 328% au niveau des tiges comparativement au témoin. L'analyse de la variance à un critère de classification signale des différences très hautement significatives entre les températures ( $p < 0.001$ ) (annexe01 ; tableau01).

Le test de Newman et Keuls révèle l'existence de cinq groupes homogènes, le premier correspond à 45°C avec la moyenne la plus élevée (1120.581 µmol/mg), le second correspond à 45°C, le troisième à 40°C et le quatrième à 35°C. Alors que le dernier groupe correspond au témoin (25°C) (Tableau 20).

**Tableau 20.** Tableau des groupes des températures homogènes, de la teneur en sucres solubles pour les hautes températures, obtenus par le test de Newman et Keuls

| Températures | Moyenne estimée ( $\mu$ mol/mg MS) | Groupes |
|--------------|------------------------------------|---------|
| (50°C)       | 1120,581                           | A       |
| (45°C)       | 714,343                            | B       |
| (40°C)       | 627,941                            | B-C     |
| (35°C)       | 523,091                            | C       |
| Témoin       | 202,270                            | D       |



**Figure 18.** Variations des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon pour les hautes températures.

## 1.2.3 Chlorophylle

### 1.2.3.1. Chlorophylle a et chlorophylle b

**Tableau 21.** Taux de variation des teneurs en chlorophylle a et chlorophylle b pour les températures chaudes.

|       |    | témoin | (35°C)      | (40°C)      | (45°C)      | (50°C)      |
|-------|----|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ch. a | Ap | /      | -2,00519893 | -9,09134957 | -16,4197618 | -82,6782985 |
|       | Np | /      | 12,6935841  | 9,92809735  | -4,89798427 | -29,8641839 |
| Ch. b | Ap | /      | 23,9801632  | 17,847811   | -23,212286  | 11,7154589  |
|       | Np | /      | 11,3360324  | -4,75448977 | -42,6450742 | -23,699782  |

Comme le montre la figure 19, les teneurs en chlorophylle (a) et (b) chez les semis de pin pignon au niveau des racines sont très variables selon les températures, en effet, la température 50°C présente les valeurs les plus faibles en accusant des diminutions

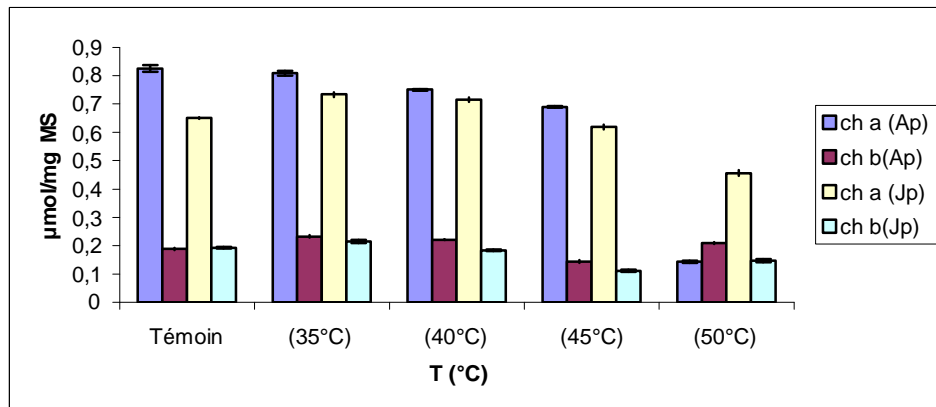
allant de 82% au niveau des anciennes pousses à 29.86% aux niveaux des nouvelles pousses. Alors que la température 35°C présente des taux d'augmentation allant de 11.33% au niveau des racines à 23.98% au niveau des tiges. L'analyse de la variance à un seul critère de classification (annexe 01, tableau 01) montre qu'il existe une différence très hautement significative entre les températures ( $p < 0.001$ ).

La comparaison des moyennes à l'aide de test de Newman et Keuls fait sortir deux groupes homogènes pour la chlorophylle (a), le premier groupe regroupe les températures 35°C, 40°C, 45°C et le témoin. Ainsi que le deuxième groupe correspond à 50°C (tableau 22).

Pour la chlorophylle (b), le test de Newman et Keuls à 5% donne quatre groupe, le premier comprend le témoin, le deuxième groupe correspond à 35°C, le troisième groupes regroupe les températures 40°C et 45°C. Alors que le dernier groupe correspond à 50°C (tableau 22).

**Tableau 22.** Tableau des groupes des températures homogènes, de la teneur en chlorophylle a et chlorophylle b pour les hautes températures, obtenus par le test de Newman et Keuls

| Ch, a        |                                |         | Ch, b        |                                |         |
|--------------|--------------------------------|---------|--------------|--------------------------------|---------|
| températures | Moyenne estimée (ml mol/mg MF) | Groupes | températures | Moyenne estimée (ml mol/mg MF) | Groupes |
| (35°C)       | 0,771                          | A       | Témoin       | 0,706                          | A       |
| (40°C)       | 0,733                          | A       | (35°C)       | 0,224                          | B       |
| Témoin       | 0,706                          | A       | (40°C)       | 0,202                          | B-C     |
| (45°C)       | 0,655                          | A       | (50°C)       | 0,178                          | B-C     |
| (50°C)       | 0,526                          | B       | (45°C)       | 0,127                          | C       |



**Figure 19.** Variations des teneurs en chlorophylles dans les différents organes des semis de pin pignon pour les hautes températures.

### 1.2.3.2. Rapport chlorophyllien (a/b)

**Tableau 23.** Taux de variation des teneurs en chlorophylle a /b pour les températures chaudes.

|           | Témoin | (35°C)  | (40°C)  | (45°C) | (50°C)  |
|-----------|--------|---------|---------|--------|---------|
| Ch a/b v1 | 1,013  | -20,959 | -22,859 | 8,846  | -84,495 |
| Ch a/b v2 | 0,844  | 1,219   | 15,416  | 65,813 | -8,079  |

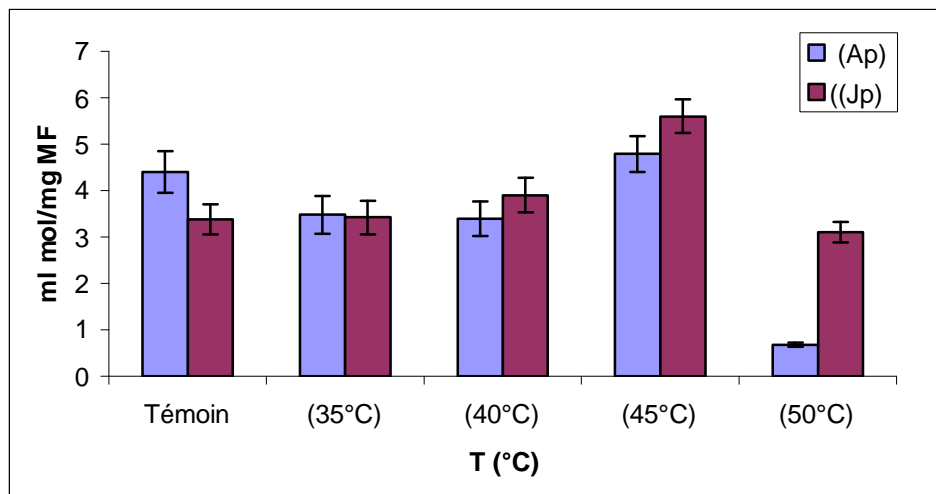
Les résultats des teneurs en chlorophylle (a/b) enregistrés durant le stress aux températures chaudes dans les semis de pin pignon sont illustrés par la figure 20. Le test de l'analyse de la variance à un critère de classification montre une différence très hautement significative entre les températures ( $p < 0.001$ ) (annexe 01, tableau01).

De ce fait les teneurs les plus élevées sont affichées à 45°C avec des taux d'augmentations allant jusqu'à 65% au niveau des nouvelles pousses. Alors à 50°C le rapport chlorophyllien diminue à 84% au niveau des anciennes pousses et 8% au niveau des nouvelles pousses par rapport au témoin.

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% donne quatre groupes, le premier correspond à 45°C, le témoin occupe le deuxième groupe, les températures 40°C et 35°C occupent le troisième groupe. Tandis que le quatrième groupe est occupé par la température 50°C.

**Tableau 24.** Tableau des groupes des températures homogènes, de la teneur de rapport de chlorophylle pour les hautes températures, obtenus par le test de Newman et Keuls

| Températures | Moyenne estimée (ml mol/mg MF) | Groupes |
|--------------|--------------------------------|---------|
| (45°C)       | 5,199                          | A       |
| Témoin       | 4,400                          | B       |
| (40°C)       | 3,648                          | C       |
| (35°C)       | 3,450                          | C       |
| (50°C)       | 2,975                          | D       |



**Figure 20.** Variations des teneurs de rapport de chlorophylle dans les différents organes des semis de pin pignon pour les hautes températures.



## Chapitre 2. Traitements des températures tri horaires pour l'année 2007

### 2.1. Traitements des durées et des fréquences des températures des périodes fraîches et chaudes

Notre travail est basé sur les données thermiques tri horaires de l'année 2007 pour mieux définir les stress thermique par chaque période.

On a calculé le M et le m sur une période de 36 ans « 1972 – 2006 » pour mieux caractériser les stress durant l'année 2007.

✓ **M : 33.68**

✓ **m : 2.37**

Par ailleurs, pendant la période chaude, M =33.68 présente le seuil auquel toute température supérieure est considérée comme un stress, de même et pareil pour m=2.37 qui présente aussi un seuil auquel toute température inférieure est considérée comme un stress.

Il ressort du tableau 25, que la durée totale des températures fraîches inférieures à m=2.37°C est de 141 heures durant l'année 2007 (Figure 21).

La durée totale mensuelle maximale des températures fraîches a été enregistrée pendant le mois de mars avec 57 heures, par contre le mois de février a enregistré le taux le plus faible (6 heures).

**Tableau 25.** Durée et fréquences des températures fraîches inférieures à m : 2.37degrés pendant l'année 2007.

| Mois         |                      |            |
|--------------|----------------------|------------|
| Décembre     | Fréquence            | 6          |
|              | Durée (heure)        | 18         |
| Janvier      | Fréquence            | 15         |
|              | Durée (heure)        | 45         |
| Février      | Fréquence            | 2          |
|              | Durée (heure)        | 6          |
| Mars         | Fréquence            | 19         |
|              | Durée (heure)        | 57         |
| Novembre     | Fréquence            | 5          |
|              | Durée (heure)        | 15         |
| <b>total</b> | <b>Fréquence</b>     | <b>47</b>  |
|              | <b>Durée (heure)</b> | <b>141</b> |

**Tableau 26.** Durées et fréquences des températures chaudes supérieures à  $M=33.68^{\circ}\text{C}$  pendant l'année 2007.

| Classes des T en ( $^{\circ}\text{C}$ )<br>mois |                      | [33- 35[   | [35- 37[   | [37 - 39[ | [39- 41[  | [41 - 43[ | Total      |
|---|----------------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Mai   | Fréquence            | 2          | 0          | 0         | 0         | 0         | 2          |
|   | Durée (heure)        | 6          | 0          | 0         | 0         | 0         | 6          |
| Juin  | Fréquence            | 9          | 10         | 5         | 2         | 3         | 29         |
|   | Durée (heure)        | 27         | 33         | 15        | 6         | 9         | 90         |
| Juillet   | Fréquence            | 11         | 12         | 7         | 7         | 0         | 37         |
|   | Durée (heure)        | 33         | 36         | 21        | 21        | 0         | 111        |
| Août  | Fréquence            | 11         | 12         | 13        | 1         | 0         | 37         |
|   | Durée (heure)        | 33         | 36         | 39        | 3         | 0         | 111        |
| Septembre                                       | Fréquence            | 2          | 2          | 0         | 0         | 0         | 4          |
|   | Durée (heure)        | 6          | 6          | 0         | 0         | 0         | 12         |
| <b>Total</b>                                    | <b>Fréquence</b>     | <b>35</b>  | <b>36</b>  | <b>25</b> | <b>10</b> | <b>3</b>  | <b>109</b> |
|   | <b>Durée (heure)</b> | <b>105</b> | <b>111</b> | <b>75</b> | <b>30</b> | <b>9</b>  | <b>327</b> |

D'après le tableau 26 une durée totale de 327 heures a été enregistrée durant l'année 2007.

Les mois de juillet et d'août ont enregistré la durée maximale mensuelle des températures chaudes, avec 111 heures pour chacun des deux mois. Alors que les taux les plus faibles sont enregistrés durant les mois de mai et de septembre avec 6 et 12 heures respectivement.

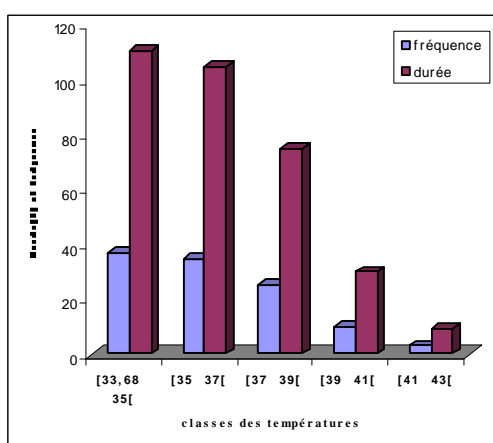


Figure.21 Fréquences et durées des températures chaudes pour l'année 2007

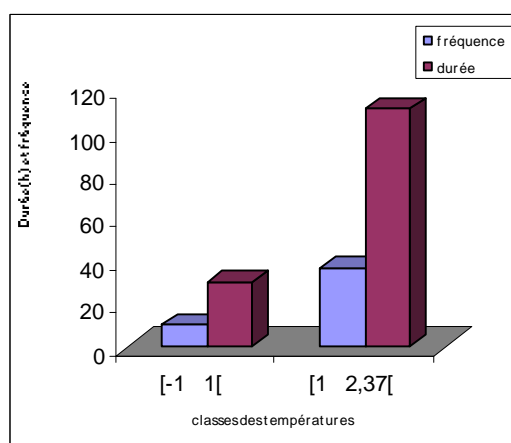


Figure.22 Fréquences et durées des températures fraîches pour l'année 2007

La période chaude peut être caractérisée par le nombre de mois où la température moyenne est supérieure à 33.68°C. Selon la figure 21 notre région a enregistré une durée totale de températures comprise entre 33.68 et 43°C de 327 heures mais elle est plus abondante pour les températures appartenant à l'intervalle compris entre 33° et 39°C.

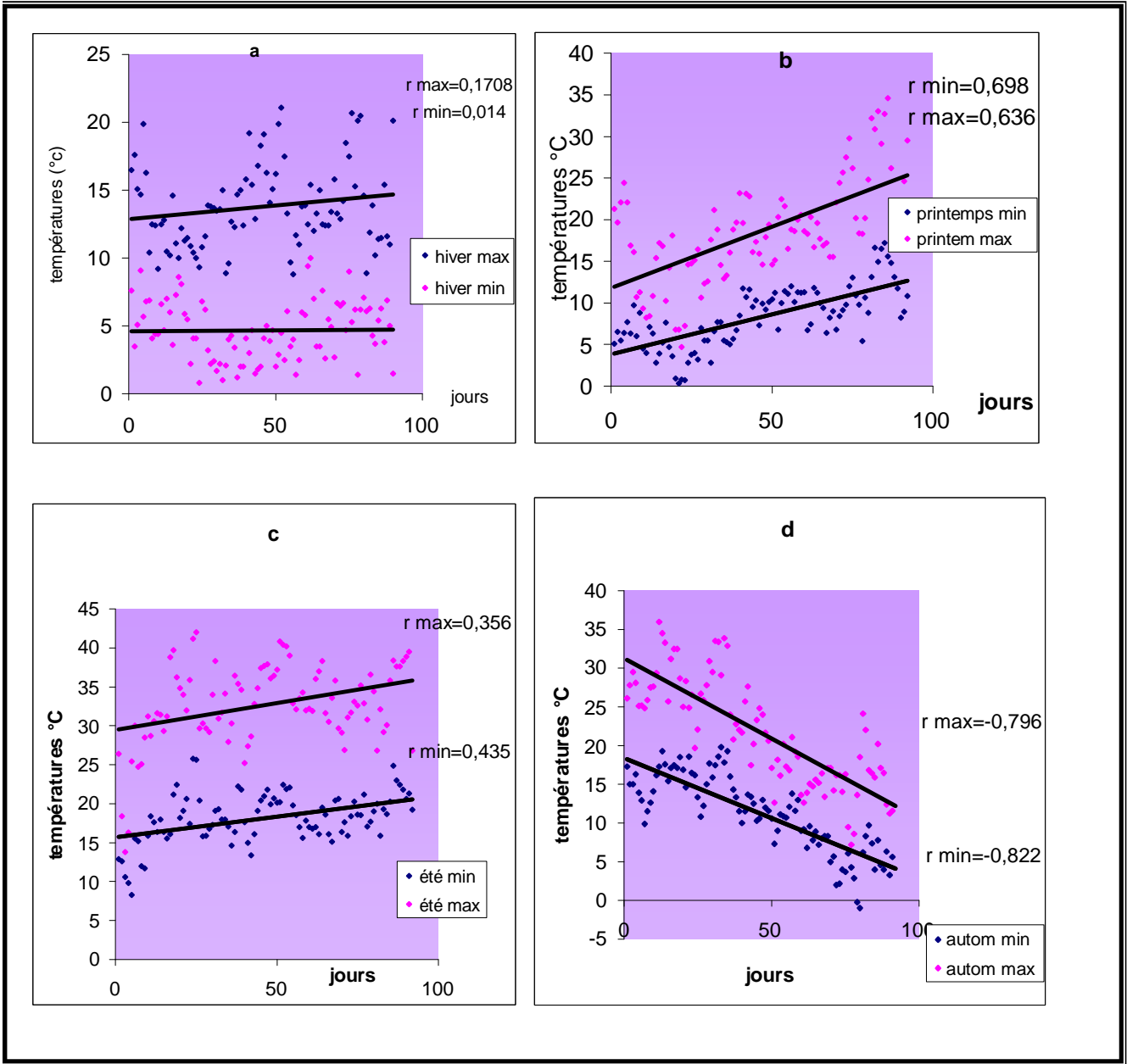
La période fraîche fait apparaître deux classes de température bien distinctes : [-1,1[ et [1, 2.37 [, qui dure 147 heures, dont la deuxième classe est la plus abondante. Les mois de janvier et de mars représentent les plus grandes durées, avec 45 et 57 heures respectivement. Ces deux classes de températures froides, favorisent les gelées tardives printanières qui provoquent des dégâts parfois irréversibles chez les végétaux. (Figure22)

## **2.2. Les tendances thermiques des saisons**

Le printemps a connu une augmentation significative des températures minimales, suivi d'une hausse nette pour les températures maximales. L'évolution des températures de l'automne est plus représentative et représenté par une courbe de tendance très significative avec des coefficients de corrélation  $r=-0.822$ ,  $p=0.020$ ,  $r=-0.796$ ,  $p=0.035$  pour les minima et les maxima respectivement. De même pour la saison printanière, des coefficients de corrélation négatives sont hautement significatifs avec  $r=-0.698$ ,  $p=0.056$ ,  $r=-0.636$ ,  $p=0.232$ . Cependant, durant les saisons hivernale et estivale aucune corrélation significative n'a été détectée, ce qui présume qu'il n'y a pas une évolution des températures pendant ces deux saisons en fonction des mois. (Figure 23)

Dans notre région, les températures minimales atteignent le maximum pendant le mois de décembre, alors que les températures maximales penchent vers la fin juin et début de juillet.

Durant les saisons, les courbes de tendance révèlent l'existence d'un réchauffement global pour cette année mais il est plus explicité pendant la saison printanière. Par contre la saison automnale tend vers plus de refroidissement.



**Figure 23.** Courbe de régression des températures maximales et minimales en fonction des saisons.

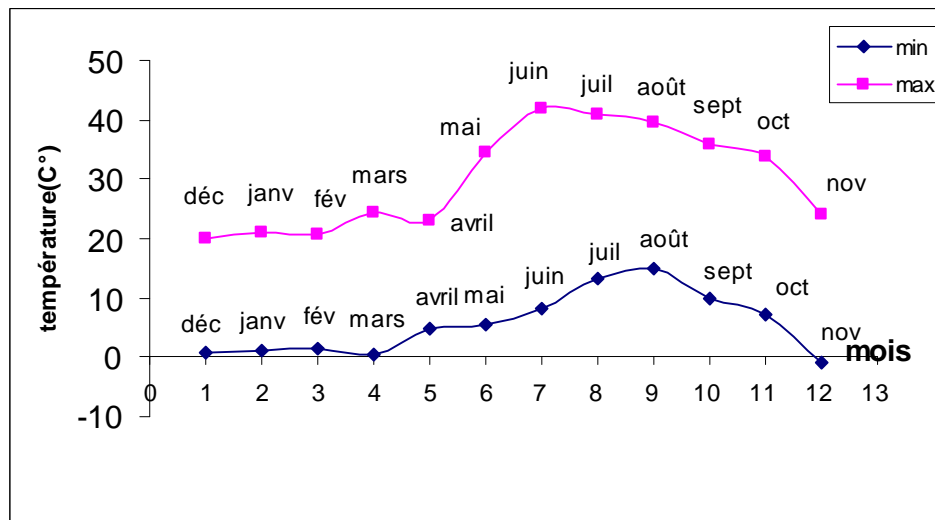
a : saison hivernale ; b : saison printanière; c : saison estivale; d : saison automnale.

### 2.3 Amplitude thermique mensuelle de l'année 2007.

Les saisons estivale et automnale présentent les amplitudes thermiques les plus grandes, avec un maximum observé pendant les mois de juin, juillet et mai, par contre les mois de décembre, janvier ainsi que février restent constants (tableau 27).

**Tableau 27.** Amplitude thermique pendant l'année 2007.

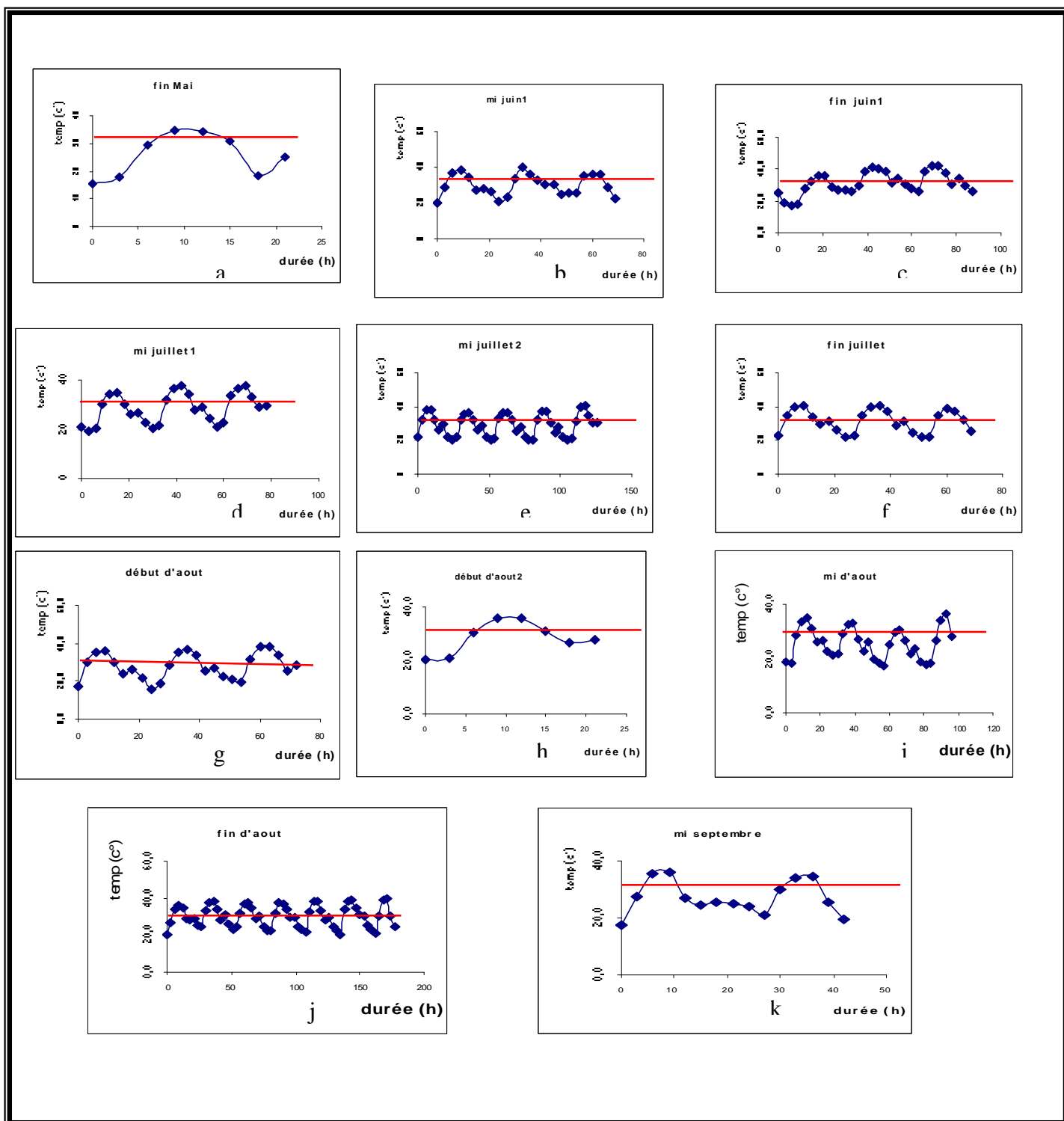
|                        | décembre<br>2006 | janvier | février | mars | avril | mai  | juin | juillet | août | septembre | octobre | novembre |
|------------------------|------------------|---------|---------|------|-------|------|------|---------|------|-----------|---------|----------|
| min                    | 0,8              | 1       | 1,4     | 0,3  | 5     | 5,4  | 8,3  | 13,4    | 15,1 | 9,9       | 7,3     | -1       |
| max                    | 19,9             | 21,1    | 20,7    | 24,4 | 23,2  | 34,6 | 42   | 40,8    | 39,5 | 36        | 33,9    | 24,1     |
| Amplitude<br>thermique | 19,1             | 20,1    | 19,3    | 24,1 | 18,2  | 29,2 | 33,7 | 27,4    | 24,4 | 26,1      | 26,6    | 25,1     |



**Figure 24.** Les températures minimales et maximales de l'année 2007

L'amplitude thermique est marquée par des fluctuations irrégulières pendant les mois de l'année. Elle atteint son maximum pendant le mois de juin avec 42°C, alors que son minimum est enregistré pendant le mois de novembre 2007 avec -1°C.

Deux saisons bien distinctes illustrés sur la figure 24, une saison chaude depuis le mois de mai jusqu'au mois d'octobre et une saison froide qui débute avec le mois de novembre et qui se termine à avril. Les températures minimales peuvent causer des dommages tel que l'inhibition de la croissance, et les maximales peuvent altérer les parties aériennes par des brûlures



\_\_\_\_\_ : représente la valeur de  $M = 33.68^{\circ}\text{C}$

**Figure 25.** Cinétique des températures chaudes depuis le mois de mai jusqu'au mois de septembre

Dans la figure 25 la barre rouge ( $M=33.68$ ) représente un seuil au delà duquel les températures successives placées au dessus sont considérés comme des stress thermique par la chaleur.

## **2.4. Les différents stress observés durant l'année 2007**

### **2.4.1. La saison estivale**

Les observations menées sur la figure 19 indiquent que la température plafonne à 42°C vers la fin du juin et qui descend jusqu'à 19 °C pendant la première semaine de juillet mais qui augmente rapidement avec une température équivalente à 40.8°C vers la deuxième quinzaine de juillet. De même pour la fin d'août qui culmine avec 39.5°C sans oublier que c'est la plus grande durée enregistrée au cours de l'année atteignant 105 heures

D'une façon générale, un haut niveau thermométrique s'est maintenu de juin à août sur l'ensemble de la saison avec trois pics de stress remarquable, l'un à la fin juin, l'autre à la dernière décade du mois de juillet et le dernier vers la fin d'août.

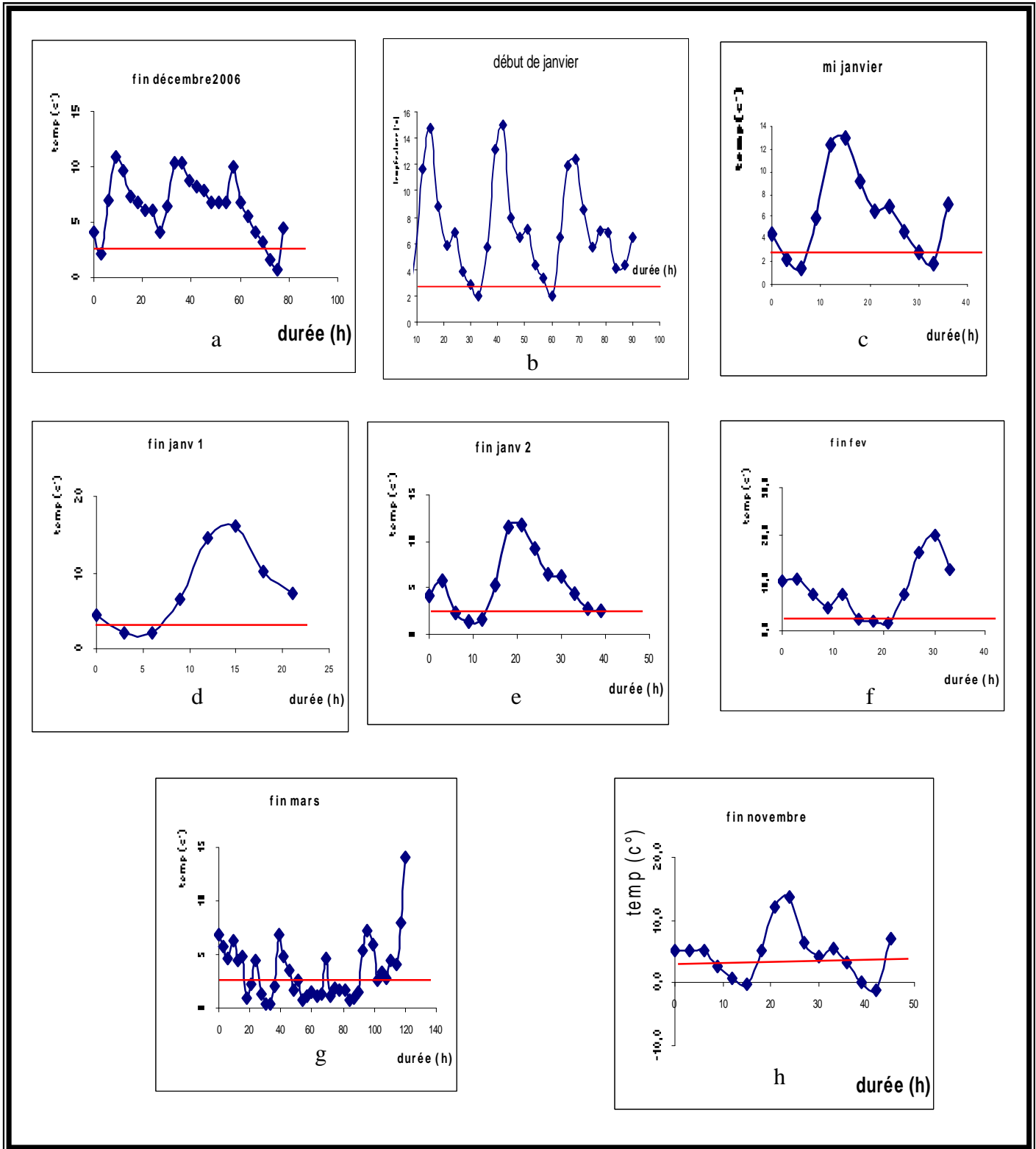
Dans notre étude on a étudié les différents stress pendant la période chaude pour distinguer les mois qui révèlent plus de stress.

Commençant par le mois de mai (figure 25.a) un seul stress a été enregistré vers la fin du mois où les températures chaudes comprises entre 33.68-34°C ont duré 6 heures (1 pic).

Quant au mois de juin qui présente deux stress avec une durée totale de 72 heures, le premier stress (Figure 25.b) est enregistré vers la fin de la première quinzaine de juin où les températures chaudes ont varié entre 33.68-39.7°C avec une durée de 30 heures (3 pics), ainsi que le deuxième stress (Fig. 25.c) qui a duré 42 heures où les températures étaient chaudes comprises entre 33.68 et 42 °C (3 pics).

D'après la Figure 25.d, trois stress ont été enregistrés pendant le mois de juillet avec une durée totale estimée à 147 heures dont le premier stress a duré 36 heures se manifestant par deux pics, où les températures chaudes comprises entre 33.68 et 37.7°C. Le deuxième stress (Fig 25.e), où les températures chaudes comprises entre 33.68 et 40.8°C ont duré 66 heures (5 pic) ; le troisième stress (Figure 25.f), où les températures chaudes comprises entre 33.68 et 40.4°C ont duré 45 heures (3 pics).

Le mois d'août a enregistré quatre stress qui varient en durée ainsi qu'en fréquence avec un total atteignant 189 heures, et dont l'intervalle varie entre 35.5 et 39.5°C. Pourtant ce dernier n'est pas le mois le plus chaud malgré le total d'heures le plus grand. Ainsi en se référant à nos résultats basés sur le calcul de  $M=34.20^{\circ}\text{C}$  durant l'année 2007 montrent que le mois de juillet est le mois le plus chaud.



**Figure 26.** Cinétique des températures froides depuis le mois de décembre 2006 jusqu'au mois de mars et le mois de novembre 2007.

**N.B :** ——— : représente la valeur de  $m=2.37$

**Dans la figure 26 la barre rouge ( $m=2.37$ ) représente le seuil auquel les températures successives placées au dessous sont considérés comme des stress thermiques par le froid.**



Pour le mois d'août, le premier stress enregistré dure 39 heures (Figure 25.g), où les températures chaudes varient de 33.68 jusqu'à 38.3°C (3 pics); le deuxième stress (Figure 25.h) où les températures chaudes comprises varient entre 33.68 jusqu'à 35.8°C ont duré 12 heures (1 pics); le troisième stress varient de 33.68 jusqu'à 35.2°C ont duré 33 heures (4 pics); Alors que le quatrième stress (Figure 25.j) où les températures chaudes varient de 33.68 jusqu'à 39.5°C ont duré 105 heures (7 pics).

Enfin le mois de septembre avec un stress unique et presque insignifiant de 12 heures (Figure 25.k), où les températures chaudes varient entre 33.68°C et 36°C (2 pics).

#### **2.4.2. La saison hivernale**

On commence notre analyse par le mois de décembre (2006) où on observe un seul stress enregistré, dont les températures s'échelonnent entre 0 et 2.37°C avec une durée de 9 heures (2 pics) (figure 26.a).

Des signes environnementaux affectent l'état de la plante, cependant pour être activé, une période de températures basses est nécessaire.

Aussi l'exposition aux gelées déclenche une étape adaptative qui consiste en un ensemble de changements métaboliques permettant une tolérance maximale au froid

Quatre stress ont été enregistrés pendant le mois de janvier, ont duré 42 heures, et dont le premier est enregistré pendant la première semaine, où les températures froides varient entre 1.2 et 2.37°C avec une durée de 9 heures (2 pics) (figure 26.b), tandis que le deuxième stress (Figure 26.c) a duré 12 heures avec des températures comprises entre 1.5 et 2.37°C (2pics), alors que le troisième le plus court est le stress pendant le mois de janvier, où les températures comprises entre 2 et 2.37°C ont duré 6 heures avec un seul pic (Figure 20.d). Et le quatrième stress, on observe 15 heures de durée avec des températures qui s'échelonnent entre 1.4 et 2.37°C (2 pics) (Figure 26.e).

Cependant le mois de février, a enregistré un seul stress, (Figure 20.f), où les températures fraîches sont comprises entre 1.5 et 2.37°C ont duré 12 heures (2 pics).

Le cumul d'heures le plus grand a été enregistré pendant le mois de mars avec 57 heures, où les températures comprises entre 0.3 et 2.37°C (Figure 26.g).

Enfin le mois de novembre a enregistré un seul stress et de courte durée (2 heures) variant entre -1 et 2.37°C avec deux pics (Figure 26.h).

**A la fin on peut conclure que :**

L'automne fut plus chaud que la normale, avec des températures maximales allant de 33.9 jusqu'à 36°C pour les mois de septembre et d'octobre. Par la suite, au début et à la fin de novembre, il y'a eu du gel avec des températures atteignant -1°C et c'est durant cette saison que les plantes accumulent et stockent leurs réserves pour la saison hivernale.

Hiver doux et sans froid globalement, et les températures ont été sensiblement normales pour janvier et février ce qui présagerait peu de problèmes liés au gel. Mais le début de décembre fut froid comparativement au mois de janvier avec des températures minimales qui atteignent 0.8°C.

Tout d'abord, le printemps a été plus frais vers la fin qu'au début. Cependant le mois de mars a enregistré des températures minimales basses vers la dernière décade atteignant 0.3°C. Donc les gels printaniers n'ont pu se manifester que tardivement.

La saison estivale est bien marquée par des chaleurs plus au moins extrêmes, et ce dès le début de juin et se manifestent par des pics de chaleur surtout vers la fin du juillet et août enregistrant des températures maximales comprises entre 39.5 et 42°C

La croissance des plantes est directement liée à la température de l'air. Elle débute lorsque cette température dépasse une certaine valeur, qui n'est pas la même pour toutes les plantes, et elle est directement proportionnelle à la quantité de chaleur estimée à partir des cumuls de température.

## Chapitre 3. Les paramètres morphologiques

### 3. Effet des variations thermiques saisonnières sur les paramètres biométriques des semis de pin pignon

**Tableau 28.** Résultats descriptifs des données des paramètres morphologiques durant les saisons.

|         | Saison           | N | Moyenne | Ecar-Type | Maximum | Minimum |
|---------|------------------|---|---------|-----------|---------|---------|
| LT (cm) | Hiver (2007)     | 3 | 17,333  | 1,258     | 16,0    | 18,5    |
|         | Printemps (2007) | 3 | 27,867  | 0,611     | 27,2    | 28,4    |
|         | Eté (2007)       | 3 | 31,067  | 0,404     | 30,7    | 31,5    |
|         | Automne (2007)   | 3 | 32,733  | 1,069     | 31,8    | 33,9    |
|         | Hiver (2008)     | 3 | 33,900  | 1,212     | 32,8    | 35,2    |
| LR (cm) | Hiver (2007)     | 3 | 19,700  | 2,400     | 17,3    | 22,1    |
|         | Printemps (2007) | 3 | 35,033  | 1,650     | 33,4    | 36,7    |
|         | Eté (2007)       | 3 | 45,200  | 2,360     | 42,6    | 47,2    |
|         | Automne (2007)   | 3 | 51,267  | 1,332     | 49,8    | 52,4    |
|         | Hiver (2008)     | 3 | 53,000  | 1,253     | 51,7    | 54,2    |
| LR/LT   | Hiver (2007)     | 3 | 1,1363  | 0,1099    | 1,0649  | 1,2629  |
|         | Printemps (2007) | 3 | 1,2578  | 0,0718    | 1,1761  | 1,3107  |
|         | Eté (2007)       | 3 | 1,4548  | 0,0699    | 1,3742  | 1,4984  |
|         | Automne (2007)   | 3 | 1,5665  | 0,0210    | 1,5457  | 1,5877  |
|         | Hiver (2008)     | 3 | 1,5639  | 0,0209    | 1,5398  | 1,5762  |
| PFA(g)  | Hiver (2007)     | 3 | 12,167  | 1,305     | 10,7    | 13,2    |
|         | Printemps (2007) | 3 | 17,667  | 0,416     | 17,2    | 18,0    |
|         | Eté (2007)       | 3 | 20,400  | 0,458     | 19,9    | 20,8    |
|         | Automne (2007)   | 3 | 23,167  | 0,681     | 22,4    | 23,7    |
|         | Hiver (2008)     | 3 | 23,533  | 0,569     | 22,9    | 24,0    |
| PSA(g)  | Hiver (2007)     | 3 | 4,7670  | 0,4510    | 4,3     | 5,2     |
|         | Printemps (2007) | 3 | 8,2670  | 0,4040    | 7,9     | 8,7     |
|         | Eté (2007)       | 3 | 9,7333  | 0,1528    | 9,6     | 9,9     |
|         | Automne (2007)   | 3 | 11,0670 | 0,2520    | 10,8    | 11,3    |
|         | Hiver (2008)     | 3 | 11,6670 | 0,2310    | 11,4    | 11,8    |
| PFR(g)  | Hiver (2007)     | 3 | 1,9800  | 0,2200    | 0,1270  | 1,76    |
|         | Printemps (2007) | 3 | 3,5000  | 0,2210    | 0,1280  | 3,25    |
|         | Eté (2007)       | 3 | 4,0333  | 0,0709    | 0,0410  | 3,97    |
|         | Automne (2007)   | 3 | 4,6300  | 0,1453    | 0,0839  | 4,49    |
|         | Hiver (2008)     | 3 | 4,9070  | 0,3000    | 0,1730  | 4,60    |
| PSR(g)  | Hiver (2007)     | 3 | 1,3330  | 0,2520    | 0,1450  | 1,10    |
|         | Printemps (2007) | 3 | 1,7300  | 0,0557    | 0,0321  | 1,68    |
|         | Eté (2007)       | 3 | 1,8667  | 0,0252    | 0,0145  | 1,84    |
|         | Automne (2007)   | 3 | 2,0200  | 0,0300    | 0,0173  | 1,99    |
|         | Hiver (2008)     | 3 | 2,0900  | 0,0265    | 0,0153  | 2,07    |
| PSR/PSA | Hiver (2007)     | 3 | 0,27810 | 0,02670   | 0,25580 | 0,30770 |
|         | Printemps (2007) | 3 | 0,20939 | 0,00347   | 0,20575 | 0,21266 |
|         | Eté (2007)       | 3 | 0,19179 | 0,00094   | 0,19091 | 0,19278 |
|         | Automne (2007)   | 3 | 0,18255 | 0,00151   | 0,18142 | 0,18426 |
|         | Hiver (2008)     | 3 | 0,17918 | 0,00354   | 0,17542 | 0,18246 |

### 3.1 Longueur de la partie aérienne

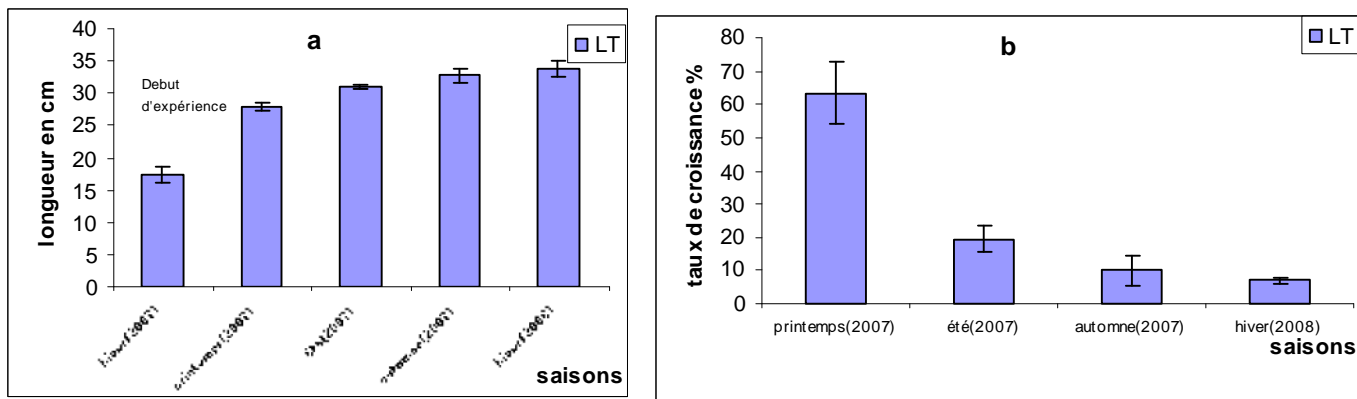


Figure 27. Variation de la longueur des tiges selon les saisons. a : longueur mesurée en cm ; b : taux de croissance en %

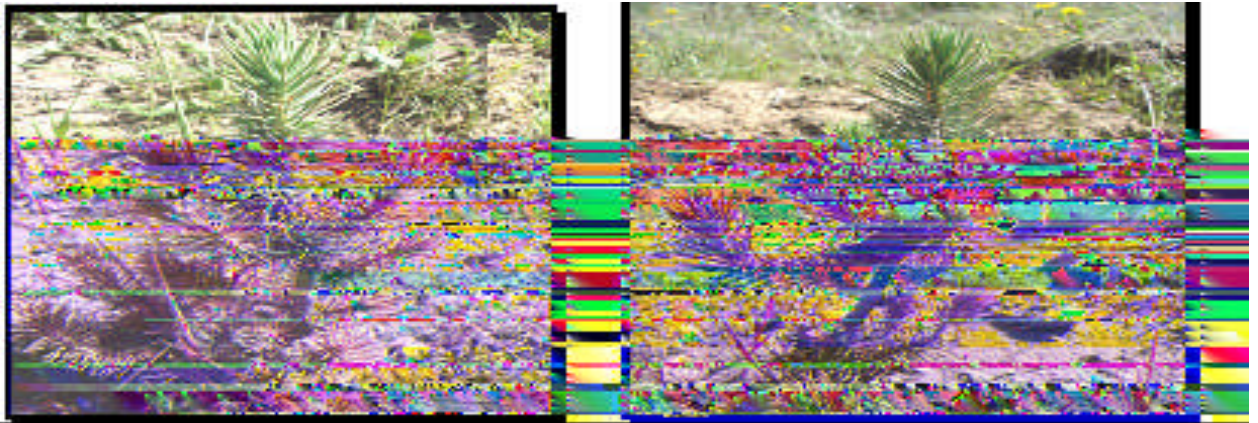
Les tiges des semis de pin pignon présentent une croissance progressive mais assez variable en fonction des saisons, cette croissance est illustrée par la figure (27 a) et le tableau 32.

La figure 27.b illustre le taux de croissance de la longueur des tiges durant les quatre saisons de l'année. Les semis de pin pignon accusent durant la période printanière le taux le plus élevé de croissance qui est de l'ordre de  $10.53 \pm 1.85$  cm par rapport à la croissance totale. La saison hivernale signale le taux de croissance le plus faible  $1.66 \pm 0.152$  cm correspond à 7.06%. (figure 27.b).

L'analyse de la variance à un critère signale une différence très hautement significative en fonction des saisons ( $p < 0.001$ ) (annexe 02, tableau 1). Ces résultats sont vérifiés par le biais du test de Newman et Keuls à 5%, faisant ressortir 2 groupes, dans lesquels la saison printanière, possède le taux de croissance le plus élevé (65.523%), en les affectant au groupe (A). Par contre les saisons estivale, automnale et hivernale possèdent les taux les plus faibles (19.42%, 10.05 % et 7.064 %), en les affectant au groupe (B) (Tableau 29).

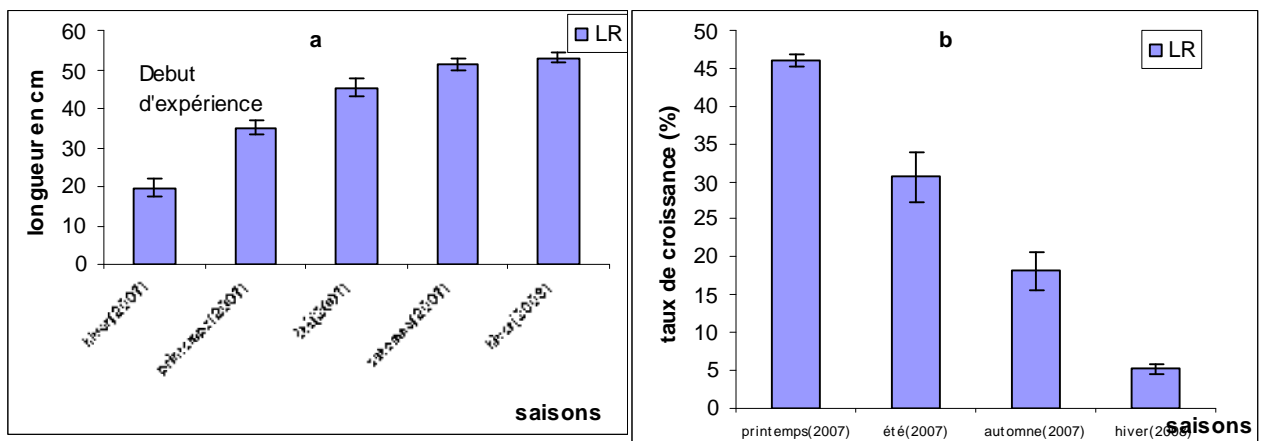
**Tableau 29.** Tableau des groupes homogènes de la longueur des tiges donné par le test de Newman et Keuls

| Saison           | Moyenne | Groupes |
|------------------|---------|---------|
| Printemps (2007) | 65,523  | A       |
| Automne (2007)   | 19,426  | B       |
| Été (2007)       | 10,054  | B       |
| Hiver (2008)     | 7,064   | B       |



**Photo 1.** Semis de pin pignon au champ de culture après une année de croissance (photo Lehout2007).

### 3.2 Longueur de la partie racinaire



**Figure 28.** Variation de la longueur des racines selon les saisons. a : longueur mesurée en cm ; b : taux de croissance en %

L'évolution saisonnière de la longueur des racines des semis de pin pignon est illustrée par la figure (28.a). Le rythme de croissance est continu mais variable en fonction des saisons.

Les racines des semis de pin pignon possèdent le taux d'évolution le plus élevé durant la saison printanière ( $15.33 \pm 0.75$  cm) et automnale ( $10.16 \pm 0.85$  cm). La saison estivale possède un taux de croissance moyen estimé à  $6.06 \pm 1.02$  cm. Cependant, le taux le plus faible est signalé durant la saison hivernale avec une moyenne de l'ordre de  $1.73 \pm 0.208$  cm (figure 28.b).

L'analyse de la variance a un critère signale une différence très hautement significative en fonction des saisons ( $p < 0.001$ ) (annexe 02, tableau 1). Le test de Newman et Keuls à 5%, fait ressortir 4 groupes où le premier groupe est occupé par la saison printanière avec le taux le plus élevé et le dernier groupe par la saison hivernale qui possède le taux le plus faible. (Tableau 30)

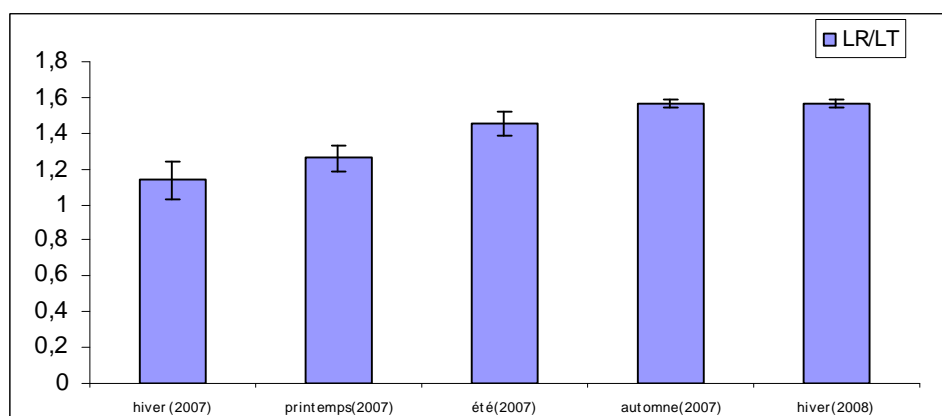
**Tableau 30.** Tableau des groupes homogènes de la longueur des racines donné par le test de Newman et Keuls

| Saison           | Moyenne estimée | Groupes |
|------------------|-----------------|---------|
| Printemps (2007) | 46,305          | A       |
| Automne (2007)   | 30,597          | B       |
| Été (2007)       | 18,165          | C       |
| Hiver (2008)     | 5,207           | D       |



**Photo 2.** Développement racinaire des semis de pin pignon (photo Lehout 2007).

### 3.3 Rapport longueur partie souterraine/longueur partie aérienne



**Figure29.** Variation saisonnière du rapport (longueur des tiges / racines) des semis de pin pignon.

Le rapport de la longueur de la partie aérienne et souterraine des semis de pin pignon durant les quatre saisons est illustré par la figure 29. On note une variation ascendante entre la saison printanière  $1.25 \pm 0.07$  cm, estivale  $1.45 \pm 0.06$  cm. Cette augmentation se stabilise durant les saisons automnales et hivernales où on enregistre des teneurs presque identiques respectivement de l'ordre de  $1.566 \pm 0.020$  cm et  $1.563 \pm 0.028$  cm.

La photo 3 montre un très bon développement de la longueur de la partie souterraine par rapport au système aérien.

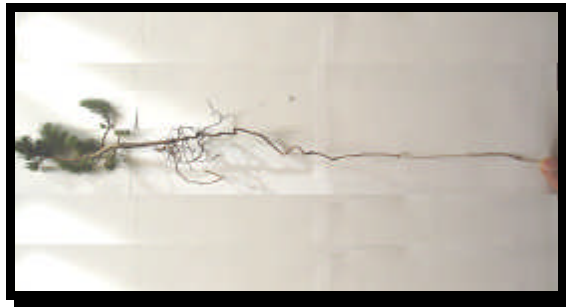


Photo 3. Développement de pin pignon (photo Lehout 2007).

### 3.4 Poids frais de la partie aérienne

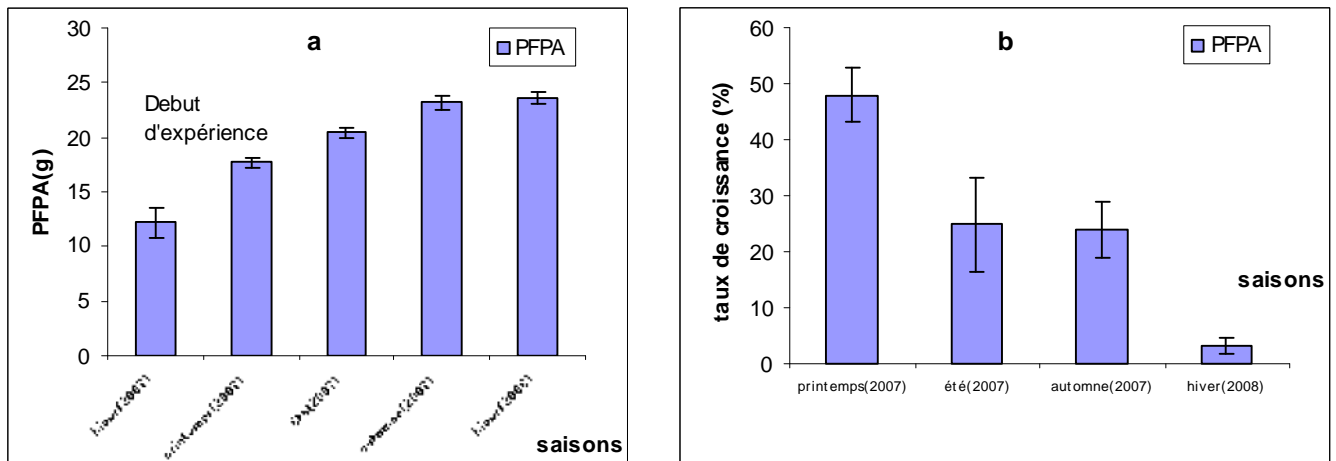


Figure 30. Variation saisonnière du poids frais de la partie aérienne. a : poids mesuré en (g) ; b : taux d'évolution de biomasse en %

D'après la figure (30.a), le poids frais de la partie aérienne des semis de pin pignon possède une augmentation remarquable au cours des saisons (figure30.a et tableau 28).

La biomasse aérienne des semis de pin pignon durant la période printanière possède une augmentation maximale estimée à  $17.66 \pm 0.41$ g correspondant au taux de croissance le plus élevé par rapport à la croissance totale estimée à la fin d'expérimentation ( $11.36 \pm 1.67$  g). Ces valeurs représentent la moyenne de 03 plants. Cependant, les taux les plus faibles sont constatés pendant la période hivernale. Alors que la période estivale et automnale présente des taux de croissance presque identiques respectivement  $2.73 \pm 0.60$ g et  $2.76 \pm 0.96$ g (Fig. 24.b).

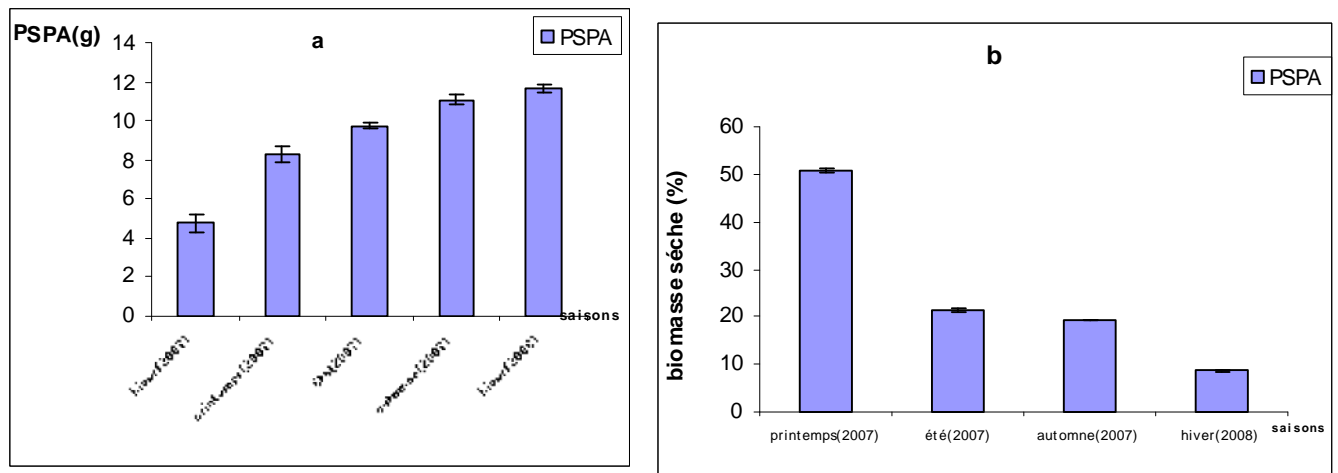
En effet, l'analyse de la variance à un critère signale une différence très hautement significative en fonction des saisons ( $p < 0.001$ ) (annexe02, tableau1). Le test de Newman et Keuls à 5%, fait ressortir 3 groupes différents, où on note que le taux d'évolution le plus élevé

est relevé au niveau de la saison printanière en les affectant au groupe (A), en suite viennent les saisons automnale et estivale avec un taux de croissance modéré, appartenant aux groupes (B) en fin le troisième groupe (C) relatif à la saison hivernale présente le taux de croissance le plus faible (Tableau 31).

**Tableau 31:** Tableau des groupes homogènes du poids frais de la partie aérienne donné par le test de Newman et Keuls

| Saison           | Moyenne | Groupes |
|------------------|---------|---------|
| Printemps (2007) | 49,022  | A       |
| Automne (2007)   | 24,832  | B       |
| Été (2007)       | 23,927  | B       |
| Hiver (2008)     | 3,322   | C       |

### 3.5 Poids sec de la partie aérienne



**Figure 25.** variation du poids sec de la partie aérienne selon les saisons. a : longueur mesurée en (g); b : taux d'évolution de biomasse en %

Le poids sec de la partie aérienne enregistre des évolutions progressives mais hétérogènes durant les différentes saisons (figure31.a).

Le taux d'évolution du poids sec aérienne accuse sa teneur la plus élevée durant la saison printanière ( $3.5 \pm 0.1$  g). Par contre, les taux les plus faibles sont signalés durant la saison hivernale avec une moyenne de l'ordre de  $0.6 \pm 0.36$ g (Figure 31.b).

L'analyse de la variance à un critère signale une différence très hautement significative en fonction des saisons ( $p < 0.001$ ) (annexe02, tableau1). Le test de Newman et Keuls à 5%, fait ressortir 3 groupes, en affectant la saison printanière au groupe (A) avec la

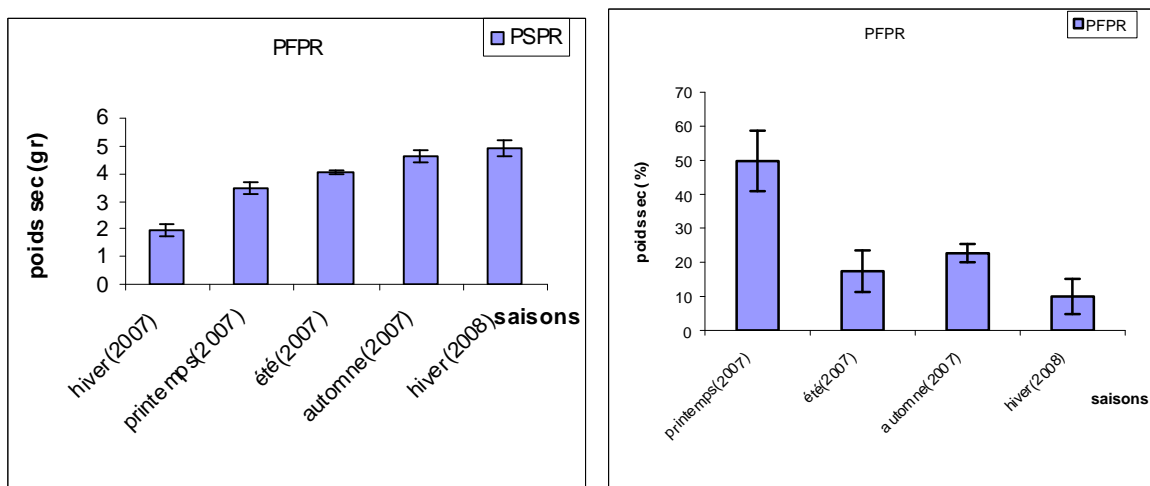


plus forte moyenne, la saison automnale et estivale au groupe B et la saison hivernale au groupe (C) (Tableau 32).

**Tableau 32.** Tableau des groupes homogènes de poids sec des tiges donné par le test de Newman et Keuls

| Saison           | Moyenne | Groupes |
|------------------|---------|---------|
| Printemps (2007) | 49,758  | A       |
| Été (2007)       | 21,192  | B       |
| Automne (2007)   | 19,475  | B       |
| Hiver (2008)     | 8,485   | C       |

### 3.6 Poids frais de la partie souterraine



**Figure 32.** Variation saisonnière du poids frais de la partie racinaire des semis de pin pignon. a : poids mesuré en (g) ; b : taux d'évolution de biomasse en %

La variation du poids frais racinaire est illustrée par la figure (32.a); on remarque une évolution progressive mais différente entre les saisons. Les semis de pin pignon présentent une forte accumulation durant la saison printanière avec une valeur de  $1.52 \pm 0.19g$ , on remarque aussi que la saison hivernale présente le taux de croissance le plus faible ( $0.27 \pm g$ ). Tandis que la saison estivale et automnale accusent des taux de croissance moyenne respectivement de l'ordre de  $0.53 \pm 0.27g$  et  $0.60 \pm 0.18 g$  (figure 32.b).

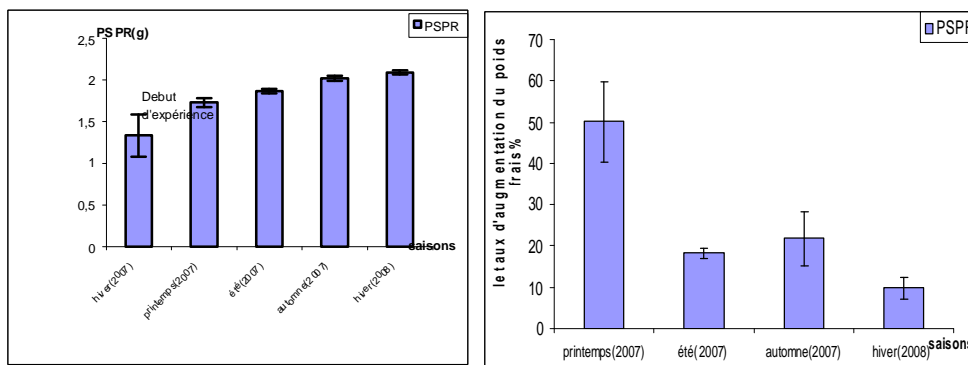
Ces résultats sont évalués par l'analyse de la variance à un critère qui signale une différence très hautement significative en fonction des saisons ( $p < 0.001$ ) (annexe02, tableau1). La comparaison des moyennes réalisée par le test de Newman et Keuls à 5 %, donne 4 groupes différents, où la saison printanière occupe le premier groupe

avec le taux de croissance le plus élevé (56.82%), et la saison estivale occupe le dernier groupe avec le taux de croissance le plus faible (9.80%). (Tableau 33)

**Tableau 33.** Tableau des groupes homogènes de poids frais des racines donné par le test de Newman et Keuls

| Saison           | Moyenne | Groupes |
|------------------|---------|---------|
| printemps (2007) | 56,820  | A       |
| automne (2007)   | 21,821  | B       |
| hiver (2008)     | 18,319  | B-C     |
| été (2007)       | 9,800   | C       |

### 3.7 Poids sec de la partie racinaire



**Figure 33.** Variation saisonnière du poids sec de la partie racinaire des semis de pin pignon. a : longueur mesurée en (g) ; b : taux d'évolution de biomasse en %

Les fluctuations thermiques entre les saisons ont entraîné une augmentation différente de l'accumulation du poids sec de la partie racinaire, celles-ci sont illustrées par la figure (33.a). Cependant, le taux d'accumulation de poids frais le plus élevé est signalé durant la période printanière avec une valeur de l'ordre de 56.81%. Alors que, le taux le plus faible est enregistré durant la saison hivernale (7.44%). Les valeurs moyennes sont relevées durant la période automnale et estivale, qui ont été respectivement de l'ordre de 19.36% et 16.46% (figure 33.b). L'analyse de la variance à un critère signale une différence très hautement significative en fonction des saisons ( $p < 0.001$ ) (annexe02, tableau1)

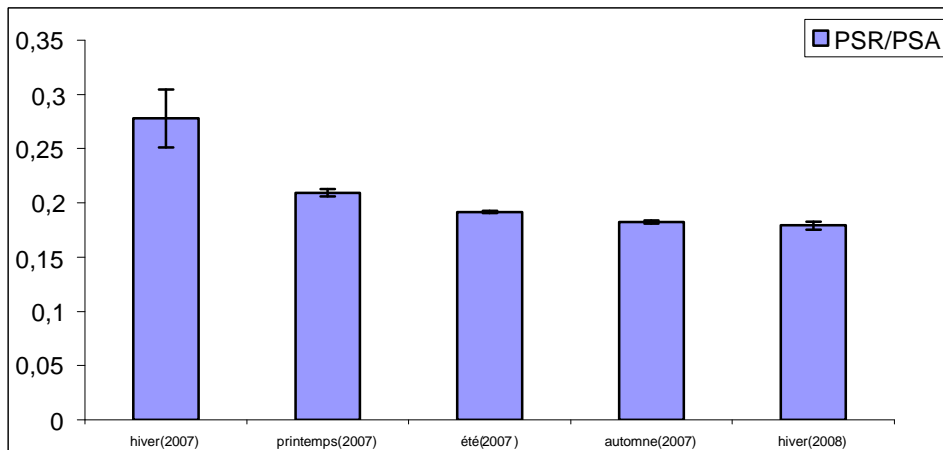
Ces résultats sont vérifiés par le biais du test de Newman et Keuls à 5%, fait ressortir 3 groupes homogènes, dans lesquels la saison printanière possède le taux d'augmentation du poids sec racinaire le plus élevé, en les affectant au groupe (A). Par contre la saison estivale possède le taux de croissance le plus faible (7.44%), elle occupe le dernier groupe

(C). tandis que les saisons automnale et hivernales appartiennent au même groupe (B) avec des taux de croissance moyens (Tableau 34).

**Tableau 34.** Tableau des groupes homogènes de la longueur des tiges donné par le test de Newman et Keuls

| Saison           | Moyenne | Groupes |
|------------------|---------|---------|
| Printemps (2007) | 56,818  | A       |
| Automne (2007)   | 19,368  | B       |
| Hiver (2008)     | 16,469  | B       |
| Été (2007)       | 7,444   | C       |

### 3.8 Rapport de biomasse



**Figure 34.** Variation saisonnière du rapport de poids sec (PSR/PSA) des semis de pin pignon.

La figure34 illustre les variations du rapport de biomasse sec des semis de pin pignon enregistrées durant les différentes saisons. On remarque que cette variation est régressive et présente des diminutions importantes d'une saison à une autre. Les valeurs sont de l'ordre de, 0.209, 0.19, 0.18 et 0.179 respectivement pour les saisons printanière, estivale, automnale et hivernale.

### 3.9. Taux de mortalité :

Durant la période de notre expérimentation, on a observé un taux de mortalité faible de 5 % durant la saison hivernale et 4 % durant la saison estivale.

### 3.10 Discussion

Les programmes de reboisement des arbres forestiers ont du mal à prendre en compte les caractères d'adaptation aux stress abiotiques. Lorsque les arbres poussent dans des conditions très limites, le caractère pris en compte est en priorité le taux de mortalité. Mais quand les conditions sont moins difficiles, le taux de mortalité est moins élevé, et le caractère le plus souvent pris en compte est la croissance. Quand les conditions difficiles sont relativement rares et de courte durée, la croissance intègre toutes les variations de l'environnement, et on ne dispose pas d'information directe sur les réactions des arbres à un épisode de stress thermique relativement court ou long et de gravité limitée. La contrainte thermique est donc un des facteurs clefs qui affectent la croissance des arbres (Dubos, 2001).

A condition que la plante soit correctement alimentée en eau, c'est la température qui est le facteur limitant du métabolisme végétal. Tant qu'on ne dépasse pas certaines valeurs, la croissance est favorisée par la température. (Jourdan, 2005)

Notre étude est réalisée dans la région de Constantine, mettant en évidence le rôle qu'exercent les variations thermiques saisonnières sur le développement et la croissance des semis de pin pignon dans un climat semi-aride.

L'analyse des résultats statistiques nous permet de retirer les différences de croissances entre les quatre saisons. La croissance verticale des semis de pin pignon présente son optimum durant la saison printanière avec un taux d'augmentation le plus élevé (63.45%) alors que la saison hivernale présente le taux le plus faible (7.06%). Ce ci est valable pour la longueur des racines qui présentent un maximum de croissance en printemps (64.03%) mais qui s'estompe en hiver (5.20%). Ces différences entre les saisons sont considérées variantes puisque l'analyse de la variance révèle des différences significatives entre les périodes temporelles de l'expérience (les 04 saisons).

Ces résultats concordent avec les travaux similaires réalisés par Abed 1992 et Chaba 1991 in Bezzala 2006 sur le Pin d'Alep respectivement dans la région d'Alger et Djelfa qui ont mit en évidence une croissance faible à nulle de cette espèce durant la période hivernale.

González, 2005 a constaté une diminution significative du nombre des feuilles influencées par des basses températures.

Durant la saison printanière, on a enregistré une croissance maximale au niveau des parties aériennes et souterraines que ce soit pour la hauteur ou la biomasse. Les résultats de ces mesures sont en accord avec la tendance généralement recensée dans la littérature. La saison printanière est la saison la mieux caractérisée au développement des plants indiqués par des températures favorables. Tandis que la baisse de ces dernières durant la saison hivernale provoque une inhibition de croissance chez la plupart des plantes.

González, 2005 montre qu'avec l'augmentation de la température, la vitesse de développement augmente en période de croissance et diminue en période de repos hivernal (vernalisation des cultures d'hiver comme le blé ou le colza). Les travaux de Mauriès (1994) sur la luzerne font référence à des relations observées entre l'augmentation de la température ( $>5^{\circ}\text{C}$ ) et le repart de la végétation durant la saison printanière. La racine pivotante de la luzerne développe des racines secondaires plus ou moins ramifiées et l'ensemble possède une forte capacité d'enracinement (jusqu'à 10 m).

En raison du stress thermique, en particulier celui provoqué par les basses températures, Gómez 1995 a constaté que les plantules de bananier ont ralenti leur croissance. Mis à part les différences d'âge et de développement, ce comportement est similaire à celui décrit pour le désordre physiologique connu sous le nom de *choking* (Daniells 1993 in González,2005). Selon Bates *et al*, 1973 in González,2005) ; nombre de feuilles nécrosées ; poids frais des plantes ; nombre de racines ; nombre de feuilles et hauteur des plantes. Ces dernières estimations ont été affectées à la fin de la période d'acclimatation.

La diminution de croissance est liée aux changements métaboliques codés par la variation génétique des espèces et par le type et l'intensité du stress. En condition stressée, la baisse de la croissance semble se faire *via* une diminution de l'élongation cellulaire (diminution de 53% de l'accumulation d'actine) (Dubos, 2001). Comme cela a été mis en évidence par Costa (1999). Ces résultats sont en accord avec les mesures de croissance réalisées par N'Guyen-Queyrens et al. (1995).

Il est probable aussi que le phénomène de diminution de la croissance observée au niveau des plantules de pin maritime soit relié à une diminution de la quantité de cytokinines présentes dans les tissus. Liu et al. 1998 in Cornic 2007 ont observé une baisse de la quantité de cytokinines chez *Pinus sylvestris*, *Pinus koraiensis* ou *Abies holophylla* lors d'un stress salin.

Durant la période où les plantes sont exposées à des températures basses, les acides gras des membranes sont désaturés. Lorsque leur degré d'insaturation devient suffisant, les cellules reprennent leur croissance et la synthèse des acides gras redémarre. Si par contre la température de culture est augmentée, leur degré d'insaturation diminue parce qu'il n'y a plus de désaturation des lipides existants et parce qu'il se produit une synthèse rapide d'acides gras saturés. (Cornic, 2007)

D'anciens travaux, réalisés sur des plantes pérennes du Mohave et des zones sèches australiennes, rapportés par Berry et Björkman 1980 in Cornic, 2007, indiquent en effet que l'augmentation de la température de croissance est corrélée à un accroissement du degré de saturation des lipides.

Le taux d'accumulation du poids sec est plus important durant la saison printanière au niveau des racines (51.76%) et la partie aérienne (50.74%). Tandis que les saisons automnales et estivales ont enregistré des taux moyennement modérés qui sont de l'ordre de 16.49% et 19.36% respectivement au niveau des racines et 21.25% et 19.32% au niveau des parties aériennes.

La longueur de la partie racinaire a enregistré des corrélations positives avec la longueur des tiges ( $r=0.889$ ,  $p=0.003$ ) d'une part et d'autre part avec le poids frais et sec de la partie aérienne avec des coefficients de corrélations de  $r=0.966$  ( $p=0.00$ ) et  $r=0.900$  ( $p=0.002$ ) respectivement et avec la partie souterraine dont les coefficients sont de l'ordre de  $r=0.732$  ( $p=0.039$ ) et  $r=0.804$  ( $p=0.016$ ).

A la fin de l'expérimentation, les longueurs cumulées des tiges et des racines des semis de pin pignon sont respectivement de 33.9 cm et 53 cm. Ceci suggère que dans les conditions de développement naturelles, les écarts de températures saisonnières affectent la croissance en hauteur de la partie aérienne par rapport à la partie souterraine.

Des résultats analogues ont été présentés par plusieurs auteurs qui ont signalés une réduction plus marquée de la croissance en hauteur au niveau des parties aériennes qu'au niveau des parties racinaires chez le genre *Pinus* suite aux différents stress ; chez le *Pinus caribaea* (63%) et le *Pinus occarpa* (Tesda, 1971) suite à un stress hydrique, le pin maritime suite à un stress salin (Costa, 1999 ; N'Guyen-Queyrens et al, 1995). Cette plasticité morphologique devrait permettre aux pins d'acquiescer plus efficacement l'eau et l'azote du sol (Cochard, 2003).

La biomasse sèche peut être définie comme le reflet des réserves accumulées préalablement et résulte de l'activité photosynthétique (Mzliak 1982, in Roula2005)

L'analyse de la matrice de corrélation des paramètres morphologiques montre que le poids frais de la partie aérienne enregistre des corrélations positives avec le poids frais de la partie souterraine ( $r=0.745$ ,  $p=0.034$ ) et le poids sec de la partie aérienne ( $r=0.933$ ,  $p=0.001$ ) et souterraines ( $r=0.848$ ,  $p=0.0016$ ). La matrice de corrélation montre aussi des corrélations très hautement significatives entre le poids sec des deux parties aériennes et souterraines ( $r=0.979$ ,  $p=0.000$ ) et entre le poids frais et le poids sec de la partie souterraine ( $r=0.821$ ,  $p=0.012$ ) ainsi qu'entre le poids sec et le poids frais de la partie souterraine ( $r=0.825$ ,  $p=0.012$ ).

Le taux d'accumulation de la biomasse souterraine soumise aux conditions naturelles a été réduit par rapport à celle de la partie aérienne. En effet, le poids sec de la partie aérienne et la partie souterraine à la fin de l'essai, est respectivement de l'ordre de 12.23 et 2.15g et le rapport de la biomasse n'a pas été affecté (il n'existe pas des corrélations significatives entre le rapport biomasse souterraine et aérienne et les autres paramètres morphologiques). Cependant, la longueur de la partie racinaire est plus importante que la partie aérienne, les semis de pin pignon forment des racines fines et longues. Cette différence semble liée à l'implication des racines dans l'assimilation en eau, car le maintien d'une certaine activité cellulaire va permettre aux plantes de prospecter le milieu pour la recherche d'eau

González1995 a constaté que pour le poids frais, les températures n'ont pas eu une influence directe, étant donné que les valeurs étaient faibles pour tous les groupes de bananiers soumis à un stress thermique, sauf pour ceux ayant été aspergés au préalable avec le

brassinostéroïde dans les chambres à 27°C et 34°C respectivement qui ont montré une augmentation significative.

Nos résultats ne correspondent pas à la tendance observée dans la littérature voulant que les plants stressés exposent les plus fortes accumulations de la biomasse dans la partie racinaire. Albouchi et al. 2003 in Bezzala 2006 constate une réduction de la biomasse sèche totale et une allocation de biomasse vers les racines des jeunes plants de *Casuarina*, suite à un stress hydrique.

L'adaptation de la partie aérienne (hauteur de la tige, nombre des feuilles, croissance radiale et biomasse aérienne) varie selon l'espèce et l'intensité du stress hydrique subi (Bezzala, 2006). La distribution de la biomasse est affectée suite à un stress hydrique chez les plantes stressées (Ledig, 1981), liée à la complémentarité des fonctions de croissance des parties racinaires et aériennes (Monroy-ata et *al.* 1988).

L'allocation de la biomasse dans la partie aérienne des semis de pin pignon (4 fois plus importante que la partie racinaire) peut être expliqué par une bonne adaptation de cette espèce dans notre région (le taux de survie est de 91%) et par l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau suite à une longueur racinaire plus importante que la hauteur des tiges, qui est favorablement médiatisée par l'ajustement osmotique pour maintenir une activité photosynthétique très importante, à fin d'assurer un niveau de rendement satisfaisant, donc un gain en masse sèche aérienne au niveau de nos jeunes plants.



## Chapitre 4. Les paramètres physiologiques

### 4.1. Conséquences des fluctuations thermiques sur les teneurs en proline totales

**Tableau 35.** Paramètres statistiques des teneurs en proline pour les 12 mois.

| Variable  | Nombre | Moyenne | Ecartype | Minimum | Maximum |
|-----------|--------|---------|----------|---------|---------|
| témoin    | 8      | 0,4826  | 0,1916   | 0,209   | 0,729   |
| décembre  | 8      | 1,27    | 0,2216   | 0,85    | 1,5     |
| janvier   | 8      | 1,843   | 0,455    | 1,34    | 2,66    |
| février   | 8      | 1,288   | 0,363    | 0,79    | 1,83    |
| mars      | 8      | 2,021   | 0,586    | 1,26    | 2,68    |
| avril     | 8      | 0,5513  | 0,2121   | 0,25    | 0,85    |
| mai       | 8      | 0,5912  | 0,2317   | 0,25    | 0,9     |
| juin      | 8      | 1,339   | 0,348    | 0,75    | 1,7     |
| juillet   | 8      | 1,011   | 0,424    | 0,37    | 1,58    |
| août      | 8      | 0,8313  | 0,2372   | 0,45    | 1,11    |
| septembre | 8      | 0,41    | 0,1662   | 0,19    | 0,71    |
| octobre   | 8      | 0,4825  | 0,1738   | 0,21    | 0,72    |
| novembre  | 8      | 1,856   | 0,396    | 1,18    | 2,35    |

#### 4.1.2. Conséquences des fluctuations thermiques saisonnières sur les teneurs totales en proline

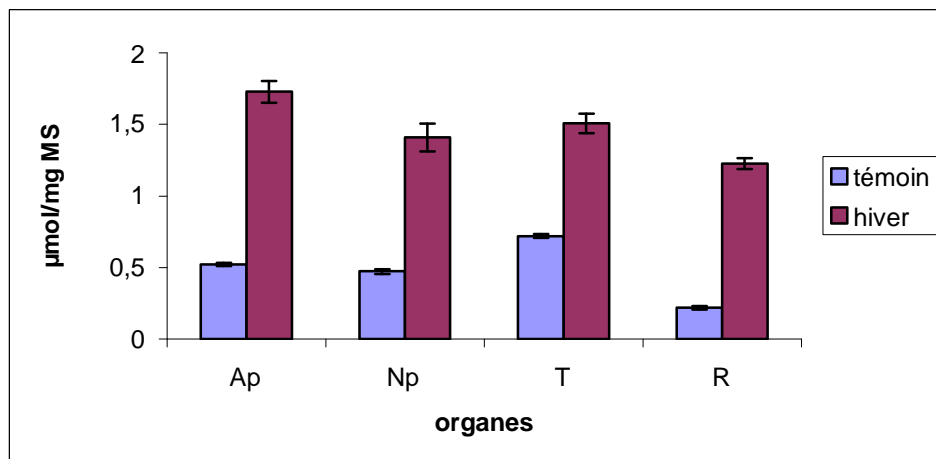
**Tableau 36.** Taux de variation saisonnier (par rapport au témoin) des teneurs en proline dans les différents organes des semis de pin pignon.

|    | Témoin | Hiver  | Printemps | Eté    | automne |
|----|--------|--------|-----------|--------|---------|
| Ap | /      | 231,73 | 158,73    | 149,12 | 107,81  |
| Np | /      | 198,69 | 103,96    | 147,79 | 88,05   |
| T  | /      | 109,11 | 75,57     | 58,69  | 51,52   |
| R  | /      | 461,93 | 195,87    | 190,52 | 177,52  |

##### 4.1.1.1. La saison hivernale

Le niveau d'accumulation de la proline mesuré dans les différents organes des semis de pin pignon durant la période hivernale entre le mois de décembre et de février s'est

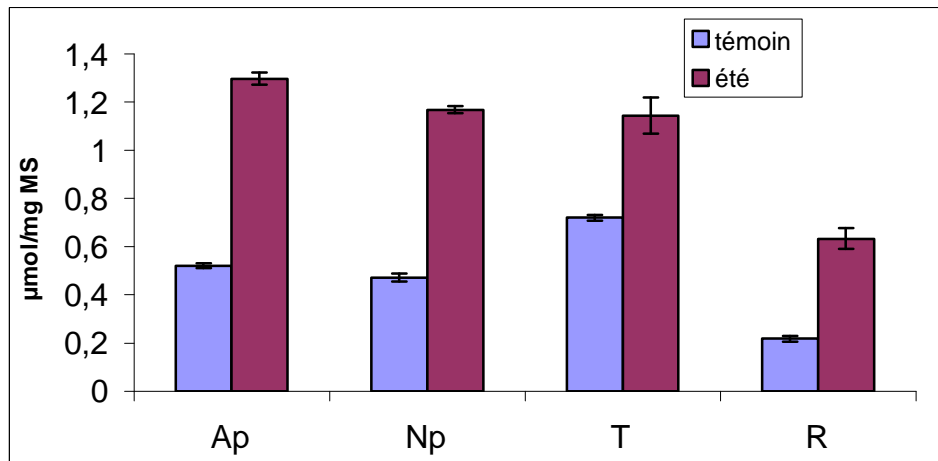
maintenu élevé pendant toute la saison par rapport au témoin (tableau 36). L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence non significative ( $p=0.260$ ) (Annexe 03; tableau01). Les résultats indiquent que les teneurs en proline sont plus élevées au niveau des anciennes pousses ( $1.726 \pm 0.076 \mu\text{mol/mg MS}$ ) et les tiges ( $1.506 \pm 0.067 \mu\text{mol/mg MS}$ ) par rapport aux nouvelles pousses et les racines dont les valeurs sont successivement de ( $1.408 \pm 0.096 \mu\text{mol/mg MS}$  et  $1.225 \pm 0.036 \mu\text{mol/mg MS}$ ) (Figure 35).



**Figure 35.** Variation saisonnière des teneurs proline totale dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison hivernale

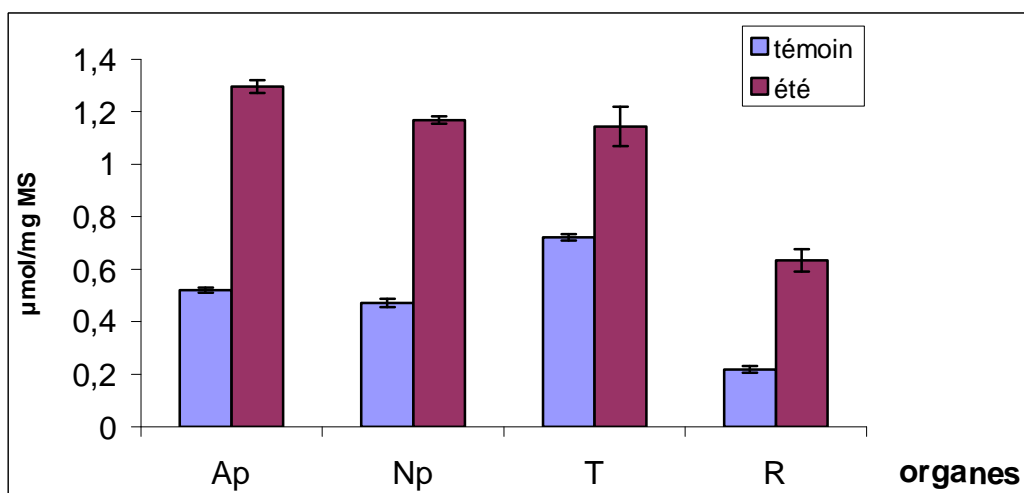
#### 4.1.1.2. La saison printanière

Pour la saison printanière, les résultats de l'analyse de la variance à un critère de classification (Annexe 03; tableau01) montrent que le test est non significatif pour le paramètre des organes ( $p=0.421$ ). La valeur la plus élevée est enregistrée au niveau des anciennes pousses ( $1.346 \pm 0.014 \mu\text{mol/mg MS}$ ) en signalant une augmentation de 158.73%, alors que la valeur la plus faible est affichée au niveau des racines  $0.645 \pm 0.034 \mu\text{mol/mg MS}$  et un accroissement de 195.87% (figure.36).



**Figure 36.** Variation saisonnière des teneurs proline totale dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison printanière

#### 4.1.1.3. La saison estivale



**Figure 37.** Variation saisonnière des teneurs proline totale dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison estivale

Les résultats illustrés par la figure 37 montrent que la chaleur de la saison estivale a induit une très grande accumulation de la proline. Les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des anciennes pousses en dénonçant une augmentation de 149.12%. Par contre, la valeur la plus faible est celle des racines qui affichent une augmentation de 190.52% (tableau 36). L'analyse de la variance montre une différence significative entre les organes ( $p = 0,009$ ) (Annexe 03; tableau01). Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% révèle l'existence de deux groupes homogènes, le groupe (A) comprend les anciennes et les

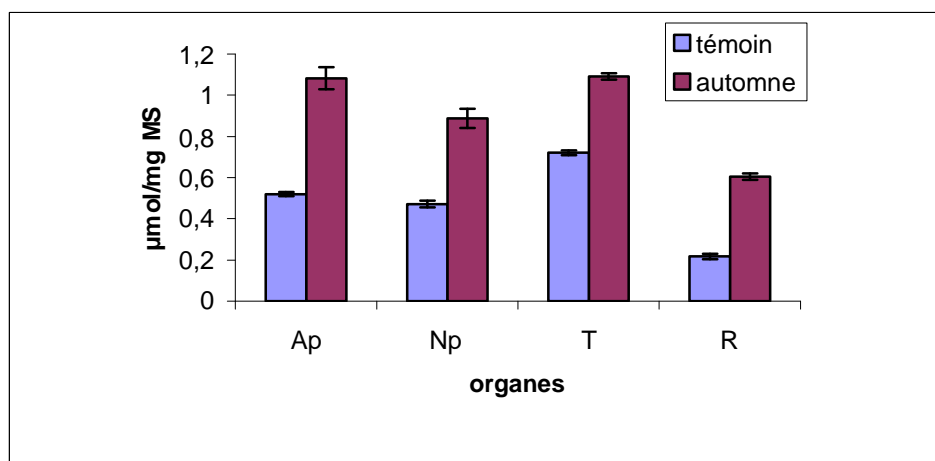
nouvelles pousses ainsi que les tiges représentant les plus grandes moyennes qui varient entre 1.297 et 1.143 le second comprend les racines qui affichent la plus faible moyenne (0.633) (tableau 37).

**Tableau 37.** Tableau des groupes des organes homogènes, de la teneur en proline pour la saison printanière, obtenus par le test de Newman et Keuls

| Organes | Moyenne ( $\mu\text{mol}/\text{mg MS}$ ) | Groupes |
|---------|--|---------|
| Ap      | 1,297                                    | A       |
| Np      | 1,168                                    | A       |
| T       | 1,143                                    | A       |
| R       | 0,633                                    | B       |

#### 4.1.1.4. La saison automnale

Durant la saison automnale, les tiges affichent la plus forte accumulation avec une valeur de  $1.091 \pm 0.053$  en présentant un gain de 51.52% par rapport au témoin (tableau. 36). Les racines affichent la plus faible teneur entre les organes ( $0.605 \pm 0.014 \mu\text{mol}/\text{mg MS}$ ) mais en accusant le plus fort gain 177.52% par rapport au témoin (figure.38). L'analyse de la variance montre qu'il n'existe pas de différence significative ( $p= 0,649$ ) (Annexe 03; tableau01).



**Figure 38.** Variation saisonnière des teneurs en proline totale dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison automnale

#### 4.1.2. Conséquences des fluctuations thermiques inter saisonnière sur les teneurs en proline

Les résultats illustrés dans la figure 39 montrent une grande différence entre les organes et entre les saisons, ceci est confirmé par l'analyse de la variance à 02 critères de classification qui montre qu'il existe une différence hautement significatives entre les organes ( $p=0.008$ ) et significative entre les saisons ( $p=0.015$ ) (Annexe 03; tableau01).

La figure 39 représente les variations de la teneur en proline des différents organes des semis de pin pignon en fonction des saisons.

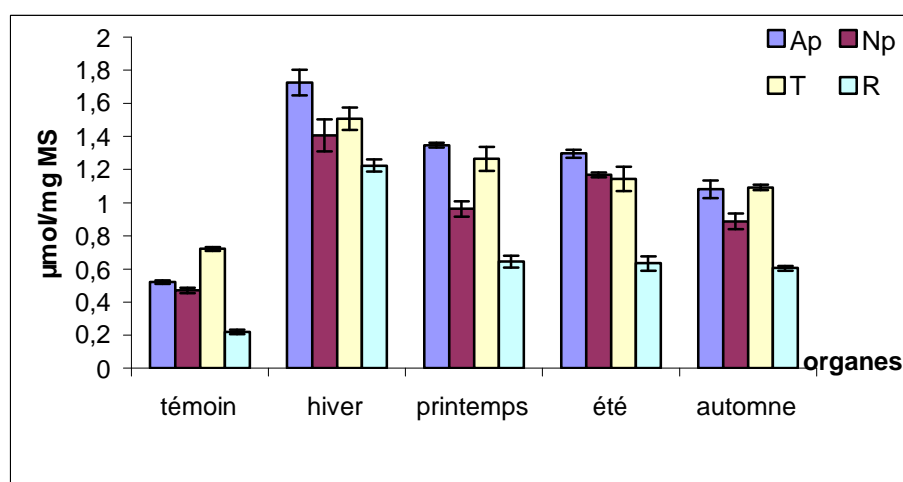
Pour les anciennes pousses, la valeur la plus élevée est affichée en hiver avec une valeur de  $1.72 \pm 0.076 \mu\text{mol/mg MS}$  et un taux d'augmentation de 231.73% par rapport au témoin. Par contre la valeur la plus faible est enregistrée en automne  $0.605 \pm 0.053076 \mu\text{mol/mg MS}$  accusant une augmentation de 107.81% par rapport au témoin.

Pour les nouvelles pousses la valeur la plus élevée est relevée durant la saison estivale avec  $1.168 \pm 0.014076 \mu\text{mol/mg MS}$  avec un taux d'augmentation de 147.79% et la valeur la plus faible est enregistrée durant la saison printanière  $0.96 \pm 0.047076 \mu\text{mol/mg MS}$  accusant une augmentation de 103.96% par rapport au témoin.

Au niveau des tiges, les valeurs les plus élevées sont observées en hiver ( $1.506 \pm 0.067 \mu\text{mol/mg MS}$ ) et les plus faibles en automne  $1.091 \pm 0.0147076 \mu\text{mol/mg MS}$ .

Enfin les racines présentent les plus faibles teneurs en proline par rapport aux autres organes à travers les saisons.

En fonction des saisons, on remarque que la saison hivernale affiche les plus fortes moyennes par contre les plus faibles teneurs sont enregistrés durant la saison automnale.



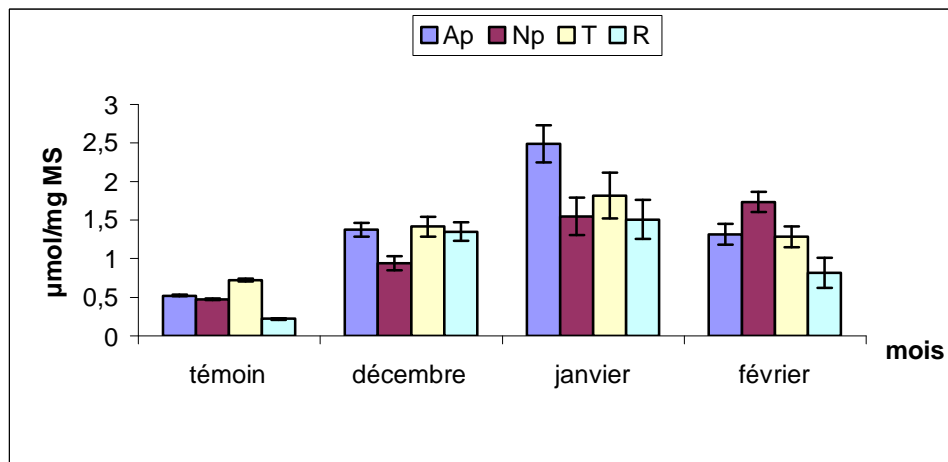
**Figure 39.** Variation inter saisonnière des teneurs en proline totale dans les différents organes des semis de pin pignon (Np : nouvelle pousse. Ap : ancienne pousse. T : tige. R : racine)

### 4.1.3. Conséquences des fluctuations thermiques inter mensuelles pour chaque saisons sur les teneurs en proline

**Tableau 38.** Taux de variation mensuel (par rapport au témoin) des teneurs en proline dans les différents organes des semis de pin pignon

|    | décembre | janvier | février | mars   | avril  | mai   | juin   | juillet | août   | septembre | octobre | novembre |
|----|----------|---------|---------|--------|--------|-------|--------|---------|--------|-----------|---------|----------|
| Ap | 164,17   | 378,39  | 152,64  | 389,91 | 50,82  | 35,45 | 216,04 | 189,15  | 42,17  | -17,39    | 11,43   | 329,39   |
| Np | 99,36    | 228,74  | 267,97  | 249,95 | 46,34  | 15,59 | 181,02 | 160,87  | 101,48 | -33,19    | -14,10  | 311,45   |
| T  | 96,39    | 152,60  | 78,35   | 253,92 | -43,10 | 15,89 | 114,43 | 10,34   | 51,28  | -11,87    | -8,40   | 174,81   |
| R  | 519,27   | 592,66  | 273,85  | 512,39 | 46,79  | 28,44 | 285,32 | 136,24  | 150,00 | 19,27     | 30,73   | 482,57   |

#### 3.1.3.1. La saison hivernale

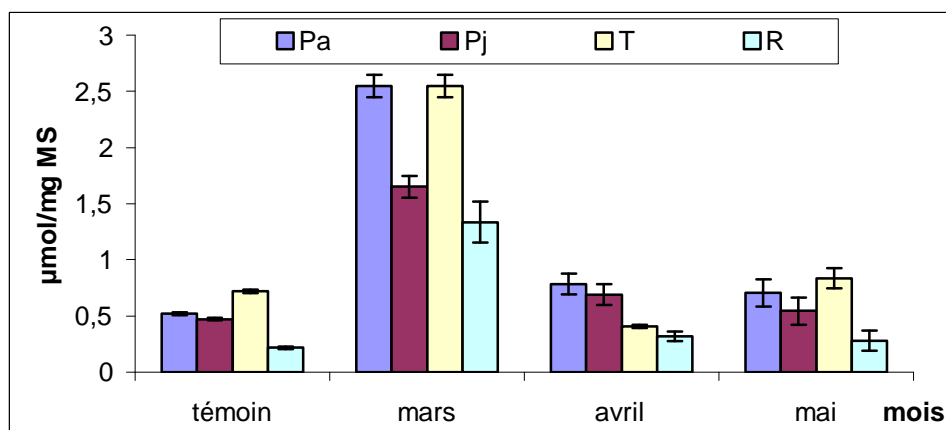


**Figure 40.** Variation inter mensuelle des teneurs en proline dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison hivernale

Le froid hivernal a provoqué une augmentation de la teneur en proline dans les différents organes des semis de pin pignon par rapport au témoin (figure.40). En moyenne, les teneurs en proline sont relativement plus importantes dans les tiges et les anciennes pousses pour les trois mois de la saison. Le mois de janvier enregistre les teneurs ; les plus élevées le taux d'accumulation par rapport au témoin est de 152.60% pour les tiges et 378% pour les anciennes pousses (tableau 38). Décembre enregistre les teneurs les plus faibles au niveau des tiges  $1.41 \pm 0.12$   $076 \mu\text{mol/mg MS}$  et un taux d'augmentation de 96.39% et le mois de février signale les teneurs les plus faibles au niveau des racines ( $0.815 \pm 0.134$   $076 \mu\text{mol/mg MS}$ ) accusant une augmentation de 273.85%. En effet, l'analyse de la variance à deux critères

de classification montre une différence hautement significative pour le paramètre d'organe ( $p=0,002$ ) et très hautement significative en fonction des mois (Annexe 03; tableau02).

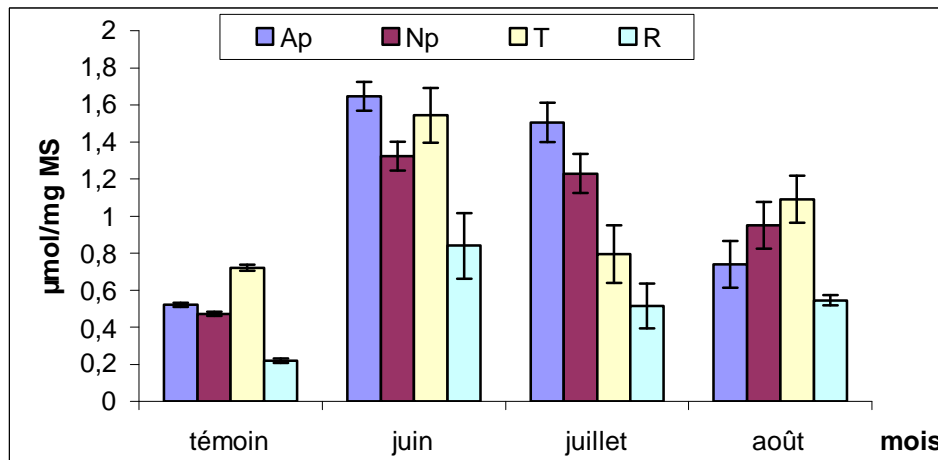
#### 4.1.3.2. La saison printanière



**Figure 41.** La variation inter mensuelle des teneurs en proline dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison printanière

En ce qui concerne la saison printanière, l'analyse des résultats illustrés à la figure 41 montre que la teneur est d'autant plus importante au mois de mars par rapport aux mois d'avril et mai. Les plus grandes teneurs sont affichées au niveau des tiges et des anciennes pousses qui présentent des teneurs identiques au témoin mais avec un taux d'augmentation au niveau des anciennes pousses (389.1%) sont supérieur à celui des tiges (253.92%) (Tableau, 38). Les teneurs les plus faibles sont signalées au niveau des nouvelles pousses ( $1.65 \pm 0.099$  µmol/mg MS) et les racines ( $1.33 \pm 0.106$  µmol/mg MS). Le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification montre qu'il existe une différence très hautement significative entre les mois ( $p < 0.001$ ) et entre les organes ( $p < 0.001$ ) (Annexe 03; tableau02).

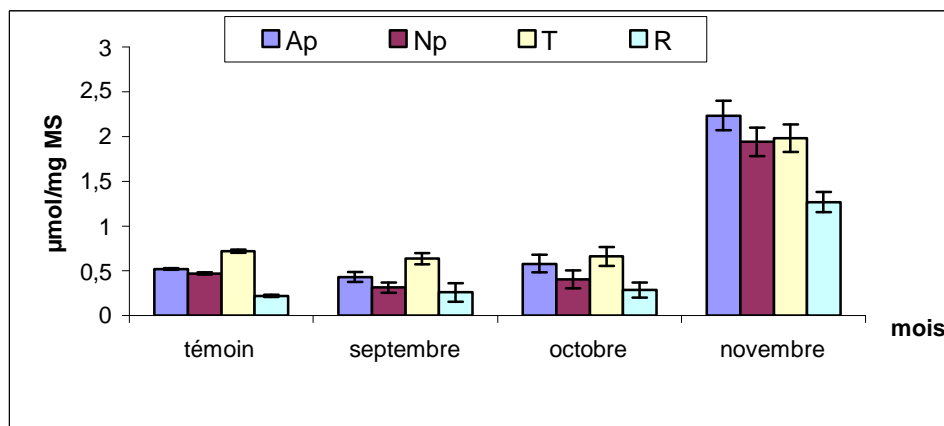
#### 4.1.3.3. La saison estivale



**Figure 42.** Variation inter mensuelle des teneurs en proline dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison estivale

L'analyse de la variance à deux critères montre une différence très hautement significative ( $p < 0.001$ ) entre les 03 mois de la saison estivale et entre les différents organes des semis pour l'accumulation de la proline ( $p < 0.001$ ) (Annexe 03; tableau02). Les valeurs les plus élevées sont observées au mois de juin au niveau des anciennes pousses et des tiges avec des taux d'augmentation de 216.04% et 181.02% respectivement par rapport au témoin. Alors que les plus faibles valeurs ont été enregistrées au mois d'août au niveau des différents organes avec des taux d'augmentation variant entre 42.17% au niveau des anciennes pousses et 150.00% au niveau des racines (figure.42 ; Tableau 38).

#### 4.1.3.4. La saison automnale

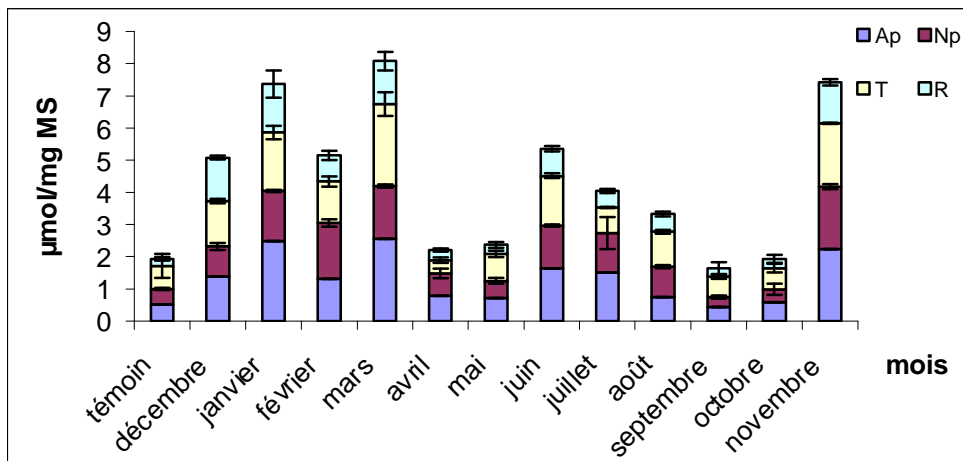


**Figure 37.** Variation inter mensuelle des teneurs en proline dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison automnale



Pour la saison automnale, les taux d'accumulation de la proline par rapport au témoin sont illustrés dans le tableau 38. Les teneurs les plus élevées sont enregistrées au mois de novembre et les plus faibles en septembre. Au niveau des organes les teneurs les plus élevées sont signalées au niveau des tiges en novembre avec un taux d'augmentation de 174% mais qui présentent une diminution au mois d'octobre (8.40%) et en septembre (11.87%) par rapport au témoin (figure. 43). L'analyse de la variance à deux critères de classification montre une différence très hautement significative entre les organes ( $p < 0.001$ ) et entre les mois ( $p < 0.001$ ) (Annexe 03; tableau02).

#### 4.1.4. Variation mensuelle globale des teneurs en proline entre les organes



**Figure44.** Variation mensuelle de taux de la proline en fonction des organes.

Les valeurs moyennes des teneurs en proline relevées au niveau des organes des semis de pin pignon se présentent dans l'ordre décroissant, suivant :

**[Tiges] > [Anciennes pousses] > [Nouvelles pousses] > [Racines]**

Donc l'accumulation de la proline est plus élevée au niveau des tiges et faible dans les racines.

D'après la figure44, on voit que le mois de janvier est le mois le plus accumulant de la proline, il est 4.5 fois plus que le témoin. Alors que le mois d'avril représente le mois le moins accumulant. La distribution quantitative mensuelle des concentrations se fait dans l'ordre décroissant suivant :

**[Mars] > [Novembre] > [Janvier] > [Juin] > [Février] > [Décembre] > [Juillet] > [Août] > [Mai] > [Avril] > [Octobre] > [Septembre].**

## 4.2. Conséquences des fluctuations thermiques sur les teneurs en sucre soluble

**Tableau 39.** Paramètres statistiques des teneurs en sucres solubles pour les 12 mois.

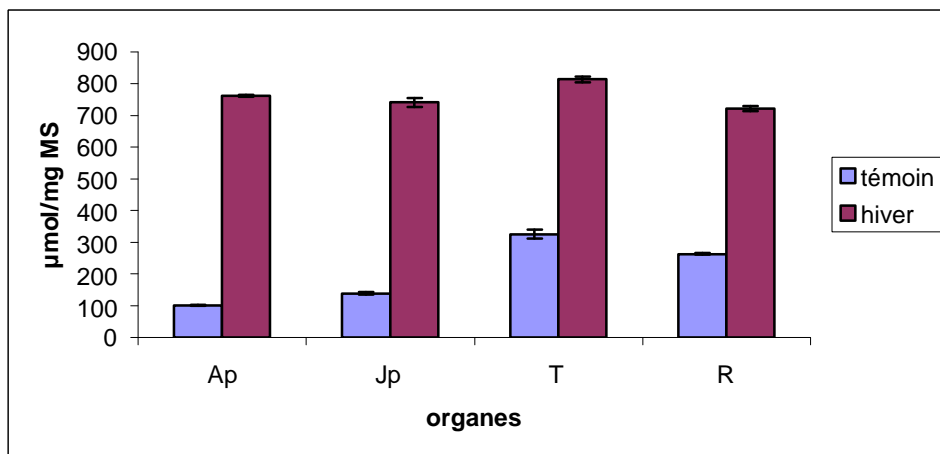
| Variable  | N | Moyenne | Ecartype | Minimum | Maximum |
|-----------|---|---------|----------|---------|---------|
| Témoin    | 8 | 206,9   | 97,3     | 99,4    | 335,3   |
| Décembre  | 8 | 479,3   | 113,9    | 329,9   | 617,8   |
| Janvier   | 8 | 1125    | 48,6     | 1054,8  | 1185,9  |
| Février   | 8 | 674,2   | 35,5     | 624,6   | 733,8   |
| Mars      | 8 | 758,6   | 91,9     | 626,6   | 875,1   |
| Avril     | 8 | 159,1   | 88,2     | 70,1    | 298,3   |
| Mai       | 8 | 342     | 78,9     | 265,9   | 468,4   |
| Juin      | 8 | 471,9   | 171,7    | 265,1   | 714,9   |
| Juillet   | 8 | 938,4   | 198,3    | 641,2   | 1150,4  |
| Août      | 8 | 585,3   | 182,6    | 381,5   | 819     |
| Septembre | 8 | 410,3   | 91,4     | 272,8   | 538,9   |
| Octobre   | 8 | 378,3   | 60       | 304,9   | 479,7   |
| Novembre  | 8 | 425,4   | 119,2    | 299     | 564,3   |

### 4.2.1. Conséquences des fluctuations thermiques saisonnières sur les teneurs en sucres solubles

**Tableau 40.** Taux de variation saisonnière (par rapport au témoin) des sucres dans les différents organes des semis de pin pignon.

|                   | hiver   | printemps | Eté     | automne |
|-------------------|---------|-----------|---------|---------|
| Anciennes pousses | 755,241 | 330,516   | 705,789 | 313,301 |
| Nouvelles pousses | 434,232 | 241,044   | 423,867 | 186,862 |
| Tiges             | 150,133 | 35,616    | 111,304 | 34,209  |
| Racines           | 174,601 | 26,052    | 65,193  | 39,778  |

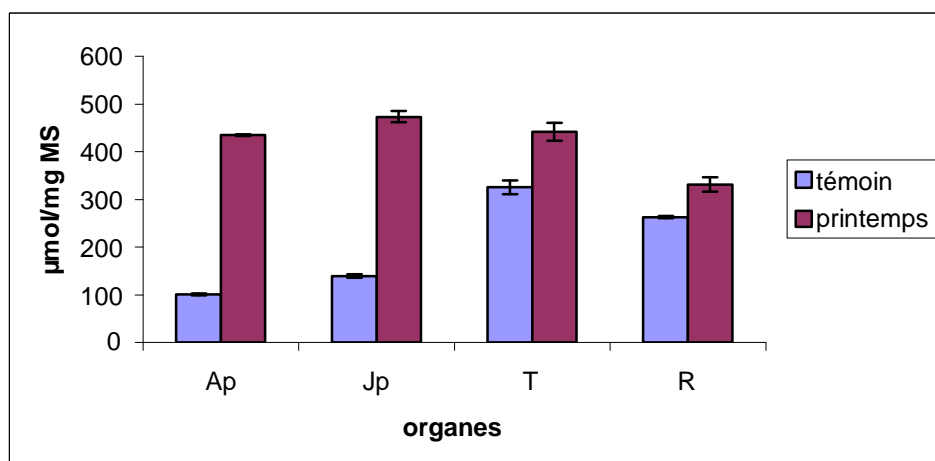
#### 4.2.1.1. La saison hivernale



**Figure 45.** Variation saisonnière des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison hivernale

Chez les semis de pin pignon l'accumulation des sucres durant la saison hivernale est illustrée par la figure 45, les taux d'augmentation ont atteint 655.241%, 434.232%, 174.601% et 150.133%, respectivement aux niveaux des anciennes pousses, nouvelles pousses, racines et les tiges par rapport au témoin (Tableau 40). L'analyse de la variance à un critère de classification n'est pas significative en fonction des organes ( $p=0.958$ ) (annexe03, tableau03).

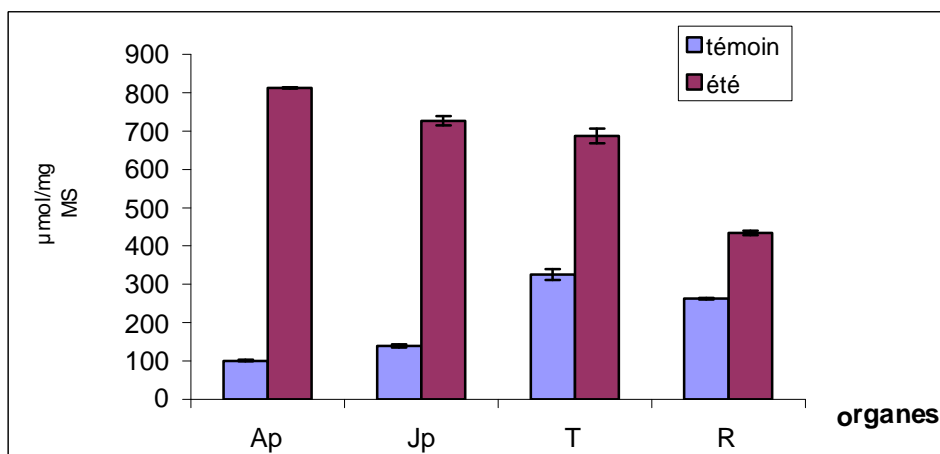
#### 4.2.1.2. La saison printanière



**Figure 46.** Variation saisonnière des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison printanière

Les résultats concernant les teneurs en sucres solubles accumulées par les organes des semis de pin pignon pendant la saison printanière, illustrées par la figure 46 montrent une importante accumulation des sucres au niveau des anciennes et des nouvelles pousses en signalant des augmentations de 330.516% et 241.044% et une faible augmentation au niveau des tiges et des racines 35.61% et 26.052% respectivement par rapport au témoin (Tableau 40). L'analyse de la variance à un critère de classification n'est pas significative en fonction des organes ( $p=0.836$ ) (annexe 03; tableau03).

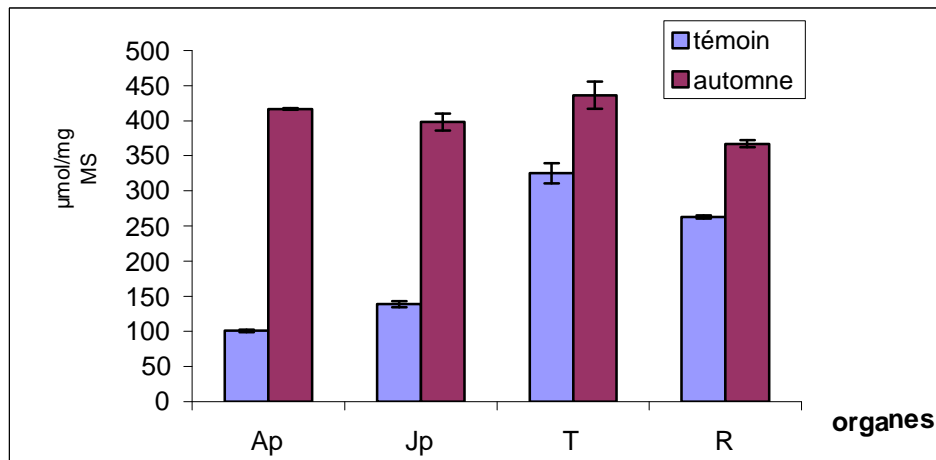
#### 4.2.1.3. La saison estivale



**Figure 47.** Variation saisonnière des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison estivale

Les résultats de la teneur en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison estivale sont illustrés par la figure 47, nous constatons une forte augmentation dans la concentration des sucres suite à une augmentation des températures estivales. La valeur la plus élevée est enregistrée au niveau des anciennes pousses avec 705.789% et la plus faible valeur au niveau des racines avec un taux d'augmentation de 65.193 % comparativement au témoin (tableau. 40). Les résultats de l'analyse de la variance (annexe03 ; tableau 03) montre qu'il n'existe pas une différence significative entre les organes pour ce paramètre ( $p= 0.075$ ).

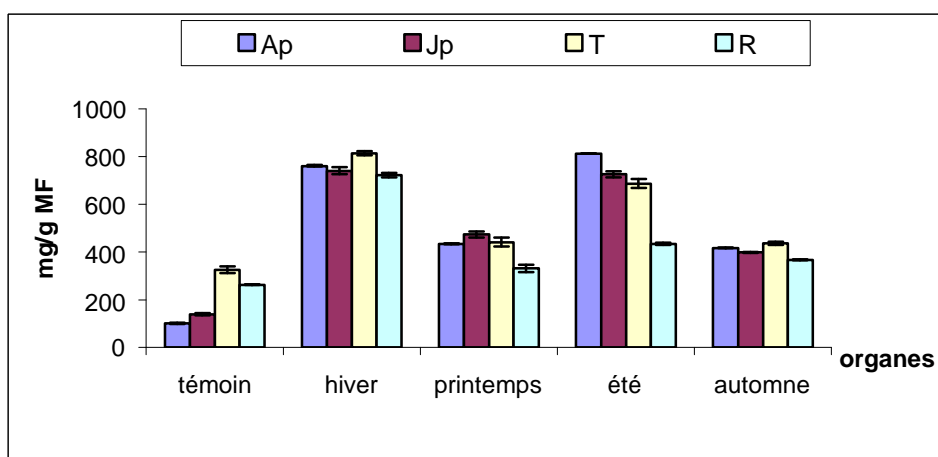
#### 4.2.1.4. La saison automnale



**Figure 48.** Variation saisonnière des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison automnale

Durant la saison automnale, l'accumulation des sucres solubles au niveau des différents organes des semis de pin pignon est faible par rapport aux autres saisons (figure 48). Les taux d'augmentations sont de l'ordre de 313.301%, 186.862%, 39.77% et 34.20% au niveau des anciennes pousses, des nouvelles pousses, des racines et au niveau des tiges (tableau 40). Les résultats de l'analyse de la variance à un critère de classification signale un effet non significatif en fonction des organes  $p=0.630$ ) (Annexe 03; tableau03)

#### 4.2.2. Conséquences des fluctuations thermiques inter saisonnière sur les teneurs en sucres solubles



**Figure 49.** La variation inter saisonnière des teneurs sucre soluble dans les différents organes des semis de pin pignon

Les résultats des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon durant les quatre saisons de l'année illustrées par la figure 49 montrent des variations importantes aussi bien au niveau des saisons qu'au niveau des organes. L'analyse de la variance à deux critères de classifications indique des variations très hautement significative en fonction des saisons ( $p < 0.001$ ) mais non significative en fonction des organes ( $p = 0.161$ ) (Annexe 03; tableau04)

En ce qui concerne les saisons, la figure 49 montre que les fortes températures estivales provoquent les plus fortes accumulations des sucres. Le froid hivernal est aussi responsable d'une forte accumulation des sucres. Par contre la saison automnale et printanière présente des taux d'accumulations faible par rapport au témoin au niveau des différents organes.

Au niveau des organes, l'accumulation des sucres représente des variations très importantes au cours des saisons. Durant la saison hivernale et automnale, ce sont les tiges et anciennes pousses qui accumulent plus les sucres, alors que en saison estivale les anciennes et les jeunes pousses présentent les plus grandes valeurs.

#### 4.2.3. Conséquences des fluctuations thermiques inter saisonnière sur les teneurs en sucre soluble

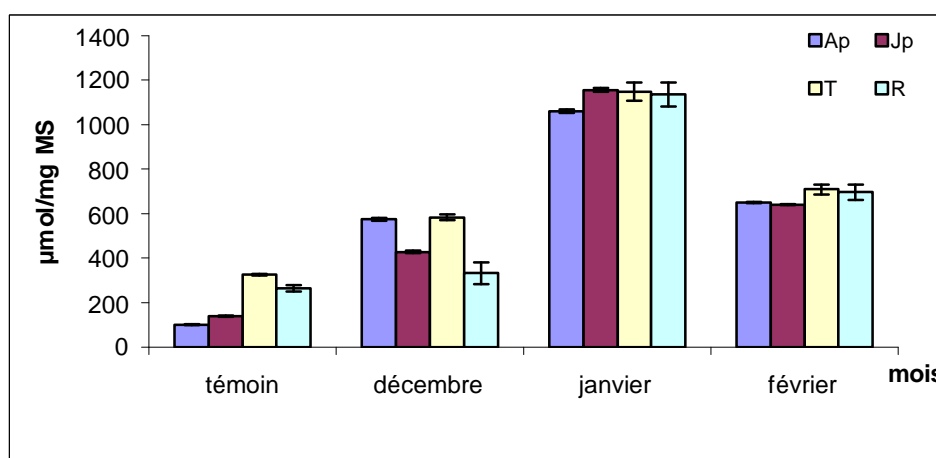
**Tableau 41.** Taux de variation mensuel (par rapport au témoin) de des sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon.

|               | décembre | janvier | février | mars    | avril   | mai     | juin    | Juillet | août    | septembre | octobre | novembre |
|---------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|----------|
| <b>Ap</b>     | 469,482  | 951,641 | 544,600 | 627,229 | 192,488 | 171,830 | 607,510 | 800,000 | 709,857 | 317,840   | 206,103 | 415,961  |
| <b>Np</b>     | 207,871  | 733,132 | 361,695 | 493,502 | -0,886  | 230,516 | 204,419 | 680,904 | 386,277 | 103,857   | 159,518 | 297,211  |
| <b>Tige</b>   | 79,308   | 253,125 | 117,967 | 159,716 | -59,546 | 6,679   | 49,002  | 242,007 | 42,905  | 60,387    | 41,781  | 0,461    |
| <b>Racine</b> | 26,561   | 331,937 | 165,304 | 140,813 | -72,395 | 9,737   | 1,634   | 147,351 | 46,594  | 58,031    | 45,861  | 15,442   |

##### 4.2.3.1 La saison hivernale

Durant la saison hivernale, l'accumulation des sucres est différente au niveau des organes et en fonction des mois. De ce fait les teneurs les plus élevées sont enregistrées au mois de janvier au niveau de tous les organes (avec des taux d'augmentation allant de 253.125% à 951.641%) et les teneurs les plus faibles sont enregistrés en décembre en accusant des augmentations variant entre 79.308% au niveau des tiges et 469.482% au niveau des anciennes pousses. L'analyse de la variance à deux critères de classification signale des

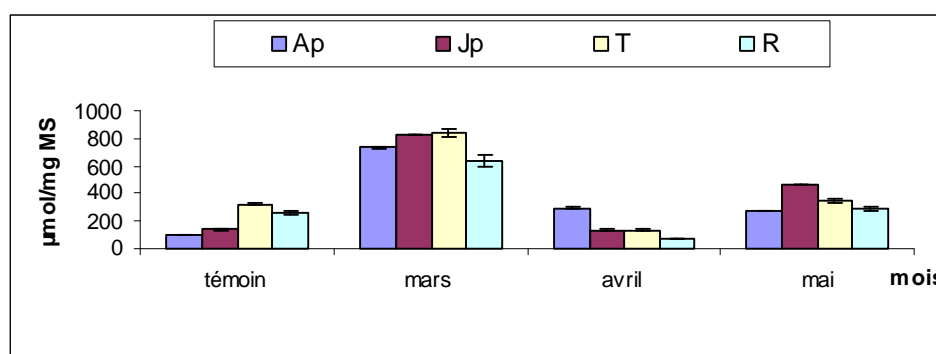
différences très hautement significatives en fonction des organes ( $p < 0.001$ ) et des mois ( $p < 0.001$ ) (annexe03 ; tableau04).



**Figure 50.** La variation inter mensuelle des teneurs en sucre soluble dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison hivernale

#### 4.2.3.2 La saison printanière

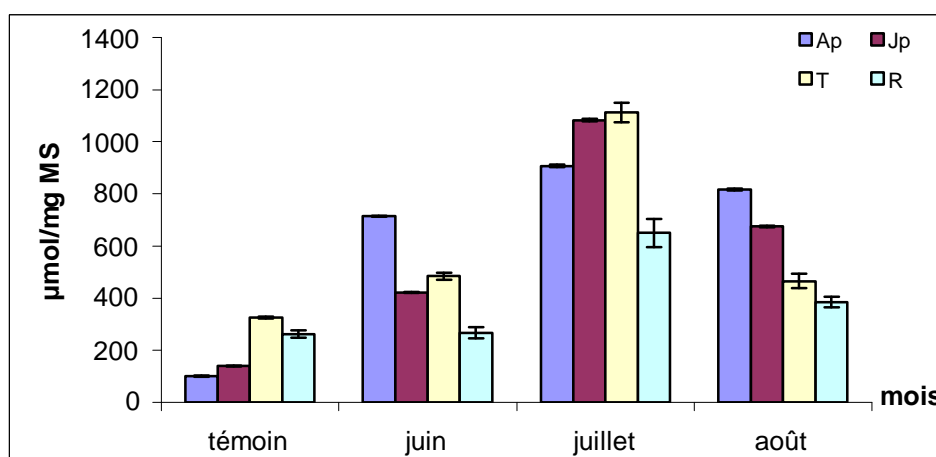
Pour la saison printanière, les résultats illustrés par la figure 51 montrent des variations importantes dans l'accumulation des sucres solubles au niveau des différents organes et en fonction des saisons. Le mois de mars enregistre les teneurs les plus élevées par rapport au mois d'avril et de mai avec des taux d'augmentation allant de 140.813% au niveau des racines à 627.229% au niveau des anciennes pousses comparativement au témoin (Tableau 41). L'analyse de la variance à deux critères de classification signale des différences très hautement significatives au niveau des organes et des mois ( $p < 0.001$ ) (annexe03 ; tableau04).



**Figure 51.** Variation inter mensuelle des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison printanière

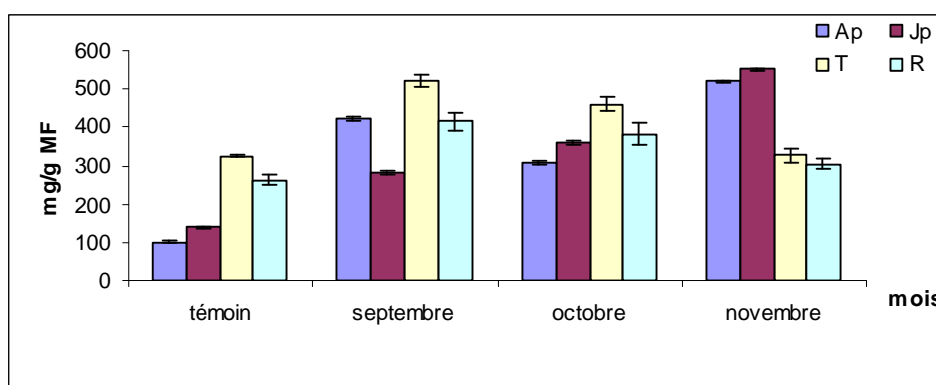
### 4.2.3.3 La saison estivale

Les résultats concernant les teneurs en sucres solubles au niveau des différents organes des semis de pin pignon durant la saison estivale illustrées par la figure 52 sont très importantes en fonction des mois et des organes. Les valeurs les plus élevées sont observées au mois de juillet avec des taux d'augmentation très élevées allant de 147.351% au niveau des racines à 800.00% au niveau des anciennes pousses et les valeurs les plus faibles sont enregistrées au début de la période estivale (juin) avec un ordre d'agrandissement allant de 1.63% au niveau des racines à 607.510% pour les anciennes pousses (Tableau 41). L'analyse de la variance à deux critères de classification signale des différences très hautement significatives en fonction des mois ( $p < 0.001$ ) et des organes ( $p < 0.001$ ) (annexe 03; tableau 04).



**Figure 52.** Variation inter mensuelle des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison estivale

### 4.2.3.4 La saison automnale



**Figure 53.** Variation inter mensuelle des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison automnale



Les teneurs en sucres solubles chez les semis de pin pignon pendant la période automnale représentées dans la figure 53 montrent que celles-ci sont très variables selon les mois et en fonction des organes. Les valeurs les plus élevées sont affichées au mois de novembre avec des taux d'augmentation allant de 415.961% au niveau des anciennes pousses à 297.211% au niveau des nouvelles pousses. Le mois d'octobre enregistre les teneurs les plus faibles signalant des agrandissements entre 41.78% au niveau des tiges à 206.103% signalée au niveau des anciennes pousses par rapport au témoin (Tableau 41). L'analyse de la variance à deux critères de classification montre une différence très hautement significative en fonction des organes ( $p < 0.001$ ) et des mois ( $p < 0.001$ ).

#### 4.2.4. Variation mensuelle globale des teneurs en sucres solubles entre les organes

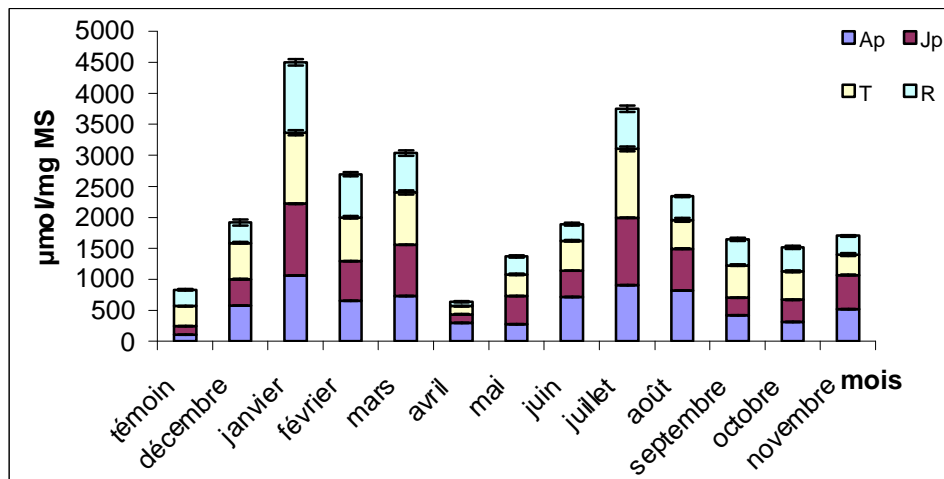


Figure 54. Variation mensuelle de taux des sucres solubles en fonction des organes.

La répartition mensuelle des sucres en fonction des organes et en fonction des mois est illustrée par la figure 54. En fonction des organes, la répartition moyenne des sucres se fait en moyenne dans l'ordre suivant :

$$[T] > [Ap] > [Np] > [R]$$

En fonction des mois, la répartition quantitative des sucres se fait dans l'ordre décroissant suivant :

$$[Janvier] > [Juillet] > [mars] > [février] > [août] > [Décembre] > [juin] [novembre] > [septembre] > [octobre] > [mai] > [avril].$$

L'analyse des résultats montre que le mois le plus accumulant des sucres est le mois de janvier avec un ordre de grandeur de 5.5 fois plus que le témoin alors que le mois de d'avril enregistre les teneurs mensuelles les plus faibles.

### 4.3. Conséquences des fluctuations thermiques sur les teneurs en protéines totales

**Tableau 42.** Paramètres statistiques des teneurs en protéines totales pour les 12 mois.

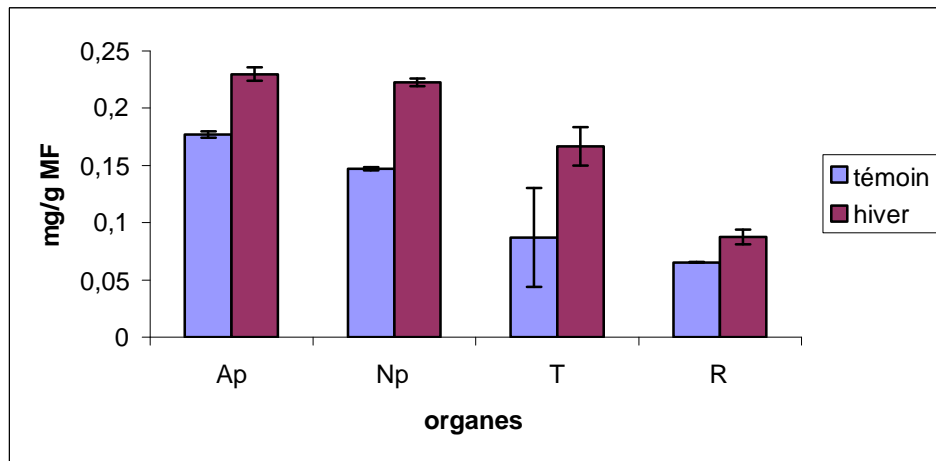
| Variable  | Nombre | Moyenne | Ecartype | Minimum | Maximum |
|-----------|--------|---------|----------|---------|---------|
| témoin    | 8      | 0,1191  | 0,048    | 0,0651  | 0,179   |
| décembre  | 8      | 0,1103  | 0,0455   | 0,051   | 0,17    |
| janvier   | 8      | 0,3131  | 0,1137   | 0,121   | 0,41    |
| février   | 8      | 0,1065  | 0,04     | 0,061   | 0,159   |
| mars      | 8      | 0,3813  | 0,0945   | 0,278   | 0,521   |
| avril     | 8      | 0,1661  | 0,0617   | 0,08    | 0,272   |
| mai       | 8      | 0,257   | 0,0705   | 0,146   | 0,341   |
| juin      | 8      | 0,2441  | 0,1218   | 0,042   | 0,367   |
| juillet   | 8      | 0,553   | 0,1637   | 0,366   | 0,742   |
| août      | 8      | 0,4191  | 0,1122   | 0,253   | 0,587   |
| septembre | 8      | 0,0978  | 0,0297   | 0,05    | 0,134   |
| octobre   | 8      | 0,0996  | 0,0497   | 0,027   | 0,168   |
| novembre  | 8      | 0,1273  | 0,0378   | 0,0756  | 0,187   |

#### 4.3.2. Conséquences des fluctuations thermiques de chaque saison sur les teneurs en protéines totales

**Tableau 43.** Taux de variation saisonnier (par rapport au témoin) des teneurs en protéines totales dans les différents organes des semis de pin pignon.

|    | témoin | hiver   | printemps | automne | été      |
|----|--------|---------|-----------|---------|----------|
| Ap | /      | 29,7552 | 74,0113   | 209,981 | -14,6893 |
| Np | /      | 51,4739 | 67,1202   | 239,683 | -12,585  |
| T  | /      | 91,1596 | 222,426   | 267,585 | 41,5997  |
| R  | /      | 34,1495 | 264,193   | 413,134 | 61,6934  |

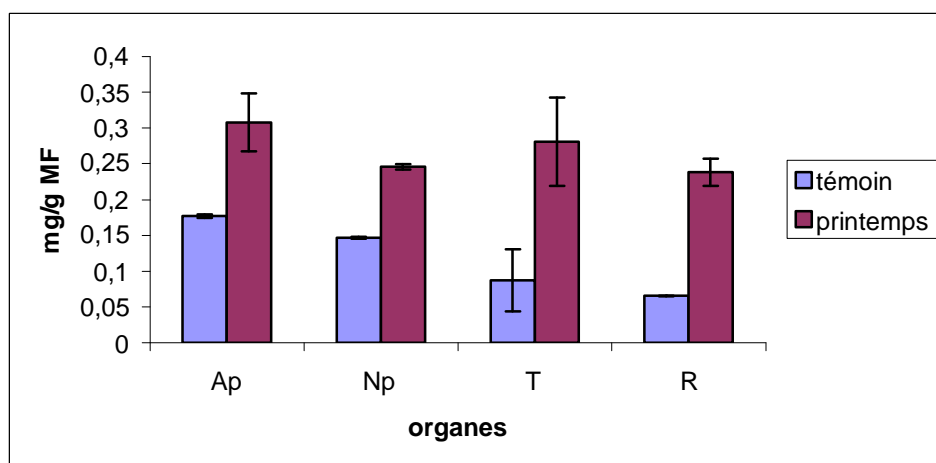
#### 4.3.1.1 La saison hivernale



**Figure 55.** Variation saisonnière des teneurs en protéine totale dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison hivernale

Durant la saison hivernale, l'analyse de la variance à un critère de classification signale un effet non significatif en fonction des organes ( $p=0.150$ ) (annexe 03, tableau 05). Les taux les plus élevés sont ceux enregistrés au niveau des anciennes pousses ( $0.229\pm 0.0057$  mg/g MS) correspondant à une augmentation de 29.75% par rapport au témoin. Alors que les faibles teneurs sont enregistrées au niveau des racines ( $0.087\pm 0.0065$  mg/g MS) ce qui correspond à une augmentation de 34.14% .

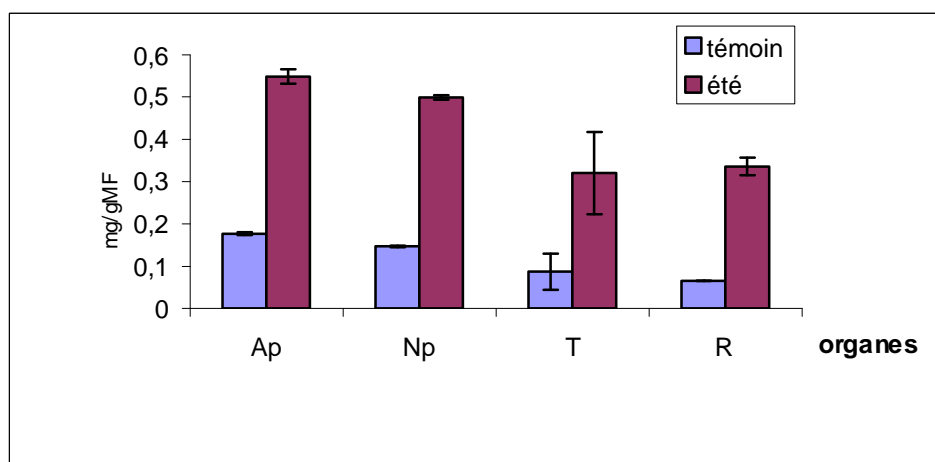
#### 4.3.1.2 La saison printanière



**Figure 56.** Variation saisonnière des teneurs en protéines totales dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison printanière

Les teneurs en protéines durant la saison printanière sont illustrées dans la figure 56. Les anciennes pousses affichent la plus grande valeur  $0.308 \pm 0.040$  mg/g MS représentant un taux d'augmentation de l'ordre de 74.011% par rapport au témoin (tableau 47), tandis qu'au niveau des racines nous avons la valeur la plus faible qui est de  $0.238 \pm 0.018$  mg/g MS. En effet, les résultats de l'analyse de la variance (annexe 03 ; tableau 05) montre qu'il n'existe pas de différence significative ( $p = 0.731$ ) entre les organes.

#### 4.3.1.3 La saison estivale



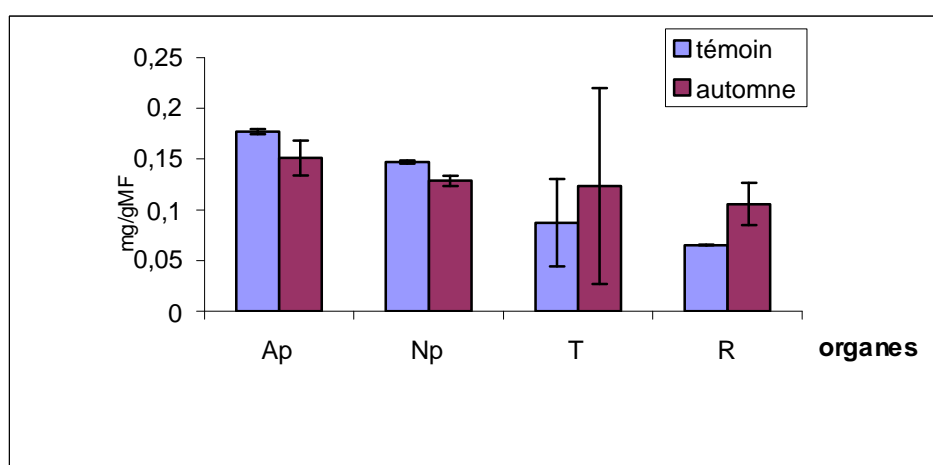
**Figure 51.** Variation saisonnière des teneurs en protéines totales dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison estivale

L'effet des températures estivales sur l'accumulation des protéines dans les semis de pin pignon est illustré dans la figure 57 où les teneurs semblent très variables entre les différents organes. Les plus fortes valeurs des protéines sont enregistrées au niveau des pousses adultes  $0.5486 \pm 0.016$  mg/g MS avec un taux de grandeur de 209.981% par rapport au témoin. Alors que les plus faibles teneurs sont enregistrées au niveau des tiges  $0.320 \pm 0.096$  mg/g MS mais toujours supérieures au témoin (267.638%) (Tableau 43). Ces qui est confirmé par l'analyse de la variance à un critère qui met en évidence des différences hautement significatives entre les organes  $p = 0.01$  (annexe 03, tableau 05). Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% fait ressortir deux groupes homogènes (A) et (B). Le groupe (A) est représenté par les fortes moyennes signalées au niveau des anciennes pousses et jeunes, et le groupe (B) qui reflète les moyennes les plus faibles au niveau des tiges et des racines (tableau, 44).

**Tableau 44.** Tableau des groupes des organes homogènes, de la teneur en protéines pour la saison estivale, obtenus par le test de Newman et Keuls

| Organes           | Moyenne (mg/g MS) | Groupes |
|-------------------|-------------------|---------|
| Anciennes pousses | 0,549             | A       |
| Nouvelles pousses | 0,490             | A       |
| Tiges             | 0,299             | B       |
| Racines           | 0,285             | B       |

#### 4.3.1.4 La saison automnale



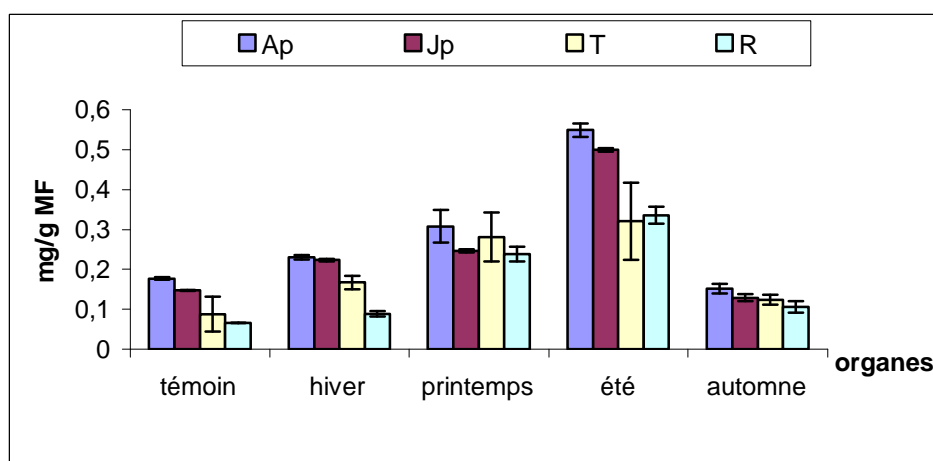
**Figure 58.** Variation saisonnière des teneurs en protéine totale dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison automnale

La comparaison de l'effet des températures automnales sur la teneur en protéines au niveau des différents organes des semis de pin pignon est illustrée dans la figure 58. Elle indique que la teneur la plus élevée est obtenue au niveau des anciennes pousses  $0.151 \pm 0.0116$  mg/g MS en accusant une diminution de 1468% par rapport au témoin, alors que la plus faible teneur est enregistrée au niveau des racines mais avec une augmentation de 61.693% . L'analyse de la variance à un critère montre une différence très hautement significative ( $p < 0.001$ ) (annexe 03, tableau 05). Le test de Newman et Keuls fait ressortir 02 groupes homogènes (A) et (B) dont les moyennes sont représentés par ordre décroissant : (A) au niveau des anciennes et des jeunes pousses et (B) au niveau des tiges et racines. (Tableau 45).

**Tableau 45.** Tableau des groupes des organes homogènes, de la teneur en protéine pour la saison automnale, obtenus par le test de Newman et Keuls

| Organes           | Moyenne | Groupes |
|-------------------|---------|---------|
| Nouvelles pousses | 0,151   | A       |
| Anciennes pousses | 0,123   | A       |
| Tiges             | 0,081   | B       |
| Racines           | 0,078   | B       |

#### 4.3.2 Conséquences des fluctuations thermiques inter saisonnière sur les teneurs en protéines totales



**Figure 59.** Variation inter saisonnière des teneurs en protéine totale dans les différents organes des semis de pin pignon

Les résultats de la teneur en protéines chez les semis de pin pignon illustrés dans la figure 59 montrent que les fortes températures de la saison estivale ont induit une forte accumulation de la protéine au niveau des différents organes. En effet, les variations thermiques printanières provoquent aussi une augmentation de la teneur en protéines, l'accumulation de cet acide aminé est en moyenne faible durant la saison hivernale et automnale.

Au niveau des organes, les fortes teneurs sont enregistrées au niveau des anciennes et des nouvelles pousses et les faibles teneurs sont affichées au niveau des racines. Les tiges enregistrent des teneurs plus faibles que les racines durant la saison printanière.

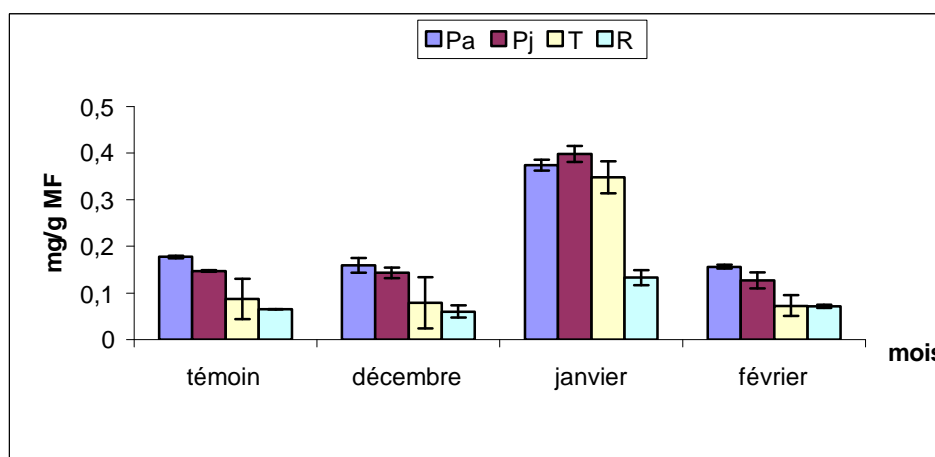
L'analyse de la variance à deux critères de classification indique qu'il existe une relation très hautement significative ( $p < 0.001$ ) entre les organes et les saisons ( $p < 0.001$ ) pour l'accumulation des protéines (annexe 03, tableau06)

### 4.3.3 Effet des variations thermiques saisonnières sur les teneurs en protéines totales

**Tableau 46.** Taux de variation mensuel (par rapport au témoin) des teneurs en protéines dans les différents organes des semis de pin pignon

|           | Déc.    | Jan     | Fév.    | Mars    | Avril  | Mai     | Juin    | Juil    | Août    | Sept    | Oct    | Nov    |
|-----------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| <b>Ap</b> | -10,169 | 111,299 | -11,864 | 127,119 | 17,514 | 77,401  | 101,412 | 314,124 | 214,407 | -28,249 | -9,322 | -6,497 |
| <b>Np</b> | -2,721  | 170,748 | -13,605 | 96,599  | 34,014 | 70,748  | 130,952 | 357,823 | 230,272 | -30,952 | -3,061 | -3,741 |
| <b>T</b>  | -9,300  | 299,541 | -16,762 | 490,700 | 94,030 | 82,549  | 50,402  | 328,817 | 423,536 | 12,514  | 41,791 | 70,494 |
| <b>R</b>  | -8,187  | 102,754 | 7,881   | 388,906 | 38,485 | 365,187 | 128,768 | 561,821 | 548,814 | 36,190  | 56,848 | 92,043 |

#### 4.3.3.1 La saison hivernale

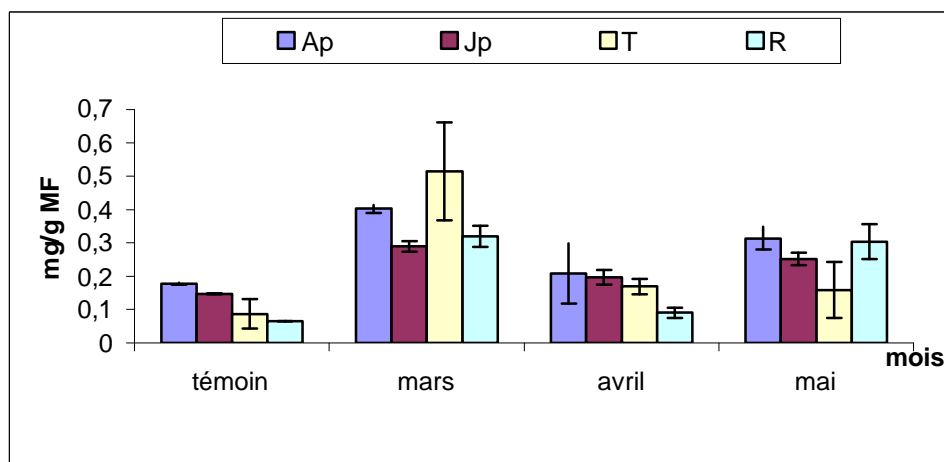


**Figure60.** Variation inter mensuelle des teneurs en protéine totale dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison hivernale

Durant la saison hivernale, les teneurs en protéines sont supérieures à celle du témoin au mois de janvier mais négative durant le mois de décembre et février (figure 60). En fonction des mois, les teneurs les plus élevées sont enregistrées au mois de janvier. Mais en fonction des organes ce sont les tiges qui signalent la teneur la plus élevée  $0.348 \pm 0.034$  mg/g MS en janvier correspond à un taux d'augmentation 299.541 % par rapport au témoin, alors que les teneurs les plus faibles sont enregistrées au niveau des racines au mois de décembre en accusant une diminution de 8.186% (tableau 46). L'analyse de la variance à deux critères de classification indique une différence très hautement significatives entre les mois ( $p < 0.001$ ) et les différents organes traités ( $p < 0.001$ ) (annexe 03 ; tableau06).



### 4.3.3.2 La saison printanière



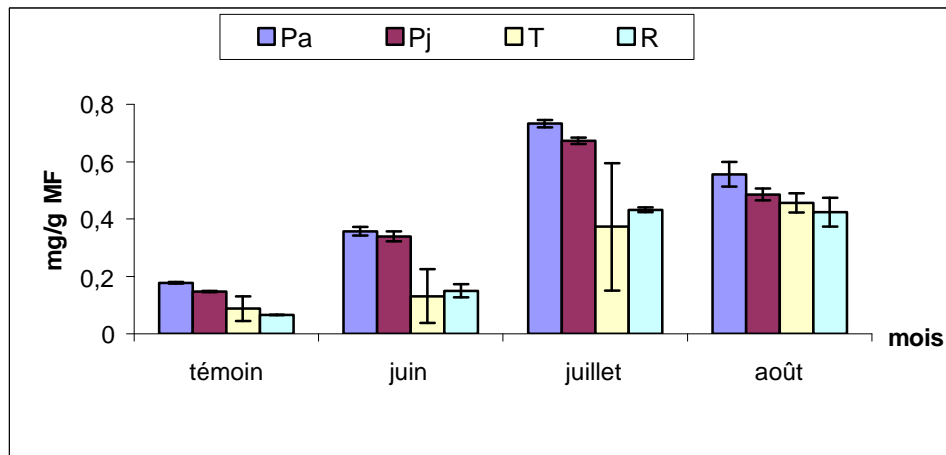
**Figure 61.** Variation inter mensuelle des teneurs en protéines totales dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison printanière

Les résultats des teneurs mensuelles en protéine enregistrés durant la saison printanière dans les organes des semis de pin pignon sont illustrés dans la figure 61. Le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification montre une différence très hautement significative entre les mois ( $p < 0.001$ ) et significative en fonction des organes ( $p = 0.020$ ), (annexe 03, tableau06).

De ce fait les teneurs les plus élevées sont affichées au mois de mars par rapport au mois d'avril et de mai.

En fonction des organes, les tiges présentent la teneur la plus élevée au mois de mars ( $0.514 \pm 0.147$  mg/g MS) en accusant une augmentation de l'ordre de 490.7%, alors que les plus faibles sont enregistrées au niveau des racines au mois d'avril  $0.0905 \pm 0.014$  mg/g MS.

#### 4.3.3.3 La saison estivale

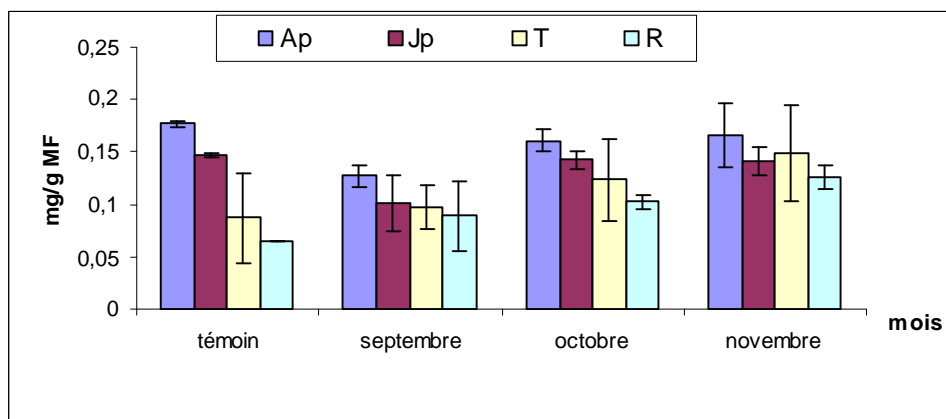


**Figure 62.** Variation inter mensuelle des teneurs en protéines totales dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison estivale

La variation saisonnière de la teneur en protéines durant la saison estivale est illustrée dans la figure 62. L'analyse de la variance à deux critères de classification signale des différences très hautement significatives en fonction des mois ( $p < 0.001$ ) et des organes ( $p < 0.001$ ) (annexe 03, tableau 06).

De ce fait les teneurs les plus élevées sont enregistrées durant le mois de juillet au niveau de tous les organes ; les anciennes pousses présentent les teneurs les plus élevés ( $0.733 \pm 0.012$  mg/g MS). Les teneurs les plus faibles sont enregistrées au niveau des tiges en juin en accusant une augmentation de 50.401% par rapport au témoin.

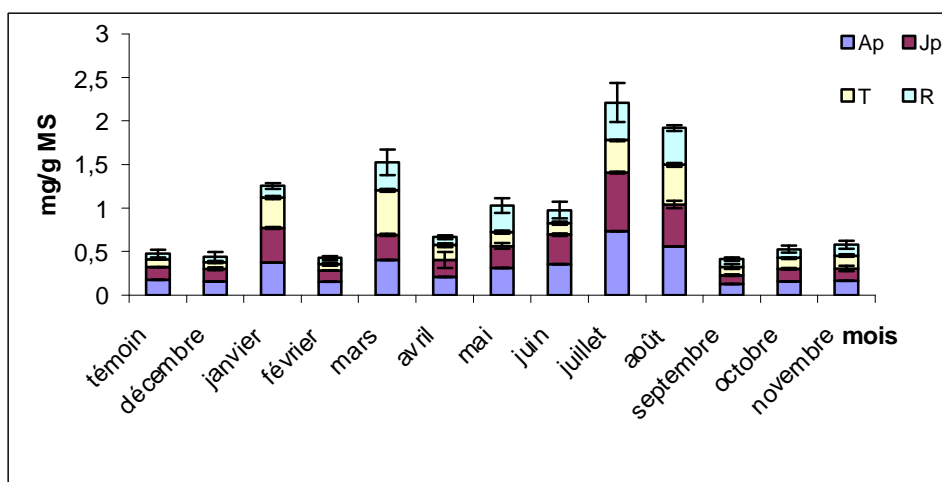
#### 4.3.3.4 La saison automnale



**Figure 63.** Variation inter mensuelle des teneurs en protéines totales dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison automnale

Les résultats illustrés par la figure 63 montrent que l'accumulation des protéines est faible durant la saison automnale, elle est inférieure à celle du témoin durant les 03 mois au niveau des anciennes et des nouvelles pousses. En fonction des organes, la variation protéique est importante durant la saison printanière. La teneur la plus élevée est toujours affichée au niveau des anciennes pousses en accusant une diminution de 6.49% au mois de novembre et 28.248% en septembre par rapport au témoin et la plus faible au niveau des racines avec une augmentation de 36.18% en septembre et 92.042% au mois de novembre. Le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification signale une différence très hautement significative ( $p < 0.001$ ) (annexe 03, tableau 06) entre les organes et les mois de la saison pour ce paramètre physiologique relatif aux variations thermiques de la saison automnale.

#### 4.3.4 Variation mensuelle globale des teneurs en protéines entre les organes



**Figure 64.** Variation mensuelle de taux des protéines en fonction des organes des semis de pin pignon en condition naturelle.

La répartition mensuelle des teneurs en protéines dans les différents organes des semis de pin pignon est illustrée par la figure 64. On voit que les teneurs en protéines dans les anciennes pousses sont supérieures à celles des nouvelles pousses et des tiges et racines. En moyenne, les teneurs en protéines décroissent dans l'ordre suivant :

$$[Ap] > [Np] > [T] > [R]$$

En fonction des mois, la répartition quantitative se fait selon l'ordre décroissant suivant :

$$[Juillet] > [Août] > [mars] > [Janvier] > [mai] > [juin] > [avril] > [novembre] > [octobre] > [décembre] > [Février] > [septembre].$$

## 4.2. Conséquences des fluctuations thermiques sur les teneurs en ADN & ARN

**Tableau 47.** Paramètres statistiques des teneurs en ADN et ARN pour les 12 mois

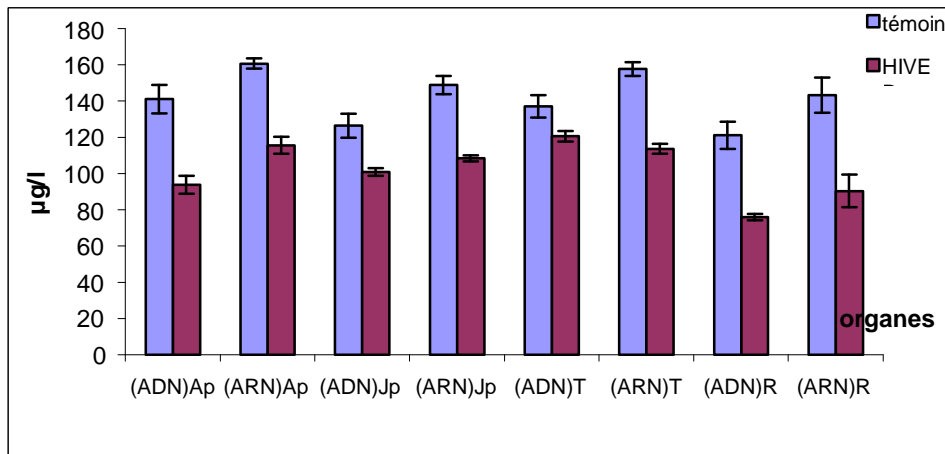
|            | Variable  | N      | Moyenne | TR     | Minimum | Maximum |
|------------|-----------|--------|---------|--------|---------|---------|
| <b>ADN</b> | témoin    | 8      | 131,38  | 10,11  | 115,76  | 146,65  |
|            | décembre  | 8      | 89,37   | 20,22  | 55,67   | 118,50  |
|            | janvier   | 8      | 111,83  | 21,56  | 79,06   | 145,57  |
|            | février   | 8      | 92,27   | 16,05  | 73,67   | 120,00  |
|            | mars      | 8      | 108,50  | 24,12  | 76,45   | 139,50  |
|            | avril     | 8      | 79,46   | 9,33   | 62,67   | 92,00   |
|            | mai       | 8      | 88,23   | 16,59  | 69,26   | 118,58  |
|            | juin      | 8      | 112,01  | 14,51  | 92,00   | 136,42  |
|            | juillet   | 8      | 81,65   | 12,89  | 64,33   | 100,25  |
|            | août      | 8      | 79,21   | 15,44  | 52,75   | 99,00   |
|            | septembre | 8      | 96,79   | 10,40  | 79,83   | 113,79  |
|            | octobre   | 8      | 89,51   | 21,20  | 53,00   | 120,17  |
|            | novembre  | 8      | 129,18  | 6,28   | 120,17  | 140,67  |
| <b>ARN</b> | témoin    | 8      | 152,59  | 8,71   | 136,35  | 162,81  |
|            | décembre  | 8      | 101,40  | 14,28  | 74,33   | 117,67  |
|            | janvier   | 8      | 110,20  | 20,71  | 76,83   | 141,83  |
|            | février   | 8      | 109,42  | 19,78  | 82,35   | 135,67  |
|            | mars      | 8      | 125,08  | 20,57  | 93,06   | 147,16  |
|            | avril     | 8      | 89,12   | 11,07  | 76,75   | 104,58  |
|            | mai       | 8      | 98,60   | 14,82  | 78,83   | 127,50  |
|            | juin      | 8      | 139,55  | 9,01   | 128,67  | 157,17  |
|            | juillet   | 8      | 94,10   | 13,89  | 73,67   | 114,10  |
|            | août      | 8      | 88,91   | 12,27  | 69,17   | 106,58  |
|            | septembre | 8      | 101,86  | 15,33  | 79,83   | 125,67  |
|            | octobre   | 8      | 94,33   | 17,19  | 66,75   | 118,17  |
| novembre   | 8         | 142,18 | 12,89   | 122,00 | 164,42  |         |

#### 4.4.1. Conséquences des fluctuations thermiques de chaque saison sur les teneurs en ADN et ARN

**Tableau 48.** Taux de variation saisonnier (par rapport au témoin) des teneurs en ADN et ARN dans les différents organes des semis de pin pignon (%).

|         | hiver    | printemps | automne  | été      |
|---------|----------|-----------|----------|----------|
| Ap      | -28,1074 | -33,42    | -32,2464 | -28,8332 |
| Np      | -27,1486 | -21,8221  | -28,2073 | -25,417  |
| Tiges   | -27,9046 | -31,872   | -27,8333 | -24,6532 |
| Racines | -36,8502 | -39,7035  | -29,7552 | -25,254  |

##### 4.4.1.1. La saison hivernale



**Figure 56.** Variation saisonnière des teneurs ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison hivernale

##### a. ADN

La figure 56 montre que la plus forte teneur en ADN des semis de pin pignon durant la saison hivernale est enregistrée au niveau des anciennes pousses avec une valeur de  $93.747 \pm 4.99 \mu\text{g/l}$  et qui accuse une diminution de 33.55% comparativement au témoin, la valeur la plus faible est enregistrée au niveau des racines avec  $75.96 \pm 1.79 \mu\text{g/l}$  en accusant une réduction de l'ordre de 37.24 (tableau 48). Le test de l'analyse de la variance (annexe 03; tableau 07) est très hautement significatif entre les organes ( $p < 0.001$ ). Le test De Newman Et Keuls donne 2 groupes homogènes dans lesquels les tiges occupent la première classe avec les fortes moyennes, et les racines dans le deuxième groupe. On remarque

qu'il y a un chevauchement des groupes pour les anciennes et les jeunes pousses qui appartiennent en même temps au un seul groupe intermédiaire (tableau 49).

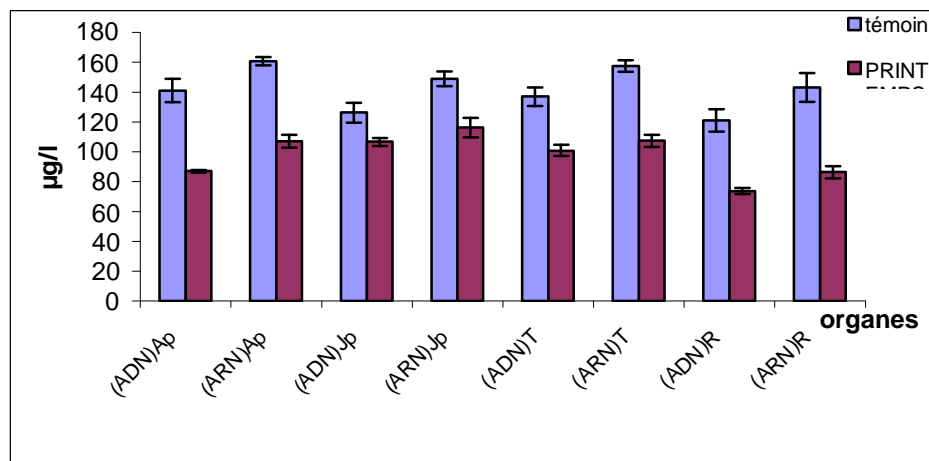
**Tableau 49.** Tableau des groupes des organes homogènes, de la teneur en ADN et ARN pour la saison hivernale, obtenus par le test de Newman et Keuls

| Organes           | Moyenne (µg/l) | groupes |
|-------------------|----------------|---------|
| Tiges             | 124,713        | A       |
| Jeunes pousses    | 107,317        | A-B     |
| anciennes pousses | 105,583        | A-B     |
| Les racines       | 87,239         | B       |

#### b. ARN

Les variations de la teneur en ARN durant la saison hivernale des semis de pin pignon sont illustrées par la figure 65. Les teneurs les plus élevées sont affichées au niveau des anciennes pousses et des tiges ( $115.556 \pm 4.63 \mu\text{g/l}$  et  $113.639 \pm 2.789 \mu\text{g/l}$ ) correspondant à des diminutions respectivement de 71.892% et de 72.09%. Les teneurs les plus faibles sont enregistrés au niveau des racines en accusant une augmentation de 63.419%. L'analyse de la variance à un critère de classification signale un effet non significatif en fonction des organes ( $p= 0. 053$ ) (annexe 03 ; tableau09).

#### 4.4.1. 2. La saison printanière



**Figure 66.** Variation saisonnière des teneurs ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison printanière

### a. ADN

La figure 66 montre les grandes variations mensuelles des teneurs de l'ADN au niveau des organes des semis de pin pignon durant la saison printanière. L'analyse de la variance à un critère de classification signale un effet significatif en fonction des organes ( $p= 0.019$ ) (annexe 03 ; tableau 07). De ce fait les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des nouvelles pousses avec des valeurs de  $106.711 \pm 2.64 \mu\text{g/l}$  correspondant à un ordre de diminution de 26.43% comparativement au témoin, alors que les teneurs les plus faibles sont enregistrées au niveau des racines. Le test de Newman et Keuls fait ressortir deux groupes homogènes le premier correspond aux nouvelles pousses et les tiges avec la plus forte moyenne (106.711) et le deuxième groupe correspond aux racines avec la plus faible moyenne ( $73.692 \mu\text{g/l}$ ) (tableau, 50).

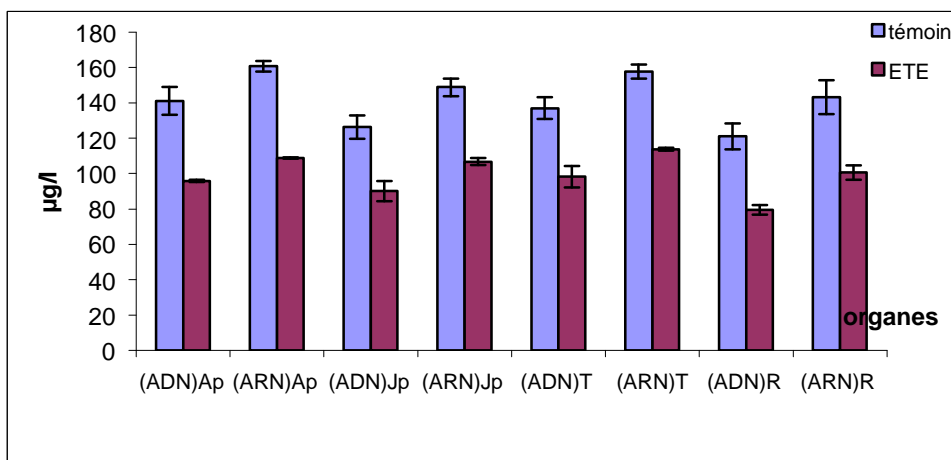
**Tableau 50.** Tableau des groupes des organes homogènes, de la teneur en ADN pour la saison printanière, obtenus par le test de Newman et Keuls

| <b>Organes</b>               | <b>Moyenne (<math>\mu\text{g/l}</math>)</b> | <b>Groupes</b> |
|------------------------------|---|----------------|
| <b>Nouvelles pousses</b>     | <b>106,711</b>                              | <b>A</b>       |
| <b>Les tiges</b>             | <b>100,806</b>                              | <b>A</b>       |
| <b>Les anciennes pousses</b> | <b>87,042</b>                               | <b>A-B</b>     |
| <b>Les racines</b>           | <b>73,692</b>                               | <b>B</b>       |

### b. ARN

Durant la saison printanière, les teneurs de l'ARN sont inférieures par rapport au témoin. En fonction des organes, les teneurs les plus élevées sont signalées au niveau des tiges et des anciennes pousses dont les taux d'accroissement sont de l'ordre de 66.58% et 68.128% respectivement. Alors que les teneurs les plus faibles sont affichées au niveau des racines ( $86.32 \pm 4.063 \mu\text{g/l}$ ) (figure.66). L'analyse de la variance à un critère de classification indique un effet non significatif pour les organes ( $p=0.96$ ) (annexe03 ; tableau 09).

#### 4.4.1.3. La saison estivale



**Figure 61.** Variation saisonnière des teneurs ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison estivale

##### a. ADN

Les résultats des teneurs de l'ADN enregistrés durant la saison estivale dans les différents organes des semis de pin pignon sont illustrés par la figure 67. Le test de l'analyse de la variance à un critère de classification montre un effet non significatif entre les organes ( $p=0.414$ ) (annexe03 ; tableau7). De ce fait les teneurs les plus élevées sont affichées au niveau des tiges en accusant une diminution de 28.249% alors que les plus faibles sont enregistrées au niveau des racines avec un taux de diminution de 34.33% par rapport au témoin.

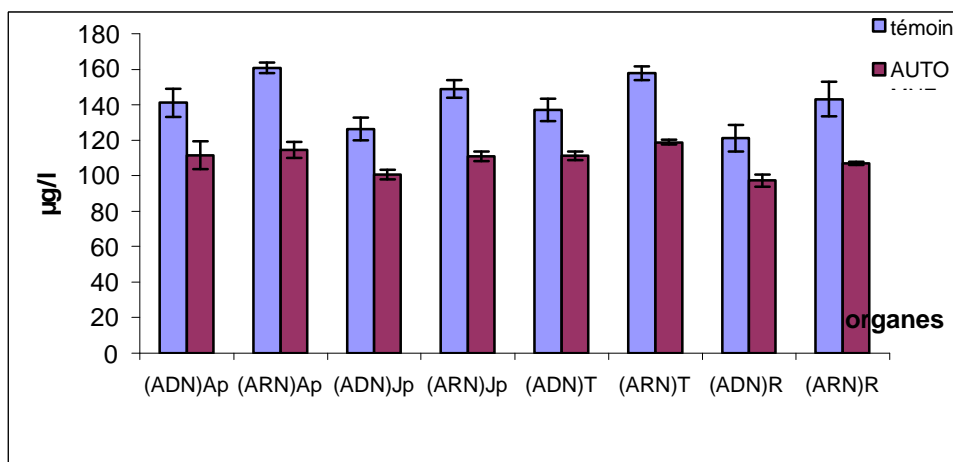
##### b. ARN

En fonction des organes, les tiges présentent les teneurs les plus élevées ( $113.751 \pm 0.878 \mu\text{g/l}$ ) en accusant une diminution de l'ordre de 95.90%, alors que les plus faibles sont enregistrées au niveau des racines en signalant des taux de diminution de 29.755% par rapport au témoin.

Le test de l'analyse de la variance à un critère appliqué aux organes montre des différences non significatives ( $p=0.867$ ) (annexe 03 ; tableau 09).



#### 4.4.1.4. La saison automnale



**Figure 68.** Variation saisonnière des teneurs ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison automnale

##### a. ADN

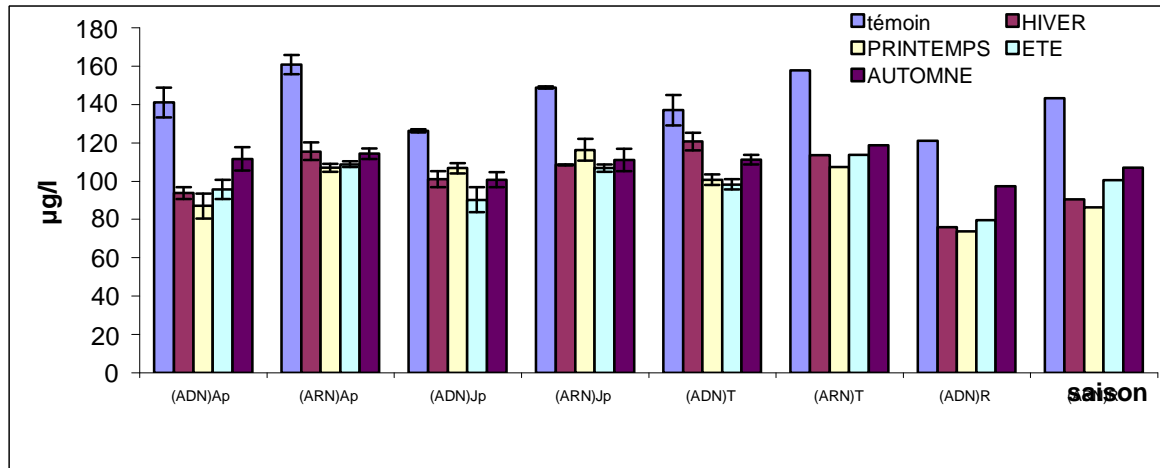
Les teneurs de l'ADN durant la saison automnale en fonction des organes sont illustrées par la figure 68, les nouvelles pousses affichent la plus grande valeur  $11.486 \pm 7.93 \mu\text{g/l}$  et représentant un taux de diminution de l'ordre de 20.98% par rapport au témoin.

En effet, les résultats de l'analyse de la variance (annexe03, tableau 7) montrent qu'il n'existe pas de différence significative entre les organes ( $p= 0.613$ ).

##### b. ARN

La comparaison de l'effet des températures automnales sur la teneur en ADN au niveau des différents organes des semis de pin pignon est illustrée par la figure 68. Elle indique que la teneur la plus élevée est obtenue au niveau des tiges  $118.764 \pm 1.389 \mu\text{g/l}$  en accusant une diminution de 24.653% par rapport au témoin, alors que la plus faible teneur est enregistrée au niveau des racines avec une diminution de 25.254%. L'analyse de la variance à un critère montre un effet non significatif en fonction des organes ( $p=0.896$ ) (annexe 03, tableau 09).

#### 4.4.2. Conséquences des fluctuations thermiques inter saisonnière sur les teneurs en ADN et ARN



**Figure 69.** Variation inter saisonnière des teneurs ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon

##### a. ADN

Au niveau des organes, les fortes teneurs sont enregistrées au niveau des tiges durant la saison hivernale ( $120.608 \pm 2.07 \mu\text{g/l}$ ) en accusant une diminution de 20.07% et les faibles teneurs sont affichées au niveau des racines durant la saison printanière (figure 69). L'analyse de la variance à deux critères (annexe03, tableau 08) permet de mettre en évidence un effet très hautement significatif en fonction des organes ( $p < 0.001$ ) et significatif en fonction des saisons ( $p = 0.046$ ) (annexe 03, tableau 8).

##### b. ARN

La teneur en ARN diffère d'une saison à une autre et d'un organe à un autre (figure 69). En fonction des organes, la valeur la plus élevée est affichée en automne au niveau des tiges ( $118.764 \pm 1.389 \mu\text{g/l}$ ) accusant une diminution de l'ordre de 24.653% par rapport au témoin et la plus faible est de  $86.32 \pm 4.063 \mu\text{g/l}$  au niveau des racines durant la saison printanière. L'analyse de la variance à deux critères de classification indique qu'il existe une relation significative entre les organes ( $p = 0.044$ ) et non significative en fonction des saisons ( $p = 0.639$ ) (annexe 03, tableau 10)

#### 4.4.3. Conséquences des fluctuations thermiques inter mensuelles de chaque saison sur les teneurs en ADN et ARN

Tableau 51. Taux de variation mensuel (par rapport au témoin) des teneurs en ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon

|         | Déc.   | Janv.  | Fév.   | Mars   | Avril  | Mai    | Juin   | Juil   | Août   | Sept   | Oct.   | Nov.   |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| (ADN)Ap | -39,08 | -23,06 | -38,52 | -31,83 | -40,33 | -42,77 | -7,42  | -50,00 | -38,90 | -32,49 | -24,90 | -5,56  |
| (ADN)Np | -20,95 | -7,62  | -31,67 | -4,59  | -30,22 | -11,81 | -23,85 | -32,06 | -29,89 | -33,78 | -29,10 | 1,97   |
| (ADN)T  | -20,27 | 0,61   | -16,29 | 0,22   | -43,81 | -35,72 | -16,71 | -28,15 | -39,88 | -26,23 | -25,97 | -4,31  |
| (ADN)R  | -48,44 | -30,46 | -32,85 | -33,98 | -43,42 | -39,99 | -11,55 | -40,73 | -50,71 | -11,49 | -49,56 | 2,02   |
| (ARN)Ap | -29,54 | -28,25 | -26,53 | -25,62 | -35,04 | -39,60 | -16,17 | -35,92 | -44,65 | -38,56 | -36,41 | -11,53 |
| (ARN)Np | -30,90 | -10,55 | -40,00 | -6,79  | -38,04 | -20,63 | -8,73  | -43,00 | -32,89 | -43,78 | -38,13 | 5,66   |
| (ARN)T  | -32,12 | -32,70 | -18,90 | -8,09  | -47,45 | -40,07 | -10,78 | -31,95 | -40,76 | -33,97 | -29,98 | -10,02 |
| (ARN)R  | -42,38 | -39,76 | -28,42 | -32,12 | -46,19 | -40,80 | 2,68   | -43,22 | -48,72 | -15,51 | -49,24 | -11,00 |

##### 4.4.3.1. La saison hivernale

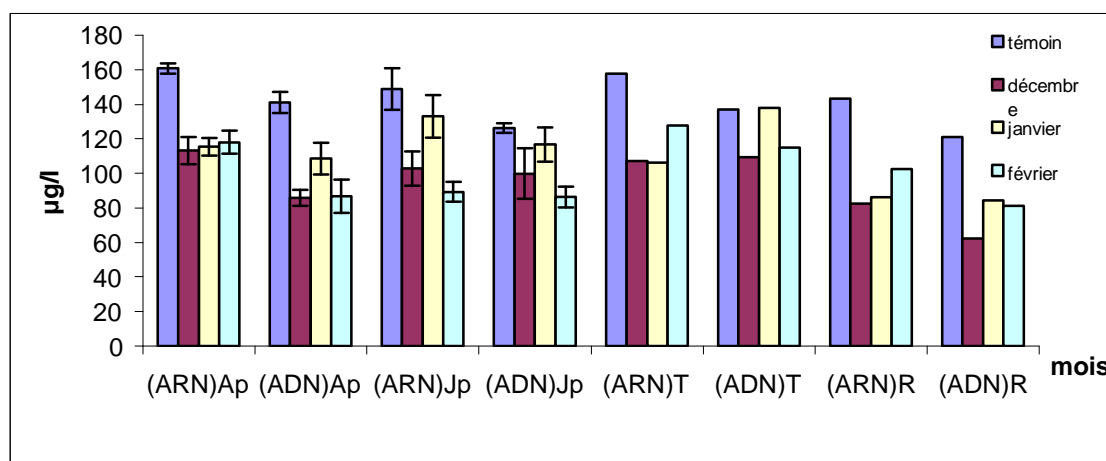


Figure 70. Variation inter mensuelle des teneurs en ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison hivernale

##### a. ADN

Le froid hivernal a provoqué une diminution de l'ADN au niveau des organes des semis de pin pignon (figure 70). Les teneurs les plus élevées sont enregistrées au mois de janvier qui accuse une augmentation au niveau des tiges 0.609% et la plus faible au niveau des racines avec une diminution de 30.45%. Alors que le mois de décembre enregistre les teneurs les plus faibles entre les mois avec des diminutions allant de 20.27% au niveau des tiges à 48.44% au niveau des racines (tableau 51). L'analyse de la variance à deux critères de

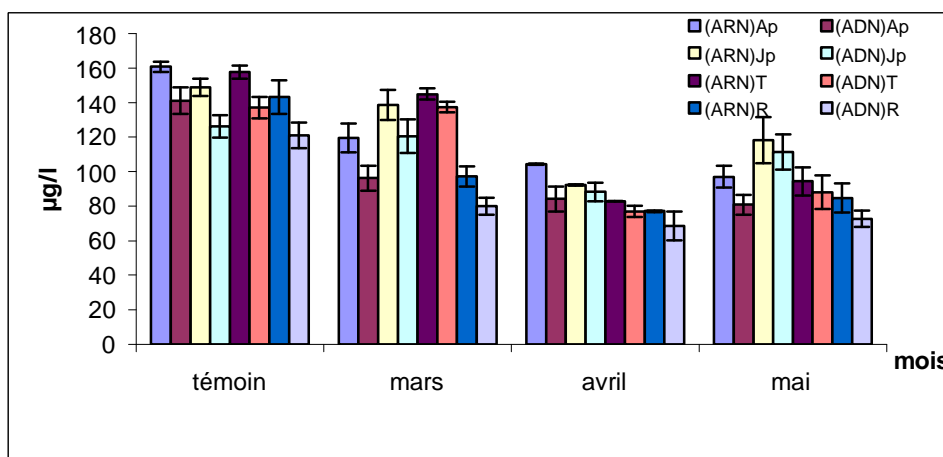
classification montre une différence très hautement significative aussi bien pour les mois ( $p < 0.001$ ) et pour les organes ( $p < 0.001$ ) (annexe 03; tableau 08).

### b. ARN

Les teneurs de l'ARN pour la saison hivernale représentées dans la figure ci-dessus montrent que celles-ci sont variables selon les organes et les mois et plus faibles par rapport au témoin. La valeur la plus élevée est enregistrée au niveau des nouvelles pousses durant le mois de janvier avec  $133.125 \pm 12.31 \mu\text{g/l}$  et un taux de diminution de 10.55% par rapport au témoin. Alors que la plus faible est enregistrée au niveau des racines une valeur de  $82.5 \pm \mu\text{g/l}$  correspondant à un taux de diminution de 42.3762% par rapport au témoin (figure 70 ; tableau 51).

L'analyse de la variance a montré une différence significative en fonction des organes ( $p = 0.024$ ) et non significative en fonction des mois ( $p = 0.367$ ) (annexe 03 ; tableau 10).

#### 4.4.3.2. La saison printanière



**Figure 71.** Variation inter mensuelle des teneurs en ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison printanière

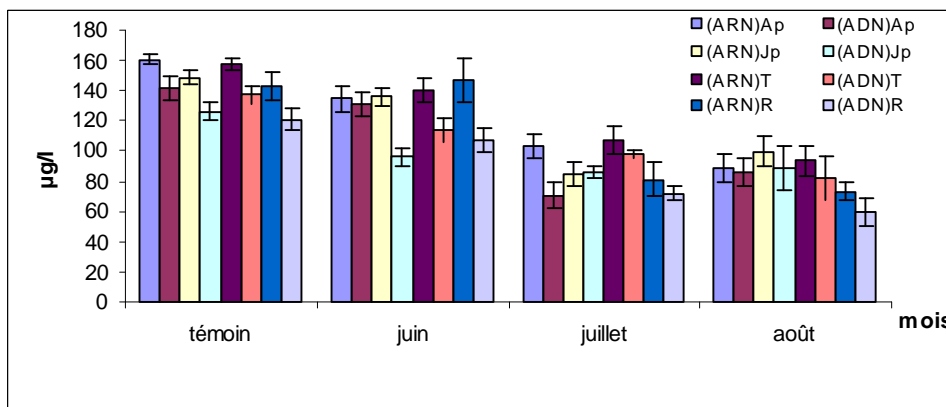
### a. ADN

Durant la saison printanière la teneur de l'ADN est très faible au niveau des organes par rapport au témoin. Selon la figure 71, le mois de mars enregistre les teneurs les plus élevées par rapport au mois d'avril et de mai avec une légère augmentation au niveau des tiges. La teneur la plus faible est signalée au niveau des racines au mois d'avril en accusant une diminution de 34.416% (tableau 51). L'analyse de la variance à deux critères de classification signale une différence très hautement significative en fonction des mois ( $p < 0.001$ ) et en fonction des organes ( $p < 0.001$ ) (annexe 03; tableau 8).

### b. ARN

Lors de notre expérimentation, les teneurs en ARN présentent des fluctuations au niveau des organes et entre les mois durant la période printanière. Le mois de mars affiche les teneurs les plus élevées avec une valeur de  $138.717 \pm 8.603 \mu\text{g/l}$  représentant un taux de diminution de l'ordre de 6.97% par rapport au témoin au niveau des nouvelles pousses, tandis qu'au mois d'avril nous avons la valeur la plus faible qui est de  $77.044 \pm 0.412 \mu\text{g/l}$  au niveau des racines. L'analyse de la variance à deux critères de classification montre une différence très hautement significative en fonction des mois ( $p < 0.001$ ) et des organes ( $p < 0.001$ ) (annexe 03 ; tableau 10).

#### 4.4.3.3. La saison estivale



**Figure 72.** Variation inter mensuelle des teneurs en ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison estivale

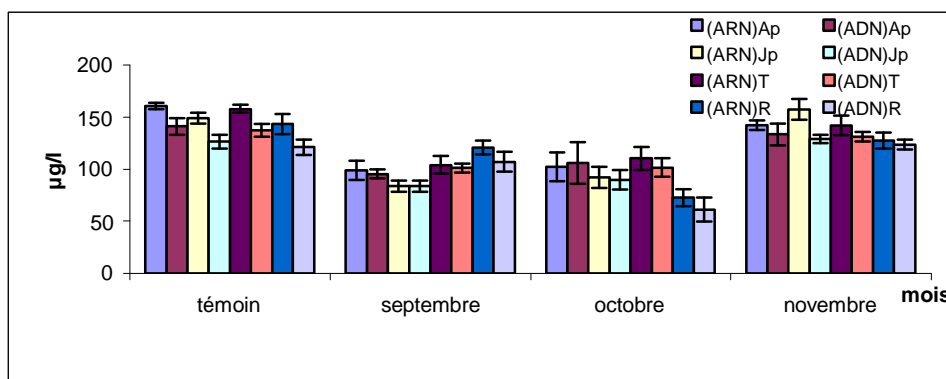
### a. ADN

Durant la saison estivale les organes des semis de pin pignon présentent des teneurs très faibles de l'ADN par rapport au témoin. Les nouvelles pousses présentent la teneur la plus élevée au mois de juin avec une diminution de 7.41% alors que la teneur la plus faible est signalée au mois de juillet au niveau des racines  $71.75 \pm 4.360 \mu\text{g/l}$  et une diminution de 40.73% (Figure 72). Ces variations sont confirmées par l'analyse de la variance à deux critères de classification qui signale une différence hautement significative en fonction des organes ( $p=0.015$ ) et très hautement significative en fonction des mois ( $p<0.001$ ) (annexe03; tableau08).

### b. ARN

La chaleur estivale a provoqué une diminution des teneurs de l'ARN dans les différents organes des semis de pin pignon par rapport au témoin. En moyenne, les teneurs sont relativement plus importantes au niveau des tiges durant les trois mois de la saison en accusant des diminutions qui s'échelonnent entre 10.78% au mois de juin et 40.76% au mois d'août par rapport au témoin (Figure 72 ; tableau 51). Les racines enregistrent les teneurs les plus faibles avec des moyennes variant entre  $73.41 \pm 6.010 \mu\text{g/l}$  au mois d'août et  $174 \pm 2.675 \mu\text{g/l}$  au mois de juin. L'analyse de la variance à deux critères de classification montre une différence très hautement significative pour le paramètre d'organe ( $p<0.001$ ) et non significative en fonction des mois ( $p=0.153$ ) (annexe03; tableau10).

#### 4.4.3.3. La saison automnale



**Figure 73.** Variation inter mensuelle des teneurs en ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison automnale

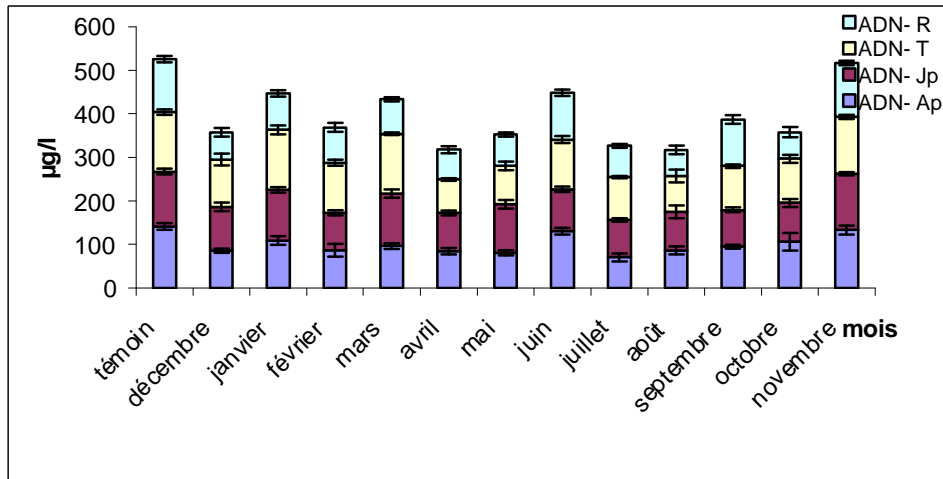
### **a. ADN**

Les résultats concernant les teneurs de l'ADN durant la saison automnale au niveau des organes des semis de pin pignon sont illustrés dans la figure 73. Les valeurs obtenues montrent généralement une variation négative par rapport au témoin. Les teneurs les plus élevées sont observées durant le mois de novembre au niveau de tous les organes par rapport au mois de septembre et d'octobre. En fonction des organes, les teneurs les plus élevées sont signalées au niveau des anciennes pousses durant le mois de novembre  $133.25 \pm 10.488 \mu\text{g/l}$ . Par contre la teneur la plus faible est signalée au niveau des racines pendant le mois d'octobre en affichant une diminution de 49.56% par rapport au témoin. L'analyse de la variance à deux critères de classification signale des différences hautement significatives en fonction des organes ( $p=0.042$ ) et très hautement significative en fonction des mois ( $p<0.001$ ) (annexe03; tableau08).

### **b. ARN**

Durant la saison estivale, l'analyse des résultats illustrés à la figure 73 montre que les teneurs de l'ARN présentent généralement des variations négatives par rapport au témoin. La plus grande teneur est affichée au niveau des tiges au mois de novembre en accusant une légère augmentation de 5.65%, donc elle est presque identique au témoin (tableau 51). Alors que la teneur la plus faible est signalée au niveau des racines au mois d'octobre avec une diminution de 49.2445%. Le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification (annexe03; tableau10) montre un effet non significatif en fonction des organes ( $p=0.194$ ) et très hautement significatif en fonction des mois ( $p<0.001$ ).

#### 4.3.5. Conséquences des fluctuations thermiques globales des teneurs en ADN entre les organes



**Figure 74.** Variation mensuelle de taux de l'ADN en fonction des organes.

Les valeurs mensuelles de l'ADN dans les différents organes des semis de pin pignon présentent la séquence suivante :

En fonction des organes : **[T] > [Np] > [Ap] > [R].**

L'analyse des résultats montre que dans la plupart des cas, les teneurs relevées en ADN dans les tiges sont supérieures à celles relevées dans les racines et dans les anciennes et les nouvelles pousses.

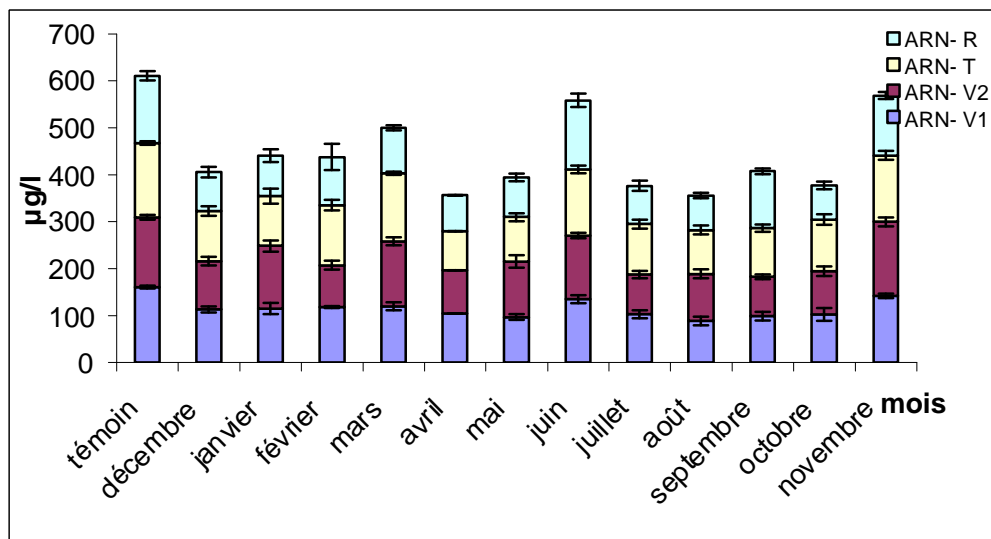
Selon la figure 74 les teneurs en ADN globale en fonction des mois décroissent dans l'ordre suivant :

**[Novembre] > [Juin] > [Janvier] > [Mars] > [Septembre] > [Février] > [octobre] > [Décembre] > [mai] > [Juillet] > [avril] > [Août].**

Nous remarquons que c'est le mois de novembre qui signale les teneurs les plus élevées au niveau des différents organes. Alors que le mois d'août est le mois le moins accumulant des sucres solubles.



#### 4.4.5. Variation mensuelle globale des teneurs en ARN entre les organes



**Figure 75.** Variation mensuelle de taux de l'ARN en fonction des organes.

La figure 75 nous montre que la plupart des mois présentent des séquences identiques dans la répartition des teneurs de l'ARN dans les différents organes des semis de pin pignon :

En moyenne ; **[T] > [Ap] > [Np] > [R]**

D'un point de vue quantitatif, nous remarquons que le mois de novembre représente le mois le plus accumulant de l'ARN au niveau des différents organes, Alors que le mois de mars est le mois le moins accumulant des sucres.

Pour la répartition quantitative entre les mois, on a la séquence suivante :

**[Novembre] > [Juin] > [mars] > [janvier] > [février] > [septembre] > [décembre] > [mai] > [octobre] > [Juillet] > [Août] > [avril].**

#### 4.6. Conséquences des fluctuations thermiques sur les teneurs en chlorophylle

**Tableau 52.** Paramètres statistiques des teneurs en chlorophylles.

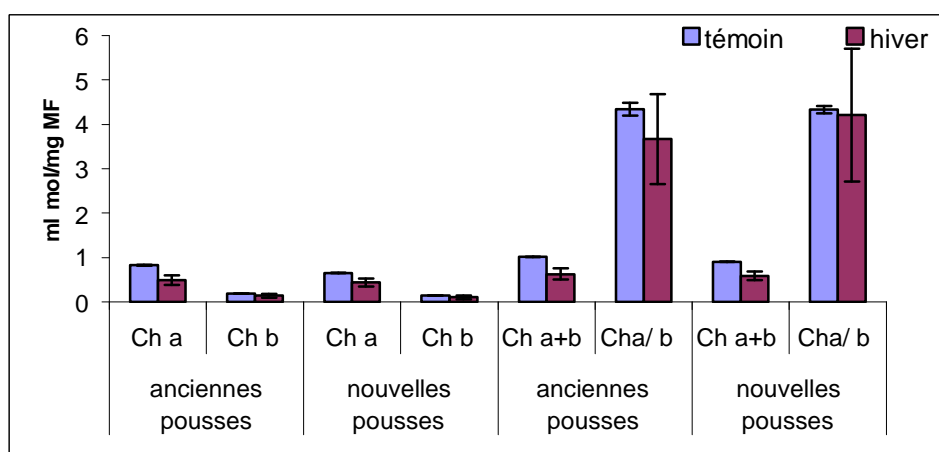
|               | Variable  | N       | Moyenne | Ecartype | Minimum | Maximum |
|---------------|-----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| <b>Ch.a</b>   | témoin    | 4       | 0,7382  | 0,1011   | 0,6488  | 0,8339  |
|               | décembre  | 4       | 0,5716  | 0,0406   | 0,533   | 0,6081  |
|               | janvier   | 4       | 0,3836  | 0,0222   | 0,3625  | 0,4093  |
|               | février   | 4       | 0,4394  | 0,0221   | 0,4202  | 0,4605  |
|               | mars      | 4       | 0,41232 | 0,00935  | 0,40258 | 0,42417 |
|               | avril     | 4       | 0,9681  | 0,0777   | 0,8968  | 1,0389  |
|               | mai       | 4       | 1,1019  | 0,0832   | 1,0224  | 1,1751  |
|               | juin      | 4       | 0,4543  | 0,0421   | 0,4138  | 0,4934  |
|               | juillet   | 4       | 0,4509  | 0,0428   | 0,4086  | 0,491   |
|               | août      | 4       | 0,498   | 0,043    | 0,4579  | 0,5376  |
|               | septembre | 4       | 0,8183  | 0,0984   | 0,7287  | 0,9073  |
|               | octobre   | 4       | 0,7552  | 0,0552   | 0,7052  | 0,8065  |
| novembre      | 4         | 0,7541  | 0,0563  | 0,6729   | 0,8028  |         |
| <b>Ch.b</b>   | témoin    | 4       | 0,16770 | 0,02600  | 0,14310 | 0,19270 |
|               | décembre  | 4       | 0,10830 | 0,03330  | 0,07870 | 0,13910 |
|               | janvier   | 4       | 0,09063 | 0,00964  | 0,08094 | 0,09975 |
|               | février   | 4       | 0,16670 | 0,01857  | 0,14973 | 0,18414 |
|               | mars      | 4       | 0,09605 | 0,01127  | 0,08550 | 0,10716 |
|               | avril     | 4       | 0,18910 | 0,03460  | 0,15620 | 0,22290 |
|               | mai       | 4       | 0,21520 | 0,04120  | 0,17780 | 0,25190 |
|               | juin      | 4       | 0,10346 | 0,00931  | 0,09405 | 0,11229 |
|               | juillet   | 4       | 0,12540 | 0,01493  | 0,11286 | 0,14535 |
|               | août      | 4       | 0,11115 | 0,00818  | 0,10374 | 0,12141 |
|               | septembre | 4       | 0,26900 | 0,04340  | 0,22970 | 0,31060 |
|               | octobre   | 4       | 0,14090 | 0,02310  | 0,11970 | 0,16420 |
| novembre      | 4         | 0,11728 | 0,01221 | 0,10545  | 0,12996 |         |
| <b>Ch.a+b</b> | témoin    | 4       | 0,9059  | 0,1268   | 0,7918  | 1,0215  |
|               | décembre  | 4       | 0,6799  | 0,0738   | 0,6117  | 0,7442  |
|               | janvier   | 4       | 0,4742  | 0,0315   | 0,4463  | 0,5091  |
|               | février   | 4       | 0,6061  | 0,0406   | 0,5701  | 0,6418  |
|               | mars      | 4       | 0,5084  | 0,0201   | 0,4898  | 0,5313  |
|               | avril     | 4       | 1,1572  | 0,1119   | 1,0592  | 1,2544  |
|               | mai       | 4       | 1,3171  | 0,1243   | 1,2002  | 1,4248  |
|               | juin      | 4       | 0,5577  | 0,0331   | 0,5244  | 0,5903  |
|               | juillet   | 4       | 0,5763  | 0,0294   | 0,548   | 0,6038  |
|               | août      | 4       | 0,6091  | 0,0508   | 0,5616  | 0,6591  |
|               | septembre | 4       | 1,0873  | 0,1417   | 0,9621  | 1,2179  |
|               | octobre   | 4       | 0,8961  | 0,0781   | 0,8249  | 0,9638  |
| novembre      | 4         | 0,8714  | 0,0624  | 0,7783   | 0,9111  |         |
| <b>Ch.a/b</b> | témoin    | 4       | 4,4116  | 0,1231   | 4,2415  | 4,5346  |
|               | décembre  | 4       | 5,5870  | 1,3420   | 4,3510  | 6,7760  |
|               | janvier   | 4       | 4,2500  | 0,2340   | 4,0270  | 4,5450  |
|               | février   | 4       | 2,6494  | 0,1644   | 2,4792  | 2,8073  |
|               | mars      | 4       | 4,3300  | 0,4240   | 3,9580  | 4,7690  |
|               | avril     | 4       | 5,1950  | 0,5530   | 4,6290  | 5,7950  |
|               | mai       | 4       | 5,2090  | 0,6110   | 4,6530  | 5,7490  |
|               | juin      | 4       | 4,4450  | 0,8020   | 3,7420  | 5,1850  |
|               | juillet   | 4       | 3,6600  | 0,7410   | 2,8110  | 4,3500  |
|               | août      | 4       | 4,4781  | 0,1299   | 4,3982  | 4,6720  |
|               | septembre | 4       | 3,0575  | 0,1330   | 2,9210  | 3,2113  |
|               | octobre   | 4       | 5,4190  | 0,5000   | 4,8690  | 5,8910  |
| novembre      | 4         | 6,4670  | 0,6600  | 5,9060   | 7,4130  |         |

#### 4.5.1. Conséquences des fluctuations thermiques saisonnières sur les teneurs en chlorophylles

**Tableau 53.** Taux de variation saisonnière de la chlorophylle a, b, a+b et le rapport chlorophyllien a/b en fonction des mois par rapport au témoin (%).

|                                   | Hiver   | Printemps | été     | automne |
|-----------------------------------|---------|-----------|---------|---------|
| <b>Ch a (anciennes pousses)</b>   | -40,761 | 6,127     | -44,793 | 66,592  |
| <b>Ch b (anciennes pousses)</b>   | -26,576 | 0,8996    | -35,832 | 37,095  |
| <b>Ch a (nouvelles pousses)</b>   | -32,296 | 19,643    | -26,301 | 67,244  |
| <b>Ch b (nouvelles pousses)</b>   | -28,325 | -2,4837   | -27,974 | 53,7    |
| <b>Ch a+b (anciennes pousses)</b> | -38,106 | 5,1486    | -43,116 | 60,043  |
| <b>Ch a+b (nouvelles pousses)</b> | -35,074 | 9,7801    | -35,706 | 60,101  |
| <b>Cha/ b (anciennes pousses)</b> | -15,593 | 2,6557    | -12,965 | 34,935  |
| <b>Cha/ b (nouvelles pousses)</b> | -2,9126 | 13,633    | -2,856  | 17,318  |

##### 4.5.1.1 La saison hivernale



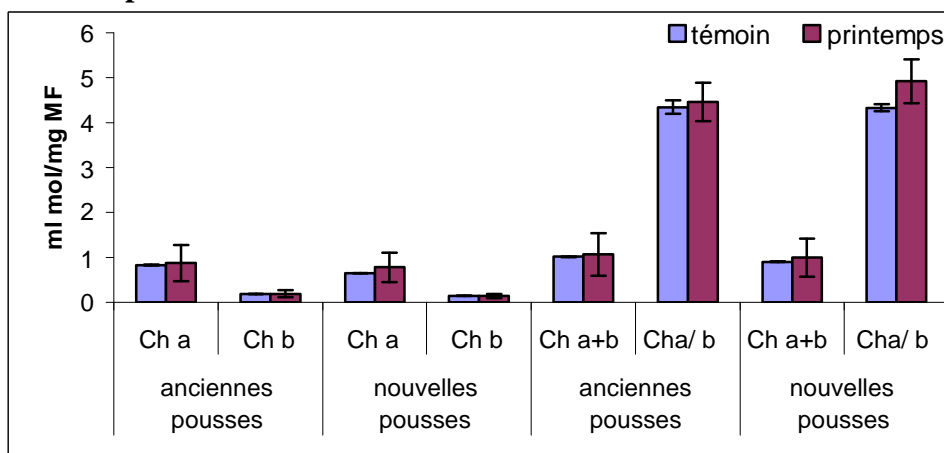
**Figure 76.** Teneurs en chlorophylles dans les pousses supérieures et inférieures des semis de pin pignon durant la saison hivernale

Durant la saison hivernale, pour les anciennes pousses comme pour les nouvelles pousses, les résultats obtenus indiquent une variation négative des teneurs en chlorophylle a par rapport au témoin (figure 76). Les taux de réduction ont atteint 40.76% au niveau des anciennes pousses et 32.29% pour les nouvelles pousses. Le test de l'analyse de la variance à un critère est non significatif par rapport au témoin pour les anciennes pousses  $p=0.357$  (annexe03, tableau 11).

Proportionnellement à la chlorophylle (a), la chlorophylle (b) présente aussi des variations négatives par rapport au témoin. Au niveau des anciennes pousses le taux de diminution est de l'ordre de 26.57% alors qu'il est de 28.32% au niveau des nouvelles pousses. Le test de l'analyse de la variance est non significatif par rapport aux organes ( $p= 0.127$ ) (annexe03, tableau 13)

Les anciennes pousses accusent une diminution des teneurs en chlorophylle a/b (15.59%), ainsi que les nouvelles pousses qui signalent des diminutions de l'ordre de 2.91% par rapport au témoin (figure.76 ; tableau 53). Le test de l'analyse de la variance à un critère de classification est non significatif pour ce paramètre en fonction des organes ( $p=0.253$ ) (annexe 03, tableau 17).

#### 4.5.1.2. La saison printanière



**Figure 77.** Teneurs en chlorophylles dans les pousses supérieures et inférieures des semis de pin pignon durant la saison printanière

Durant la saison printanière, les teneurs en chlorophylle a augmentent avec l'augmentation des températures printanières (par rapport à l'hiver) (figure 77). Le taux d'augmentation est de l'ordre de 6.12% pour les anciennes pousses et 19.64 % pour les jeunes pousses (tableau 53). Le test de l'analyse de la variance ( $p=0.619$ ) (annexe 03, tableau 11) montre qu'il n'y a pas une relation significative de ce paramètre par rapport aux organes.

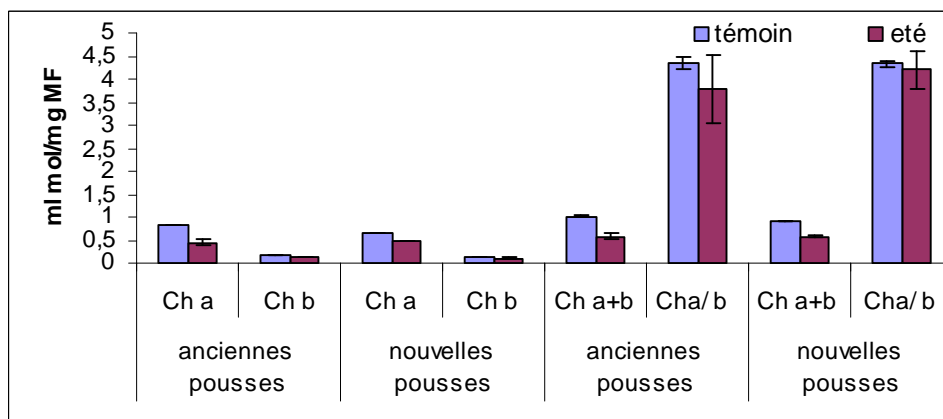
Les résultats concernant les teneurs en chlorophylle b des semis de pin pignon durant la saison printanière sont illustrés par la figure 77. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les anciennes pousses et sont presque identiques au témoin, alors que les plus faibles sont signalées dans les nouvelles pousses avec une diminution de 2.487% par rapport au témoin. L'analyse de la variance à un critère ne signale pas des différences significatives de ce paramètre en fonction des organes  $p=0.162$  (annexe 03, tableau13)

Selon la figure 77, les rapports de la chlorophylle a/b obtenus sont toujours supérieurs à ceux du témoin. Pour les anciennes pousses, les teneurs sont identiques au témoin. Tandis que les nouvelles pousses signalent une augmentation de l'ordre de 13.63% pour les anciennes et les nouvelles pousses par rapport au témoin. L'analyse de la variance à un critère signale des différences significatives ( $p=0.007$ ) (Annexe 03; tableau17). L'analyse statistique des données par le biais du test de Newman et Keuls fait ressortir deux groupes de moyennes homogènes. Le premier correspond aux nouvelles pousses qui caractérisent la moyenne la plus élevée (5.363), le second groupe correspond aux anciennes pousses (Tableau 54).

**Tableau 54.** Tableau des organes homogènes, de la teneur en chlorophylle a /b pour la saison printanière, obtenus par le test de Newman et Keuls

| Organes           | Moyenne | Groupes |
|-------------------|---------|---------|
| Nouvelles pousses | 5,363   | A       |
| Anciennes pousses | 4,460   | B       |

#### 4.5.1.3. La saison estivale



**Figure 78.** Teneurs en chlorophylles dans les pousses supérieures et inférieures des semis de pin pignon durant la saison estivale

La variation de la chlorophylle a en fonction des organes durant la saison printanière n'est pas importante (figure 78). Le test de l'analyse de la variance à un critère de classification n'est pas significatif ( $p=0.378$ ) (Annexe 03; tableau 11). On remarque qu'il y a une réduction importante en fonction de l'intensité de la chaleur estivale avec un taux de 44.793 % pour les anciennes pousses et 26.301% pour les pousses supérieures par rapport au témoin.

La figure 78 montre que l'accumulation de la chlorophylle b est inversement proportionnelle à la température, où les teneurs obtenues sont nettement inférieures au témoin en enregistrant des taux de réduction de 35.83% pour les anciennes pousses et de 27.974% pour les nouvelles pousses. Le test de l'analyse de la variance à un critère de classification (Annexe 03; tableau 13), montre qu'il existe une différence significative entre les pousses ( $p= 0.022$ ). Ces résultats sont vérifiés par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5% qui effectivement isole 02 groupes homogènes qui sont classés comme suit ; les anciennes pousses (0.122) et les nouvelles pousses (0.105). (Tableau. 55).

**Tableau 55.** Tableau des organes homogènes, de la teneur en chlorophylle b pour la saison estivale, obtenus par le test de Newman et Keuls

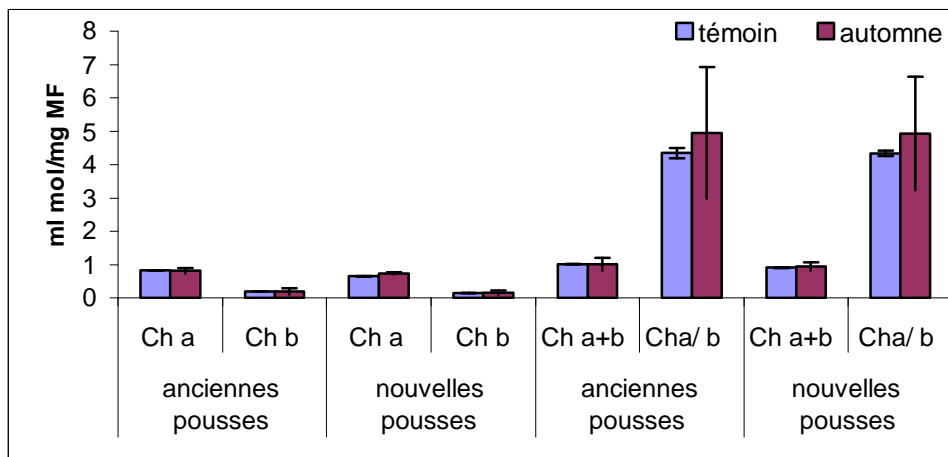
| <b>Organes</b>         | <b>Moyenne</b> | <b>Groupes</b> |
|------------------------|----------------|----------------|
| <b>Ancienne pousse</b> | <b>0,122</b>   | <b>A</b>       |
| <b>Jeune pousse</b>    | <b>0,105</b>   | <b>B</b>       |

Les résultats du rapport en chlorophylle a/b sont illustrés par la figure 72, nous constatons une diminution par rapport au témoin au niveau des anciennes pousses (12.96%). Ces différences sont confirmées par l'analyse de la variance à un critère de classification qui indique une différence significative ( $p=0.032$ ) (Annexe 03; tableau 17). Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% donne deux groupes homogènes dont les anciennes pousses constituent le premier groupe avec une moyenne de 4.608 ; le second comprend les nouvelles pousses (tableau 56).

**Tableau 56.** Tableau des organes homogènes, de la teneur en rapport chlorophyllien pour la saison estivale, obtenus par le test de Newman et Keuls

| Organes         | Moyenne | Groupes |
|-----------------|---------|---------|
| Jeune pousse    | 4,608   | A       |
| Ancienne pousse | 3,781   | B       |

#### 4.5.1.4 La saison automnale



**Figure 79.** Teneurs en chlorophylles dans les pousses supérieures et inférieures des semis de pin pignon durant la saison automnale

Concernant la saison automnale, les résultats montrent une augmentation des teneurs en chlorophylle a dans les anciennes pousses en accusant une augmentation de 66.59% et dans les nouvelles pousses (67.24%) (figure.79 ). L'analyse de la variance à un critère de classification (Annexe 03; tableau11) révèle qu'il n'existe pas de différence significative entre les deux types de pousses pour ce paramètre ( $p=0.060$ ).

Pour la chlorophylle b, les résultats obtenus sont toujours supérieurs au témoin (figure 79). Les nouvelles pousses affichent la valeur la plus élevée avec un taux d'augmentation de 53.7%, la plus petite valeur est enregistrée au niveau des anciennes pousses avec une augmentation de l'ordre de 37.09%. L'analyse de la variance montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les pousses pour ce paramètre ( $p=0.494$ ) (Annexe 03; tableau 13).

Le rapport chlorophyllien chez les semis de pin pignon ne présente pas des variations importantes. Le test de l'analyse de la variance à un critère de classification n'est pas

significatif ( $p=0.945$ ) (Annexe 03; tableau17). Les teneurs sont plus importantes au niveau des anciennes pousses en accusant un taux d'augmentation de l'ordre 34.93% que les nouvelles pousses 17.31% par rapport au témoin (figure, 79).

#### 4.5.2. Conséquences des fluctuations thermiques inter saisonnières sur les teneurs en chlorophylle

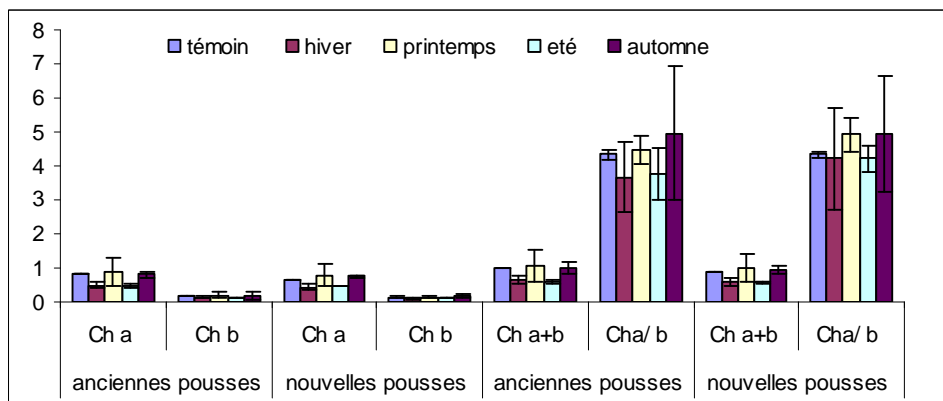


Figure 80. La variation inter saisonnière des teneurs en dans les pousses des semis de pin pignon

En fonction des saisons, les semis de pin pignon subissent des diminutions de leur teneur en Ch. (a) particulièrement lorsque les températures augmentent en été ou diminuent en hiver. Ces diminutions s'échelonnent entre 26.30% et 44.978% en été et varient de 32.29% à 40.76% en hiver. Alors qu'en saisons printanières et automnales ces variations sont généralement positives. Donc les teneurs les plus élevées sont signalées durant la saison automnale et les plus faibles durant la saison estivale (figure 80).

En fonction des organes, la variation saisonnière n'est pas importante. Le taux le plus élevé est toujours affiché au niveau des anciennes pousses durant les saisons printanière et automnale en accusant une augmentation respectivement de 66.59% et 6.12% par rapport au témoin. Le test de l'analyse de la variance signale des différences très hautement significatives en fonction des saisons ( $p<0.001$ ) et non significatives en fonction des organes ( $p=0.328$ ) (Annexe 03; tableau12).

Pour la chlorophylle b, l'analyse de la variance à deux critères de classification montre une différence significative en fonction des saison  $p= 0.030$  et très significative en fonction des organes ( $p=0.008$ ) (Annexe 03; tableau14).



Concernant les saisons, la teneur la plus élevée en Ch. (b) est affichée durant la saison printanière et automnale en accusant une augmentation de l'ordre de 37.09% et 0.89% par rapport au témoin pour les anciennes pousses et les teneurs les plus faibles sont signalées durant les saisons hivernale et estivale pour les anciennes pousses et les jeunes pousses.

En fonction des organes, ce sont les nouvelles pousses qui affichent les teneurs les plus élevées en saison automnale (35.7%). Par contre en saison printanière les teneurs les plus élevées sont signalées au niveau des anciennes pousses et les teneurs les plus faibles sont signalées durant la saison estivale en dénotant une diminution de l'ordre de 35.83 % pour les anciennes pousses et de -27.97% pour les nouvelles pousses (figure 80).

Selon la figure 80, l'effet des différents niveaux de la température saisonnière sur le taux de chlorophylle a/b dans les semis de pin pignon indique que la plus grande quantité est rencontrée en saison automnale dans les anciennes pousses (34.93%), alors que la quantité minimale est observée durant la saison estivale au niveau des nouvelles pousses (Figure 80). L'analyse de la variance à deux critères de classification signale une différence significative du taux de la chlorophylle a/b en fonction des saisons ( $p=0.040$ ) et une différence non significative entre les organes ( $p=0.158$ ) (Annexe 03; tableau18).

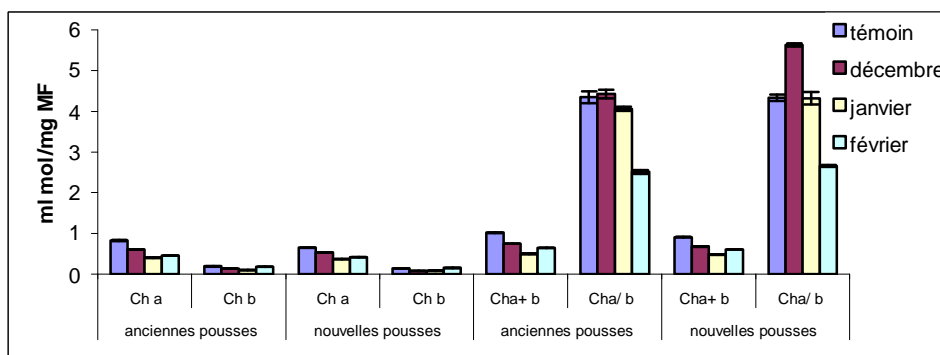
### **4.5.3. Conséquences des fluctuations thermiques inter mensuelles de chaque saison sur les teneurs en chlorophylle**

#### **4.5.3.1. La saison hivernale**

La figure 81, montre la variation de la chlorophylle a durant la saison hivernale en fonction des organes et des mois. On remarque que la variation mensuelle est très importante. Les résultats obtenus sont inférieurs au témoin. La grande quantité de chlorophylle a est signalée durant le mois de décembre par rapport au mois de janvier et de février.

En fonction des organes, La plus grande quantité de la chlorophylle a est enregistrée au niveau des anciennes pousses pendant les trois mois de la saison par rapport aux nouvelles pousses. L'analyse de la variance à deux critères de classification

signale une différence très hautement significative en fonction des organes ( $p < 0.001$ ) et des mois ( $p < 0.001$ ) (Annexe 03; tableau12).



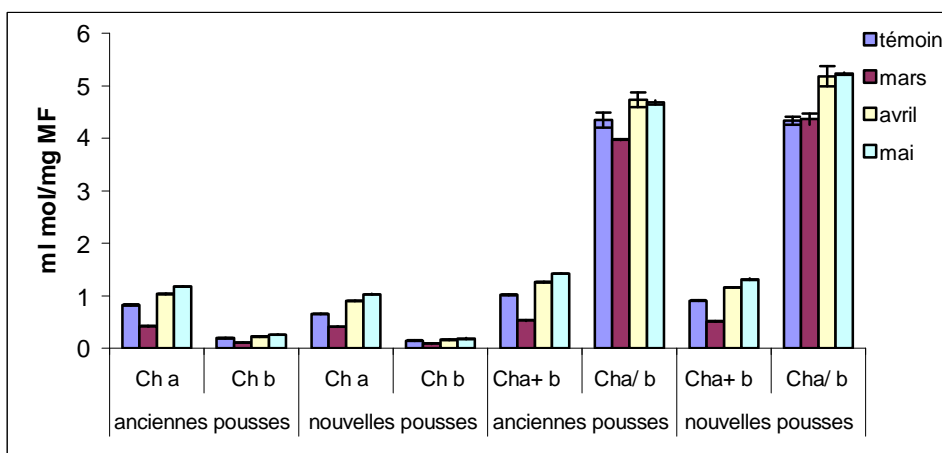
**Figure 81. La variation inter mensuelle des teneurs en chlorophylles dans les pousses supérieures et des semis de pin pignon durant la saison hivernale**

Les teneurs en chlorophylle (b) sont inférieures à celles du témoin durant la saison hivernale. En fonction des mois, la plus grande quantité de la chlorophylle b est rencontrée durant le mois de décembre alors que la quantité minimale est observée au mois de janvier (figure 81).

En fonction des organes, les résultats obtenus montrent une diminution de taux de chlorophylle (b). Cette diminution est observée surtout au niveau des nouvelles pousses pendant le mois de décembre et janvier en accusant des diminutions de l'ordre de 45.28% et 43.33% respectivement par rapport au témoin. L'analyse de la variance à deux critères de classification signale une différence très hautement significative en fonction des mois ( $p < 0.001$ ) et des organes ( $p < 0.001$ ) (Annexe 03; tableau14).

Pour le rapport chlorophyllien (a/b), les résultats illustrés dans la figure 81 montrent des variations importantes au niveau des différents organes et en fonction des mois. Le mois de décembre enregistre les teneurs les plus élevées par rapport au mois de janvier et de février avec des teneurs identiques au témoin pour les anciennes pousses et un taux d'augmentation de 30.161% au niveau des nouvelles pousses. Les mois de janvier et de Février accusent des diminutions allant jusqu'à 38.707% au niveau des nouvelles pousses et jusqu'à 42.24% au niveau des jeunes pousses par rapport au témoin. L'analyse de la variance à deux critères de classification signale des différences très hautement significatives au niveau des organes ( $p < 0.001$ ) et des mois ( $p < 0.001$ ) (Annexe 03; tableau18).

#### 4.5.3.2. La saison printanière



**Figure 82.** La variation inter mensuelle des teneurs en chlorophylles dans les pousses des semis de pin pignon durant la saison printanière

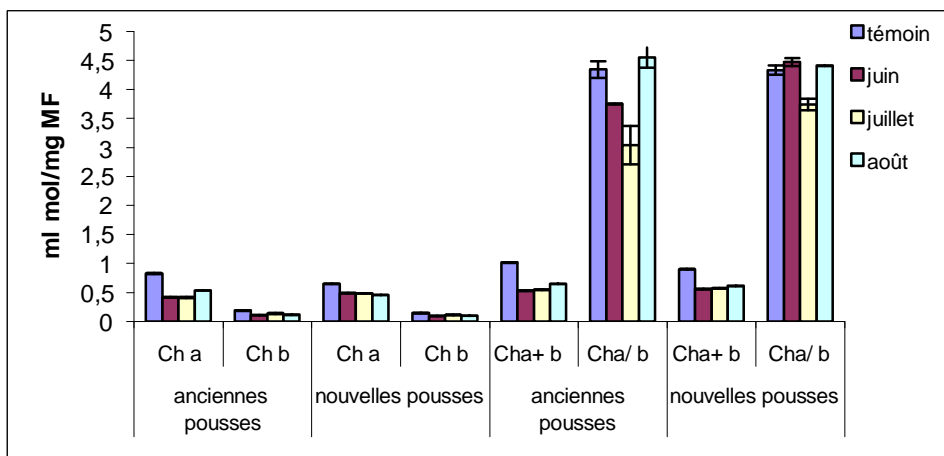
Durant la saison printanière, la teneur en chlorophylle (a) varie entre les différents organes (anciennes et nouvelles pousses). Elle atteint son maximum au niveau des anciennes pousses en accusant une légère augmentation de l'ordre de 7.65% au mois d'avril, alors que son minimum est enregistré au niveau des nouvelles pousses surtout au mois de mars avec une diminution de 37.75% par rapport au témoin. On remarque alors que le mois de mars enregistre les teneurs les plus faibles par rapport au témoin et par rapport aux organes (figure82). L'analyse de la variance à deux critères de classification signale des différences très hautement significatives en fonction des organes ( $p < 0.001$ ) et des mois ( $p < 0.001$ ) (Annexe 03; tableau12).

Sous une température printanière, la teneur en chlorophylle (b) est plus élevée durant le mois d'avril et mai par rapport au mois de mars et au témoin, ceci est particulièrement visible au niveau des anciennes pousses qui accusent une augmentation de l'ordre de 59.66 % au mois de mai par rapport à une diminution de 44.37% au mois de mars (figure 82). Alors qu'au niveau des nouvelles pousses l'augmentation est de l'ordre de 100.35% au mois d'avril par rapport à une diminution au mois de mars de l'ordre de 40, 58 % par rapport au témoin. Ces résultats sont vérifiés par l'analyse de la variance à deux critères de classification qui signale des différences très hautement

significatives en fonction des mois ( $p < 0.001$ ) et des organes ( $p < 0.001$ ) (Annexe 03; tableau 14).

En ce qui concerne le rapport chlorophyllien, l'analyse des résultats illustrés par la figure 77 montre que la teneur est d'autant plus importante que la température augmente. Les plus grandes teneurs sont affichées au niveau des nouvelles pousses par rapport aux anciennes pousses. En fonction des mois la plus grande teneur est affichée au mois de mai qui correspond à un taux d'augmentation de 20.66% dans les nouvelles pousses et la plus faible teneur est enregistrée au mois de mars au niveau des anciennes pousses en accusant un taux de réduction de 8.67% par rapport au témoin. Le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification montre qu'il existe une différence très hautement significative entre les mois ( $p < 0.001$ ) et entre les organes ( $p < 0.001$ ) (Annexe 03; tableau 18).

#### 4.5.3.3. La saison estivale



**Figure 83.** Variation inter mensuelle des teneurs en chlorophylles dans les pousses supérieures et inférieures des semis de pin pignon durant la saison estivale

La figure 83 montre que les teneurs en chlorophylle (a) durant la saison estivale sont plus faibles que le témoin. Les taux de diminution sont de l'ordre de 35.18%, 49.83% et 49.36% respectivement pour le mois d'août, juillet et juin au niveau des anciennes pousses et entre 24.63% au mois de juin et 29.197% au mois d'août pour les nouvelles pousses comparativement au témoin. En ce qui concerne la variation mensuelle, c'est le mois d'août qui enregistre les teneurs les plus élevées alors que les mois de juillet et de juin présentent des

teneurs presque identiques. Le test de l'analyse de la variance est très hautement significatif entre les mois ( $p < 0.001$ ) et entre les organes ( $p < 0.001$ ) (Annexe 03; tableau 12).

Durant la saison estivale, on remarque une diminution de la chlorophylle (b) au niveau des différents organes (anciennes pousses et jeunes) et durant les trois mois de l'été par rapport à la chlorophylle a et par rapport au témoin. Cette diminution est remarquable au niveau des anciennes pousses, elle est respectivement de l'ordre de 41.37%, 28.236% et 38.081% pour les mois de juin, juillet et août, alors qu'elle est de l'ordre de 34.31%, 21.56% et 28.09% au niveau des nouvelles pousses pour les mêmes mois par rapport au témoin (Figure. 83). Le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification signale des différences significatives en fonction des mois ( $p = 0.004$ ) et des organes ( $p = 0.002$ ) par rapport à ce paramètre ( $p < 0.001$ ) (Annexe 03; tableau 14).

Pour le rapport chlorophyllien les résultats obtenus montrent qu'il présente des variations très importantes entre les trois mois de la saison estivale et entre les anciennes pousses et jeunes. La plus grande quantité est observée durant le mois d'août au niveau des anciennes pousses avec un ordre de grandeur de 4.74% comparativement au témoin, par contre la plus faible teneur est enregistrée au mois de juillet au niveau des anciennes pousses avec un taux de réduction de 29.977% par rapport au témoin (figure 83). L'analyse de la variance à deux critères de classification montre une différence très hautement significative entre les mois ( $p = 0.002$ ) et en fonction des organes ( $p < 0.001$ ) (Annexe 03; tableau 18).

#### 4.5.3.4. La saison automnale

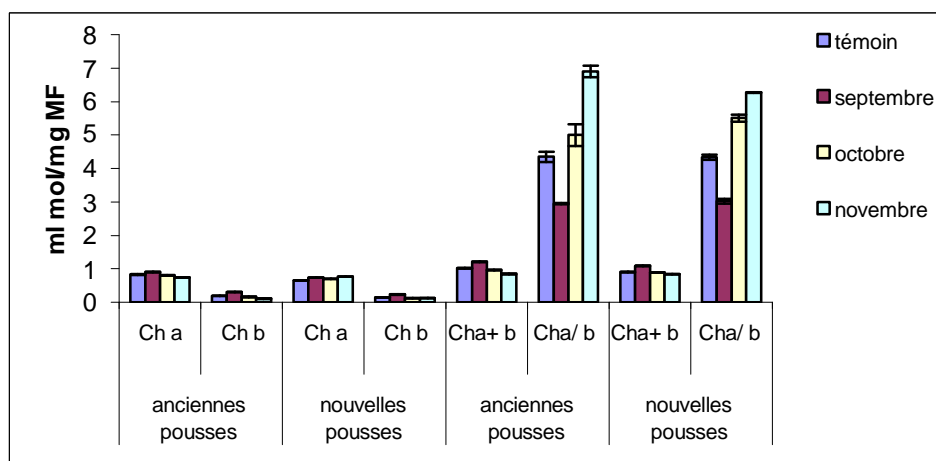


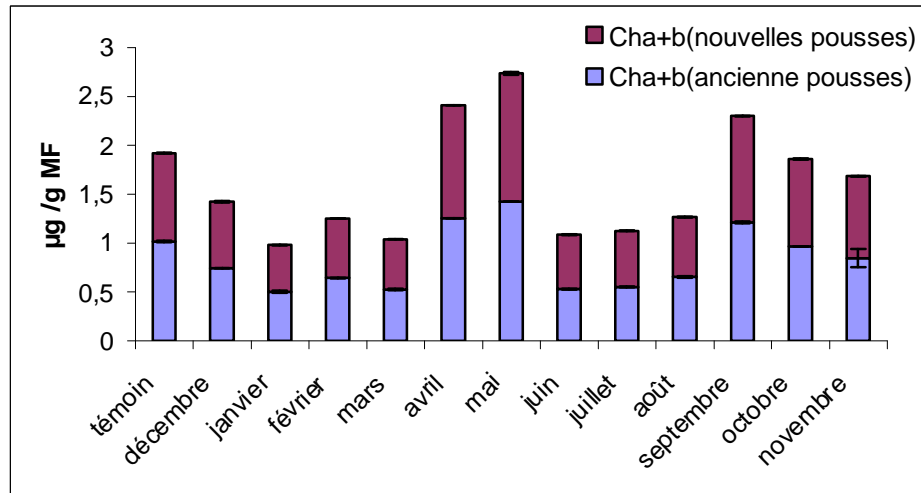
Figure 84. La variation inter mensuelle des teneurs en chlorophylles dans les pousses supérieures et inférieures des semis de pin pignon durant la saison automnale

Les résultats obtenus au saison automnale montrent qu'il a une variation importante des teneurs en chlorophylle (a) au niveau des différents organes et durant les trois mois de la saison. (Figure 84). On remarque que les teneurs en chlorophylle a enregistrées sont identiques au témoin pendant le mois d'octobre (2.74%) mais qui présente une légère augmentation au mois de novembre (10.62%), alors que le mois de septembre accuse un gain de l'ordre de 9.42 % par rapport au témoin. Alors qu'au niveau des pousses supérieures, les teneurs sont supérieures au témoin durant les trois mois, l'ordre de grandeur varie entre 8.68% au mois d'octobre à 18.36% au mois de novembre comparativement au témoin. (Figure 84). L'analyse de la variance à deux critères de classification signale des différences hautement significative en fonction des organes ( $p=0.012$ ) et non significative en fonction des mois ( $p=0.087$ ) (Annexe 03; tableau12).

Les valeurs obtenues en chlorophylle (b) durant la saison automnale au niveau des organes (anciennes et les nouvelles pousses) sont inférieures à celles du témoin durant le mois d'octobre et novembre qui enregistrent des réductions allant de 15.44% et 43.77% au niveau des anciennes pousses et de 16.66% à 12.15 % au niveau des nouvelles pousses, alors que le mois de septembre enregistre des teneurs positive par rapport au témoin. Ces variations sont confirmés par l'analyse de la variance à deux critères de classification qui signale des différences très hautement significatives de ce paramètre par rapport aux organes ( $p<0.001$ ) et par rapport aux mois ( $p<0.001$ ) (Annexe 03; tableau14).

Pour la saison automnale, les résultats illustrés dans la figure 84 montrent des variations importantes pour le rapport chlorophyllien en fonction des mois ( $p < 0.001$ ) et non significatives en fonction des organes ( $p=0.729$ ) (Annexe 03; tableau18). Le mois de novembre enregistre les teneurs les plus élevées en accusant des taux d'augmentation de l'ordre de 58.76% et 44.80 % respectivement pour les anciennes et les nouvelles pousses. Par contre les teneurs les plus faibles sont signalées au mois de septembre et affichent des diminutions de l'ordre de 32.13% et 30.26% respectivement pour les anciennes et les nouvelles pousses comparativement au témoin.

#### 4.5.4. Conséquences des fluctuations thermiques des teneurs en chlorophylle totale entre les organes



**Figure 85.** Variation mensuelle de taux de la chlorophylle totale en fonction des organes.

La figure 85 illustre les teneurs moyennes mensuelles en chlorophylle totale dans les différents organes des semis de pin pignon. La distribution selon les organes se fait dans l'ordre des concentrations décroissantes suivant :

**[Anciennes pousses] > [Nouvelles pousses]**

En fonction des mois, les teneurs mensuelles détectées suivent l'ordre croissant ci-dessous :

**[Juin] < [mars] < [janvier] < [juillet] < [Février] < [Août] < [Décembre] < [Novembre] < [Octobre] < [Septembre] < [Avril] < [mai].**

Donc la variation quantitative mensuelle des teneurs en chlorophylle totale dans les différents organes des semis de pin pignon montre que le mois de mai enregistre les teneurs les plus élevées ; il est 03 fois supérieur au témoin, alors que le mois de juin représente le mois le moins accumulant durant l'année.

## 4.6 Discussion

Les plantes réagissent aux variations de température en ajustant immédiatement leur activité aux nouvelles conditions. Lorsque les changements du climat thermique sont persistants, les ajustements en jeu impliquent des modifications plus ou moins rapides et durables de leur métabolisme. Le froid comme la chaleur sont des sources de stress physiologique

La présente étude a été réalisée dans le but de contrôler les effets provoqués par les fluctuations thermiques mensuelles et saisonnières du climat semi aride sur les semis de pin pignon. Cette étude a été abordée par la mesure des marqueurs biochimiques tels que la proline, les sucres, les protéines, l'ADN et l'ARN ainsi que la chlorophylle.

Les stress environnementaux réduisant la productivité des espèces forestières sont généralement liés au métabolisme de la proline. Cet acide aminé, lorsqu'il est ajouté au milieu de culture, permet le développement *in vitro* de tissus de plantes ligneuses à basse température, dans des conditions qui inhibent totalement la croissance tissulaire en l'absence de proline exogène (Gleeson D, 2001).

La proline joue le rôle d'un cryoprotecteur, en protégeant les structures cellulaires particulièrement sensibles à la déshydratation durant l'exposition de la plante à des températures gélives (Delauney et Verma, 1993; Galiba,1994).

L'étude de la matrice de corrélation montre que la proline est corrélée négativement avec la chlorophylle a ( $r=0.641$ ,  $p=0.087$ ), la chlorophylle totale ( $r=-0.639$ ,  $p=0.088$ ) ainsi que le rapport chlorophyllien (a/b) ( $r=-0.700$ ,  $p=0.053$ ). Ces résultats sont en accord avec les travaux obtenus par Tahri et al, 1988 qui ont constaté une augmentation proportionnellement inverse entre la proline et les pigments chlorophylliens. Selon ces auteurs, ces résultats suggèrent l'existence d'une connexion vraisemblable entre les voies de biosynthèse des pigments chlorophylliens et de la proline. Une compétition entre ces deux composés sur leur précurseur commun, le glutamate, peut être à l'origine de cette évolution (Bengston & al.,1978 ; Reddy & Veeranjanyulu, 1991 ; in Tahri et al, 1988 ).



Les résultats obtenus montrent une forte accumulation de la proline durant la saison hivernale. On a enregistré un taux d'augmentation de 300% par rapport au témoin et 100% durant la saison estivale, 90% durant la saison automnale et 70% en printemps. Ceci peut être expliqué par l'effet des températures sur l'accumulation de cet acide aminé chez les semis de pin pignon.

La forte accumulation de la proline durant la saison hivernale correspondant à la tendance observée dans la littérature consignant que les plants stressés aux basses températures accumule la proline. Gleeson D, 2001 a trouvé que la concentration en proline dans les masses embryonnaires et dans les aiguilles de plantules régénérées exprimant le gène P5CS serait 30 fois plus élevée dans les basses températures que dans le témoin non stressé.

Parallèlement à ces résultats, les observations obtenues au cours du stress aux basses températures signalent une augmentation considérable des teneurs en proline au fur et à mesure que la température diminue. Elle est 5 fois plus que le témoin pour la température  $-10^{\circ}\text{C}$ , 3 fois pour la température  $-4^{\circ}\text{C}$  et 2 fois plus pour la température  $-2^{\circ}\text{C}$ . Ces résultats sont soutenus par le test de Newman et Keuls qui dégage 03 groupes dont les températures  $-2^{\circ}\text{C}$  et  $-4^{\circ}\text{C}$  appartenant au même groupe. Tandis que la température  $-10$  et le témoin sont affectée séparément à deux groupes différents.

Cette différence d'accumulation peut être expliquée par l'effet de l'intensité et de la durée du froid sur les semis de pin pignon. Lorsque le séjour au froid n'est pas trop prolongé, et si la température n'est pas trop basse, les plantules retrouvent leur turgescence et ne montre aucune altération après le retour au chaud (Dereuddre et Gazeau in Côme, 1992).

Le taux d'accumulation le plus important est enregistré au niveau de la température la plus basse ( $-10^{\circ}\text{C}$ ). Donc on peut conclure que les effets des températures sont plus graves lorsque celle-ci est basse et à longue durée. Ce type de refroidissement est intense conduit à une cristallisation intracellulaire, c'est à dire la quantité d'eau perdue par la cellule n'est pas suffisante pour éviter la formation des cristaux à l'intérieur des cellules, (Biotard, 2002).

Les taux d'augmentations des teneurs en proline pour les hautes températures sont de l'ordre de 179%, 212%, 335% et 454% respectivement pour les températures 35°C, 40°C, 45°C et 50°C. Les températures 40°C et 45°C sont affectées au même groupe selon le test de Newman et Keuls.

L'accumulation de la proline durant l'endurcissement au froid a été associée à une augmentation de la tolérance au froid chez plusieurs plantes. Dorffling & al., (1998) signalent l'existence d'une relation entre l'adaptation du blé au froid et l'accumulation de la proline. Cependant, les études actuelles suggèrent qu'une augmentation de la proline est uniquement liée au stress. Wanner & Junttila (1999) ont observé que l'accumulation de la proline est retardée d'un jour lors de l'acquisition de la tolérance au gel par *Arabidopsis* et ils ont conclu que cette accumulation est plutôt une conséquence de l'exposition à des basses températures qu'une cause.

Wanner et Junttila (1999) ont démontré qu'une augmentation de la tolérance au froid a été enregistrée chez *Arabidopsis* avant même l'accumulation de la proline, ce qui suggère un rôle secondaire de cet acide aminé dans l'endurcissement au froid.

La concentration de la proline est plus importante au niveau des tiges par rapport à la partie racinaire. Ce ci est en désaccord avec les résultats obtenus par Zerrad & al. (2006) qui montrent qu'il y a une augmentation de la concentration de la proline au niveau des racines par rapport aux coléoptiles lors d'un stress hydrique dans deux variétés du blé dur.

Les différences observées entre les organes de la plante résultent sans doute de transfert de cet acide aminé des parties aériennes vers les racines (Côme, 1992). Ainsi Monneveux et Nemmar (1986) ont confirmé que la dynamique de l'accumulation était indépendante du stade de développement chez le blé tendre.

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 le 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 court du stress.

La matrice de corrélation révèle l'existence d'une corrélation positive entre les teneurs en sucres et la proline ( $r=0.799$ ,  $p=0.017$ ). Les résultats obtenus montrent une forte accumulation des teneurs en sucres solubles durant les saisons hivernale et estivale. On a enregistré 367% durant la saison hivernale, 158% durant la saison estivale, 60% en automne et 55% au printemps. Cette variation saisonnière peut être expliquée par l'effet des températures sur l'accumulation de cet acide aminé. Il semble de ces résultats que les sucres s'accumulent suite à l'exposition des semis de pin pignon aux basses températures hivernales.

On a relevé les mêmes observations durant le stress aux basses températures pour les sucres solubles, les taux d'augmentation sont de l'ordre de 12 fois, 9 fois et 8 fois plus que le témoin respectivement pour les températures  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-4^{\circ}\text{C}$  et  $-2^{\circ}\text{C}$ . Le test de Newman et Keuls répartit les moyennes de chaque température à un groupe selon un ordre décroissant de  $-10^{\circ}\text{C}$  jusqu'au témoin.

Pour les hautes températures, le taux d'augmentation est plus important pour la température  $50^{\circ}\text{C}$ , il est 8 fois supérieur au témoin, alors qu'il est de l'ordre de 6 fois, 5 fois et 4 fois plus que le témoin respectivement pour les températures  $45^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$  et  $35^{\circ}\text{C}$ . Le test de Newman et Keuls révèle pour la température  $40^{\circ}\text{C}$  un groupe intermédiaire entre les températures  $45^{\circ}\text{C}$  et  $35^{\circ}\text{C}$ .

Plusieurs études menées sur les sucres indiquent que leur accumulation se fait au niveau des tissus des plantes ligneuses en réponse à un stress au froid (Bonichel et al., 1987). Bien que la signification physiologique de l'accumulation des sucres n'est pas bien établie, l'évidence détaillée propose que cette accumulation peut être un osmolyte de la résistance au gel.

La variation saisonnière des sucres chez les arbres forestiers et fruitiers a été mise en évidence par plusieurs auteurs (peuplier : Bonichel et al., 1987 ; pommier : Brunel, 2001 ; Lacoïnte et al., 1993) présentant un effet similaire de l'accumulation de l'amidon. Les teneurs maximales en sucres sont observées en hiver (Paker, 1962 ; Fege et Brown, 1984 ; Bonichel et al., 1987 in Ashworth 1993). Après avoir atteint un maximum en début d'automne, l'amidon

est hydrolysé assez rapidement à l'hiver en sucres solubles. Ces sucres solubles permettront d'augmenter la résistance au froid des tissus (Sakai et Larcher, 1987 in Peuch, 2005).

Chez *Populus*, SAUTER 1988b in Decourteix 2005 a également mis en évidence des variations saisonnières de l'efflux de saccharose à +21°C. L'efflux est faible de mai à août (environ 0,5 µg.mg<sup>-1</sup> MS par 24 h), il augmente fortement en septembre-octobre et atteint un premier maximum début novembre (8,3 µg. mg<sup>-1</sup> MS par 24 h) à la chute des feuilles. Ensuite, l'efflux de saccharose diminue temporairement alors que la quantité de sucres continue d'augmenter dans les parenchymes. En hiver, l'intensité de l'efflux augmente à nouveau (5 à 7 µg.mg<sup>-1</sup> MS par 24 h) et ceci coïncide avec une forte quantité de sucres dans les parenchymes. Enfin, fin avril début mai, l'efflux diminue à nouveau bien que la quantité de sucres dans les parenchymes et dans la sève xylémienne soit importante.

L'amidon présent dans les cellules du phloème et du xylème permettrait de retenir l'eau dans les cellules, favorisant ainsi la surfusion (Quamme, 1985).

La teneur en sucres solubles durant la saison hivernale est plus élevée par rapport au témoin, ceci est particulièrement la conséquence de l'hydrolyse de l'amidon au profit des sucres solubles. En conditions naturelles, les changements de teneur en amidon et en sucres solubles, spécialement le saccharose, ont été bien décrits dans les jeunes arbres pendant le cycle végétatif. (Sleigh et al., 1984; Dickson et al., 1990 in Alaoui-Sossé, 1994). Sous l'effet des basses températures, l'amidon est hydrolysé en sucres, spécialement le saccharose (Marvin et al., 1967 in Améglio et al., 2003).

Un seul moyen où les sucres peuvent protéger la cellule pendant une dessiccation sévère (suite à un abaissement de la température) c'est par la formation de glace (Ingram et al., 1996 in Claessens, 1998). Selon Mazur 1969 in Walsh 2005, lors d'un gel la cellule et le liquide qui l'entoure entrent initialement en surfusion. Mais, rapidement, la glace se forme dans la région extracellulaire. Le changement de la perméabilité de la membrane cellulaire permet à l'eau de quitter la cellule pour aller dans les espaces entre les cellules pour ensuite geler là au lieu de geler à l'intérieur de la cellule. Pour certains arbres, quand la température chute assez bas, ce phénomène se produit et, dans le cas des pins, il est visible (les aiguilles peuvent sembler comme gelées puisqu'elles sont rigides et vont se briser si on les plie)

En réponse aux variations thermiques saisonnières, la chlorophylle présente des fluctuations entre les quatre saisons. En hiver et en été, les teneurs en chlorophylle présentent des teneurs inférieures à celles du témoin. Alors que durant la saison printanière les teneurs en chlorophylle sont sensiblement identiques au témoin. En automne, elles présentent des variations progressives. Ces fluctuations peuvent être expliquées par les différences de l'intensité et des durées de l'exposition aux températures.

La réduction de la chlorophylle en hiver peut être expliquée par le raccourcissement de la durée d'ensoleillement, donc des jours plus courts et plus frais et il n'y a plus assez de lumière pour effectuer la photosynthèse. Alors les plantes cessent de fabriquer les sucres (nourriture de l'arbre). La chlorophylle est alors détruite (Saint-Robert, 2003), cela explique la réduction du taux de chlorophylles a et b sous des températures hivernales fraîches.

Il existe des plantes comme le chou de Kerguelen qui possède une stratégie originale pour résister au froid. Cette plante a la particularité (partagée avec certaines plantes alpines) de présenter une photosynthèse très peu influencée par la lumière et toujours active à des températures proches de zéro (Aubert et al., 1999 in Cornic et al., 2007).

Il est intéressant de remarquer que le passage au froid d'une plante s'accompagne souvent, dans un premier temps, d'une diminution des transcrits des gènes CAB (chlorophyll A/B-binding protein) et RBCS (gène codant pour la petite sous-unité de la rubisco) dont la teneur augmente à nouveau lors de l'acclimatation, et ce, bien que la concentration de sucres solubles s'accroît alors dans la feuille (Cornic, 2007). Ceci confirme nos résultats avec les corrélations négatives obtenues entre les chlorophylles a ( $r=-0.965$ ,  $p=0.000$ ), b ( $r=-0.939$ ,  $p=0.001$ ), a+b ( $r=-0.965$ ,  $p=0.000$ ) et a/b ( $r=-0.971$ ,  $p=0.000$ ) avec le sucre (annexe 4). Ces résultats sont surprenants, puisque l'on sait que l'expression de ces gènes est réprimée à température ordinaire lorsque la concentration des sucres solubles augmente : à l'évidence cette régulation disparaît à température basse, ou bien la compartimentation des sucres dans la cellule y est différente, et ceux-ci ne peuvent atteindre les sites actifs de la régulation (Cornic, 2007).

Pour les teneurs en chlorophylle totale durant le stress au froid, les résultats obtenus signalent des diminutions de l'ordre de 50% et 30% par rapport au témoin respectivement pour les températures -10°C et -4°C. Alors que pour la température -2°C, la chlorophylle totale des semis de pin pignon semble être persistante. En ce qui concerne les hautes températures, les résultats obtenus montrent des diminutions pour les températures 45°C et 50°C respectivement de l'ordre de 15% et 50%. Tandis que les teneurs semblent maintenues pour la température 40°C par rapport au témoin et présente une légère augmentation (8%) pour la température 35°C.

La comparaison des résultats obtenus par le stress aux basses et hautes températures montre que le pin pignon présente un large éventail thermique. Les groupes homogènes données par le test de Newman et Keuls affecte généralement les températures -2°C et -4°C ainsi que les températures 35°C, 40°C et 45°C aux mêmes groupes. Alors que les températures -10°C et 50°C ont été classé séparément. Donc on peut conclure que ces températures sont des températures perceptibles mais ne se sont pas des températures létales. Donc les limites thermiques de cette espèce ne sont pas incluses dans l'intervalle de -10°C et 50°C.

La chaleur estivale a provoqué une forte diminution des teneurs en chlorophylle. Les résultats de cette expérience sont en accord avec la tendance généralement recensée dans la littérature. Quant la température dépasse 45°C et 50°C, la photosynthèse s'arrête pratiquement (Diehl, 1975). Parmi les causes possibles expliquant cette inhibition, la destruction des membranes thylakoïdiennes cellulaires: une perte de la compartimentation cellulaire peut en effet inhiber le déroulement des grandes fonctions métaboliques. Il est apparu que l'enveloppe du chloroplaste est plus résistante à la température que les membranes formant les thylacoïdes : c'étaient donc bien les processus se déroulant à l'intérieur du chloroplaste qui étaient endommagés par les températures élevées. (Cornic, 2007)

Les températures élevées peuvent provoquer la fermeture des stomates, la plante se trouve devant une alternative; une fermeture des stomates qui évitera la perte d'eau par évaporation, mais qui empêchera ou diminuera la pénétration du CO<sub>2</sub> ou une ouverture qui assurera l'absorption du CO<sub>2</sub> nécessaire a une bonne activité photosynthétique (Beaumont, 1995).

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. Une étude complète faite sur le concombre et le maïs (Tewari et Tripathy, 1998 in Crnic 2007) montre que cette inhibition est due à une forte diminution de la synthèse d'acide Aminolevulique (ALA). Dans ces conditions l'ALA déshydratase et la porphobilinogène désaminase sont aussi partiellement inhibées. Curieusement l'uroporphyrinogène décarboxylase est stimulée et les coproporphyrinogène oxydase et protoporphyrinogène oxydase ne sont pas affectées. Le système de synthèse est donc affecté principalement à la source : la synthèse d'ALA. On peut donc déduire que la synthèse des cytochromes est aussi affectée par les chocs thermiques.

Les protéines ont aussi connu une augmentation de la concentration en réponse aux variations thermiques saisonnières. On a enregistré une forte accumulation durant la saison estivale 158%, 150% durant la saison printanière, 148% en hiver et 29% seulement en automne. Donc, les protéines s'accumulent suite à un stress à la chaleur

Cette augmentation est due à une activation d'un ensemble de gènes permettant la synthèse des protéines spécifiques associées aux stress tel que les protéines "LEA" qui assure une protection de l'ensemble vitale des protéines cellulaires et les protéines de choc thermique (HSP) qui permettent un maintien des structures protéiques et membranaires de la cellule végétale (Baker et al, 1988)

L'implication des HSP dans le phénomène nommé «thermotolérance» a été démontrée. Les HSP ainsi synthétisées permettent la «renaturation» des protéines et la récupération de l'activité enzymatique (Nguyen et al., 1989 ; Lee et al., 1997 ; Oh et al., 1997; Souren et al., 1999). Les cellules, qui ont été soumises à un pré-choc thermique avant d'être soumises à un autre stress, présentent une résistance accrue lors du deuxième stress.

La fonction commune des Hsp est caractérisée par le terme de «chaperon moléculaire». Le terme «chaperon» fut à l'origine utilisé pour désigner le rôle joué par la nucléoplasmine impliquée dans le transport nucléo-cytoplasmique d'autres protéines (Laskey *et al.*, 1978).

En effet les protéines de choc thermique interagissent avec les protéines immatures ou anormales, inhibant ainsi leur agrégation et augmentant l'efficacité de leur (re)-mise en conformation tridimensionnelle adéquate (Burel *et al.*, 1992)

Le rôle des HSP dans l'acclimatation à la chaleur est bien connu. Pour des plantules d'*A. thaliana* non transformées ou transformées, sur-exprimant ou sous-exprimant la HSP101, sont exposées 2 heures à 45°C (température létale) avec ou sans un durcissement préalable à 38°C pendant 90 minutes. Toutes les plantes (transformées ou non) sont tuées à 45°C, si elles n'ont pas été exposées préalablement à 38°C. Après une exposition à 38°C, seules les plantes sous-exprimant les protéines sont tuées à 45°C (Cornic, 2007).

Toutefois, Burke *et al.* (1988) suggèrent qu'en cas d'élévation de la température cellulaire on assisterait à une diminution de l'efficacité du système de transport membranaire des sels et ions métalliques : ce serait une action directe de la température élevée sur les pompes transmembranaires. La diminution de l'activité de ces pompes à travers la plasmalemme et le tonoplaste pourrait résulter d'une altération de l'activité du transport ionique, par exemple du calcium ou de métaux (aluminium, fer, cuivre et cadmium). La plupart des stress, sinon tous, étudiés en conjonction avec les chocs de températures (Dubois, 1991).

En fonction des organes, l'accumulation des protéines est plus importante au niveau des anciennes et des nouvelles pousses par rapport aux racines. Nos résultats sont en accord avec la tendance généralement recensée dans la littérature voulant que le système racinaire soit moins affecté que la partie aérienne en cas de stress. Heller (1989) signale que les protéines se rencontrent dans toutes les feuilles qui en sont le principal lieu de synthèse et dans les organes de réserves à 1-3% d'azote protéique.

Les températures basses induisent aussi des changements dans les protéines, les activités enzymatiques et les structures membranaires. Contrairement au choc de chaleur dont le rôle physiologique n'est pas connu, les températures basses sont responsables de l'évolution physiologique des plantes, telle que la vernalisation ou l'acclimatation au froid. Le choc de froid induit, comme pour les températures élevées, des changements au niveau des protéines, qui sont différentes des HSP induites par la chaleur (Cornic, 2007).



L'accumulation des protéines durant la saison froide accuse un taux d'augmentation de 148% .Selon Naidu et al. (1991), l'accumulation d'acides aminés chez les plantes exposées aux températures froides serait causée par :

- une réduction de la synthèse protéique ;
- une inhibition de l'utilisation des acides aminés dans le cycle respiratoire ;
- une activité respiratoire réduite induisant l'accumulation de certains composés intermédiaires (pyruvate, 2-oxoglutarate) favorisant ainsi la synthèse de certains acides aminés.

Une augmentation de la concentration des protéines totales durant l'endurcissement au froid a été documentée chez plusieurs plantes (McKenzie et al. 1988). Houde et al. (1992) ont isolé une protéine thermostable (Wsc 1 ZO), lié à dehydrins, du blé acclimaté au froid et a trouvé une corrélation entre l'accumulation de cette protéine et la tolérance au froid du blé.

Dionne (2001) a suggéré que la mobilisation des hauts niveaux de protéines et d'autres acides aminés qui se sont accumulés dans le pâturin annuel, originaire du Québec Central, peut être exigé pour fournir l'énergie et les substances nutritives exigées pendant la longue période d'hiver et la repousse de printemps. L'acquisition de tolérance au gel et les niveaux de pointe de protéines solubles en couronnes ont coïncidé avec le maximum de la tolérance au gel du pâturin annuelle.

L'augmentation des polypeptides solubles spécifiques et des protéines thermostable indique une sensibilité au froid et dans certains cas, leur accumulation maximale coïncide avec le maximum de tolérance au froid (Julie Dionne, 2001).

Pour l'ADN et ARN, les résultats obtenus montrent une diminution des teneurs durant les quatre saisons en particulier la saison estivale. Les résultats de cette expérience sont en accord avec la tendance généralement recensée dans la littérature. En effet, bien qu'un stress thermique de 42 °C induit une perte de 75 % des polyribosomes (Duncan et Hershey 1989).

En 1980, Storti et al ont découvert que lors d'un stress thermique les ARNm de la drosophile ne sont pas détruits ni désactivés de manière permanente, et ce, même s'ils ne sont pas traduits.

Lorsque les cellules eucaryotes sont soumises à un choc thermique, elles répondent par une multitude de réponses spécifiques aux différentes organelles de la cellule (Nover et al. 1984). Or l'une des premières réponses observables est une diminution de 90 % du rythme de la synthèse protéique (Duncan et Hershey 1989). Cette baisse de la synthèse protéique semble être provoquée par une diminution du nombre de polyribosomes causée par une inhibition de l'initiation de la traduction suivie d'une fuite, ou run off, des ribosomes des ARNm (Heine et al. 1971, Oleinick 1979, Duncan et Hershey 1989).

Il est probable que cette inhibition de la traduction soit causée par des modifications post- traductionnelles de certaines protéines impliquées dans la traduction (Duncan et Hershey 1984). Un exemple serait la phosphorylation du facteur d'initiation de la traduction eIF2.

En effet, lors de stress thermique à des températures supérieures à 43 °C il existe une corrélation entre la phosphorylation de eIF2 et l'inhibition de la traduction (Duncan et Hershey 1989). Or il est reconnu que la phosphorylation de eIF2 inhibe son activité, ce qui a pour effet d'empêcher l'initiation de la traduction (Farrell et al. 1977). De plus, cette phosphorylation est réversible après le stress, ce qui permet de récupérer rapidement les polysomes et ainsi le niveau basal de traduction après le stress (Duncan et Hershey 1984, Duncan et Hershey 1989, Laszlo 1992). Par contre, la phosphorylation de eIF2 ne semble pas être le seul mécanisme responsable de l'inhibition de la traduction lors de la réponse au stress.

## *Références Bibliographiques*

**ABBAS S., 1999**, Aménagement hydraulique de Sétif-Hodna, Actes des *Journées techniques*

*sur les barrages*, A.N.B., Biskra, 17-18 Mars 1999, pp. 46-55

**Alexandrian, 1982**. Le pin pignon. Rev.For.M2dit.Tome IV. N° 2,pp 16.20.

**Alexandrian,1986**. Le choix des essences de reboisements en région méditerranéenne Française : un exemple de liason station – production. CEMAGREF.pp5.63

**Allen G.J., Chu S.P., Schumacher K., Shimazaki C.T., Vafeados D., Kemper A., Hawke S.D.,**

**Aloui., Sossé B., Cielec Parmentier, Pierre Dizengremel and Paul Bernola.** Rhythmic growth and carbon allocation in *Quercus robur*. Strach and sucrose. Plant physiol. Biochem 1994. 323,331.339.

**Améglio, T 2003**. Une sensibilité accrue au gel d'automne liée aux changements climatiques. [ameglio@clermont.inra.fr](mailto:ameglio@clermont.inra.fr)

**Andrews, C.J.** 1987. Low-temperature stress in field and **forage** crop production - **anoverview**. **Can. J. Plant Sci.** 67 : 1121-1 133.

- A.N.R.H. (1993).** Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000 (2 feuilles, une notice de 49 p). Ministère de l'Équipement, Alger, Ed. I.N.C.
- Arrigo, A.P., J. Landry.** 1994. Expression and function of the low molecular weight heat shock proteins. In *The Biology of Heat Shock Proteins and Molecular Chaperones*. R.I. Morimoto, A. Tissière, and C. Georgopoulos, eds. Cold Spring Harbor Laboratory press, pp. **335.373**.
- Artigo, A.P., W. J. Welch.** 1987. Characterization and purification of the small 28,000 dalton mammalian heat shock protein. *J. Biol. Chem.* 262: **15359.1 5369**.
- Baker J, Steele C, Dure L III** 1988 Sequence and characterization of 6 *lea* proteins and their genes from cotton. *Plant Mol Biol* **11**: 277.291
- Barral Y., Jentsch S., Mann C** 1995 G1 cyclin turnover and nutrient uptake are controlled
- Becker, J. et Craig, E.A.** 1994 Heat shock proteins as molecular chaperones. *Eur. J. Biochem.* **219**, 1 1.23.
- Beckmann, R.P., Mizzen, L.E., Welch, W.J.** 1990 Interaction of Hsp 70 with newly synthesized proteins: implications for protein folding and assembly. *Science* **248**, 850.854.
- Bellinger Y., Larher F. (1987).** Proline accumulation in higher plants: a redox buffer .
- Berneir A** 1997. Etude des caractéristiques structurales Phospho-dépendante de la protéine
- Bezzala, A** 2005. Essai d'introduction de l'arganier *Argania spinosa* à Sidi el-Hadid dans la zone de Doulet et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse Mémoire pour l'obtention du diplôme de magistère en sciences agronomiques. Option : Forêt et conservation des sols 107p.
- Bianchi G., Gamba A., Murelli C., Salamini F., Bartels D** 1991 Novel carbohydrate metabolism in the resurrection plant *Craterostigma plantagineum*. *Plant J* **1**: 355.359
- Boitard M., Raffaud., Gazeau C, 2002** . Les végétaux et les basses températures.
- Bourion V., Lejeune-Hénaut I., Munier-Jolain N., Salon C. (2003).** "Cold acclimation of winter and spring peas: carbon partitioning as affected by light intensity." *Europ. J. Agronomy* 19: 535-548.
- Blume B., Nürnberger T., Nass N., Scheel D, 2000** .. Receptor-mediated increase in cytoplasmic free calcium required for activation of pathogen defense in parsley. *Plant Cell*, **12** : 1425.1440.
- Bonicel A., Haddad, G., Gagnaire J., (1987).** Seasonal variations of starch and major soluble sugars in the different organs of young poplars. *Plant Physiol. Biochem.* 25, 451-459.

**Bögre L., Ligterink W., Heberle.Bors E., Hirt H,** 1996 . Mechanosensors in plants. *Nature*, **383** : 489.490.

**Braam J., Sistrunk ML., Polisensky DH., Xu W., Purugganan MM., Antosiewicz DM., Campbell P., Johnson KA,** 1997. Plant responses to environmental stress: regulation and functions of the Arabidopsis TCH genes. *Planta* **203**: 35.41

**Bukau**1999. Identification of thermolabile Escherichia coli proteins: prevention and reversion of aggregation by DnaK and ClpB. *Embo J* **18**: 6934.6349

**Burke JJ., Orzech A** 1988. *Plant, cell and environment* ; 11 : 441.444.

**Burkle L., Hibberd JM, Quick WP, Kuhn C, Hirner B, Frommer WB** 1998. The H<sup>+</sup> sucrose cotransporter NtSUT1 is essential for sugar export from tobacco leaves. *Plant Physiol.* 118:59.68

**Bush DS** 1995. Calcium regulation in plant cells and its role in signaling. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, **46** : 95.122.

**Chaisompongopan, N., Li, P.H., DavisD.W., Mackhart, A.H, 1190.** Photosynthétic responsees to heat stress in common bean genotypes differing in heat acclimation potential. *Crop Sci* .30 : 100-104.

**Chandra S., Low PS** 1995 . Role of phosphorylation in elicitation of the oxidative burst in cultured soybean cells. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **92** : 4120.4123.

**Choi et F. T., Tsai** 2004. The ClpB/Hsp104 molecular chaperone.a protein disaggregating machine. *J Struct Biol* **146**: 99.105.

**Chowdhury S., Smith KW., Gustin MC** 1992 Osmotic stress and the yeast cytoskeleton: phenotype-specific spression of an actin mutation. *J Cell Biol* **118**: 561.571

Cochard C. Picon., A. Claud., A. Gutknecht., F. Lacroix, L. Coll, P. Balandier 2003 **Croissance et efficience d'utilisation des ressources du pin sylvestre soumis à une concurrence herbacée**

**Côme., 1992.** Les végétaux et le froid .Hermann éditeurs des sciences et des art, Paris.600p.

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

**Costa .P,** 1999. Réponse moléculaire, physiologique et génétique du pin maritime à une contrainte hydrique. PhD thesis, Université Henri Poincaré Nancy I, F

**Cote M., 1998a,** Les régions bioclimatiques de l'Est algérien, *Rhumel*, n° 6, pp. 57.71.

**Covic L, Silva NF, Lew RR, 1999** . Functional characterization of ARAKIN ATMEKK1: a possible mediator in an osmotic stress response pathway in higher plants. *BBA*, **1451** : 242-254.

**Craig EA. 1989**. Essential roles of 70 Kd a heat inductible proteins. *Bio Essays* ; 11 : 2.3 et 5.1.52.

**Creelman RA., Mullet JE, 1991** Water deficit modulates gene expression in growing zones of soybean seedlings. Analysis of differentially expressed cDNAs, a new  $\beta$ -tubulingene, and expression of genes encoding cell wall proteins. *Plant Mol Biol* **17**: 591-608

**Crowe JH., Hoekstra FA., Crowe LM 1992a** Anhydrobiosis. *Annal Rev physiol* **54**: 579-599  
De choc thermique hsp27. 84p.

**Daniells J. (1993)**. Choke threat of bananas. *Queensland Fruit and Vegetable News*, March. 11, p.

**Dagnelie P. 2006**. Statistique théorique et appliquée au volés un et deux dimensions. Université de Boeck et Larcier (Belgique). p 560-630.

**Davis D L., Gilbert W B. (1970)**. Winter hardiness and changes in soluble protein fractions of bermudagrass. *Crop Sci*, 10:7-9.

**Decourteix M. (2005)**. Caractérisations physiologique et moléculaire de transporteurs de saccharose et d'hexoses de xylème de noyer (*Juglans regia* L. cv Franquette) : rôles dans les échanges latéraux de sucres pendant la période non-feuillée. Thèse de docteur d'université. Université de Blaise Pascal. 88pp.

**De Granville j. J. 1971**. Étude bioclimatique l'archipel des canaries. 30p

**Delauney A J., Verma D P S. (1993)**. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant J*. 4: 215-223.

**Déjardin A., Sokolov LN., Kleczkowski LA 1999** Sugar/osmoticum levels modulate differential abscisic acid-independent expression of two stress-responsive sucrose synthase genes in Arabidopsis. *Biochem J* **344**: 503-509

**Dörffling K M., Abromeit U., Bradersen H., Melz G. (1998)**. Involvement of abscisic acid and proline in cold acclimation of winter wheat. In *plant cold hardiness*. Li and Chen Ed. Pergamon Press, New York. pp. 283-292.

**Diehl R., 1975** .Agriculture générale deuxième édition Balliere et fils. 396p.

**Dionne J, 2001** . Protection hivernale et tolérance au froid du Paturum annuel *Poa annua*. Var – reptans .thèse présentée à la faculté des études supérieures de l'université Laval pour l'obtention du grade philosophiae Doctor. 47p.

**Dionne Julie 2001**. Protection hivernale et tolérance au froid du Pâturin Annuel *Pea annua*. *Plant J*.4 : 215-223.

**Dixon R., Paiva NL** 1995 Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *The plant cell* **7**: 1085.1097.

**Dörfling., K. ., Askman, A. 1989.** – Relationship between frost tolerance and formation of proline, abscisic acid and specific proteins in cold hardened winter wheat *Triticum aestivum* varieties. *XII Eucarpia Congress*.

**Dubois J, 1991.** Les choc thermique et leur application. amélioration des plantes pour l'adaptation au milieu. Ed: AUPELF . UREF. John Eurotext Paris. pp 159.163.

**Dubois .M., Gillesk L., Hamilton J.K ., Rberg P.A., Smith F., 1956.** Coloremtric method for sugar and related substances. *Analatycal. Chemistry*. Vol.28

**Dubos C, Plomion C, 2001** Drought differentially affects expression of a PR.10 protein, in needles of maritime pine *Pinus pinaster* Ait seedlings. *J Exp Bot* **In press**

**Duncan, R., Hershey, J. W. 1984** Heat shock-induced translational alterations in HeLa cells. Initiation factor modifications and the inhibition of translation. *J.Biol.Chem.*, **259**, 11882.11889.

**Duncan, R. F. ., Hershey, J. W. 1989** Protein synthesis and protein phosphorylation during heat stress, recovery, and adaptation. *J.Cell Biol.*, **109**, 1467.1481.

**Ellis, R.J. 1 1990** The molecular chaperone concept. *Semin. Cell Biol.* **1**, 1.9.

**Ewing RM., Kahla AB., Poirot O., Lopez F., Audic S., Claverie J.M 1999** Large-scale analyses of rice ESTs reveal correlated patterns of gene expression. *Genome Research* **9**: 950.959

**Farrell, P. J., Balkow, K., Hunt, T., Jackson, R. J., Trachsel, H. 1977** Phosphorylation of initiation factor eIF.2 and the control of reticulocyte protein synthesis. *Cell*, **11**, 187.200.

**Felix G., Grosskopf DG., Regenass M., Boller T 1991** . Rapid changes of protein phosphorylation are involved in transduction of the elicitor signal in plant cells. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **88** : 8831.8834.

**Felix G., Regenass M., Spanu P., Boller T 1994** . The protein phosphatase inhibitor calyculin A mimics elicitor action in plant cells and induces rapid hyperphosphorylation of specific proteins as revealed by pulse labeling with [33P]phosphate. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **91** : 952.956

**Foucard J.C, 1994** . La protection des plantes contre les stress et accident climatiques. Filière pépinière de production à la plantation TEC et DOC . Lavoisier. ISBN N°02. pp297.303  
genes. *Fundam appl Nematol* **21**:81.88

**Galiba G. (1994).** In vitro adaptation for drought and cold hardiness in wheat. *Plant Breeding Reviews* **12**: 115-162.

**Gonzalez ., Olmedo J., Cordova H., Aragon C.E., pinad rivas M., Rodreguez R, 2005.** Effet d'un analogue de Brassinoïde sur plantules de FHIA – 18 exposées à un stress thermique. information a –Vol 14 N°01 p18.19.

**Grab D., Feger M., Ebel J 1989 .** An endogenous factor from soybean *Glycine max* L. cells activates phosphorylation of a protein which is dephosphorylated *in vivo* in elicitor.challenged cells. *Planta*, **179** : 340.348.

**Grime, J. P. 1989.** Whole.plant responses to stress in natural and agricultural systems Plants under stress. H. G. Jones, T. J. Flowers and M. B. Jones. New York, Cambridge University Press: 31.46

**Gleeson D., Lelu-Walter MA., Parkinson M, (2006).** Overproduction of proline in transgenic hybrid larch (*Larix x leptoeuropaea* Dengler) cultures renders them tolerant to cold, salt and frost. *Mol Breeding*; **15** : 21-9.

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

**Hare, P.D., W.A. Cress. 1997.** Metabolic implications of stress.induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regu!*. **21** : **79**. 102.

**He C., Haw Tien Fong S., Yang D., Wang G.L 1999 .** BWMK1, a novel MAP kinase induced by fungal infection and mechanical wounding in rice. *Mol. Plant.Microbe Interact.*, **12** : 1064.1073.

**Heine, U., Sverak, L., Kondratik, J., Bonar, R. A. 1971** The behavior of HeLa.S3 cells under the influence of supranormal temperatures. *J.Ultrastruct.Res.*, **34**, 375.396.

**Heller. R avec la collaboration de R.Esnault Clance 1989.** Physiologie végétal T1. Nutrition.

**Hopkins William G. 2003.**La physiologie végétale. 463p.

**Houde, M., J. Danyluk, J.F. Laliberté, E. Rassart, R.S. Dhindsa, and F. Sarhan 1992.**Cloning, characterization, and expression of cDNA encoding a 50.kilodalton protein specifically induced by cold acclimation in wheat. *Plant Physiol.* **99**: 138 1.1387.

**Houde, M., J. Danyluk, J. F. Laliberté, E. Rassart, R.S. Dhindsa, and F. Sarhan 1992.**Cloning, characterization, and expression of cDNA encoding a 50.kilodalton protein specifically induced by cold acclimation in wheat. *Plant Physiol.* **99**: 138 1.1387

**Hoyos ME., Zhang S, 2000 .** Calcium.independent activation of Salicylic acid.Induced Protein Kinase and a 40.kilodalton protein kinase by hyperosmotic stress. *Plant Physiol.*, **122** : 1355.1363.

**I.F.N, 2000.** Caractéristiques générales de pin pignon. Inventaire forestier national. pp 111. 112.



- Ishitani M., Nakamura T., Han SY., Takabe T** 1995. Expression of the betaine aldehyde dehydrogenase gene in barley in response to osmotic stress and abscisic acid. *Plant Mol Biol* **27**: 307.315
- Isolation and expression analysis of two stress-responsive sucrose synthase genes from
- Johnston C.S., Jones R.G. Hunt R.D.** 1977 A seasonal carbon budget for a laminarian population in Scottish sea loch. *Helgol Wiss Meeresunters* **30**, 527 45
- Jonak C., Ligterink W., Hirt H** 1996 . MAP kinases in plant signal transduction. *Cell Mol. Life Sci.*, **55** : 204.213
- Jones JT., Harrower., BE** 1998 A comparison of the efficiency of differential display and cDNA.AFLPs as tools for the isolation of differentially expressed parasite
- Jourdan. S, 2005.** Queues de renard et fructification anormale de *Pinus caribaea* Morelet en Polynésie Française : essai d'interprétation évolutive
- Khouja. M, 2006.** Bilan des essais de provenance de pin pignon installée en Tunisie.
- Kleines M., Elster R.C., Rodrigo M.J., Blervacq A.S., Salamini F., Bartels D** 1999
- Knight H., Trewavas A.J., Knight M.R.** 1997. Calcium signalling in *Arabidopsis thaliana* responding to drought and salinity. *The Plant Journal* **12** : 1067.78.
- Kurkela S., Franck M., Heino P., Lang V., Palva ET. 1988.** Cold induced gene expression in *Arabidopsis thaliana* plant *Cell Reports Z.* pp. 495.498.
- Lacointe A., Kajji A., Daudet FA., Archer P., Frossard JS** 1993 Mobilization of carbon reserves in young walnut trees. *Acta bot. Gallica* **140**:435.441
- Laskey R.A., Honda B.M., Mills A.D., Finch J.T.** Nucleosomes are assembled by an acidic protein which binds histones and transfers them to DNA. *Nature*, 1978, **275**, 416.420.
- Laszlo., A. 1992** The effects of hyperthermia on mammalian cell structure and function. *Cell Prolif.*, **25**, 59.87.
- Lowry., O.H., N. J. Rosebrough, A.L. Farr, and R. J. Randall** 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* **193**:265.275.
- Ledig F. T. 1981.** The influence of genotype and environment on dry matter distribution in plants. In : HUXLEY, P. A, ed. Plant research and agroforestry, Proc Consultative Meeting, International council for research in agroforestry, Nairobi, 427 . 54.**Lee, S., M. E. Sowa, J. M.**
- Lamnaouer D 2002.** Détermination des espèces en danger dans le Parc National d Toubkal. Programme de l'UICN en Afrique du Nord : Phase III Etat d'avancement.
- Levinson W., Oppermann H., Jackson J.** Transition series metals and sulfhydryl reagents induce the synthesis of four proteins in eukaryotic cells. *Biochim. Biophys. Acta*, 1980, **606**, 170.180.

**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 pp

**Lichtenthaler H K. (1996).** Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. *Journal of Plant Physiology* 148: 4-14

**Lindquist., S. 1986.** The heat shock response. *Annu. Rev. Biochem.* 55: **11 51 .1 191**

**Llesuy., S.F. et Tomaro, M.L. 1994** Herne oxygenase **and** oxidative stress.Evidence of involvement of bilirubin as physiological protector against oxidative damage. *Biochim. Biophys. Acta* **1223,9. 1 4.**

**Loullou ZE.,1987.** Analyse des reboisements en pin pignon dans la région de Mostaganem : Contribution à l'étude dendrométrique. Mém. Ing. Ins.Agro. Alger, 90p.

**Mahan , J.R., Burke , J.J , Orzech, K.A.1987.** The ' thermalKinetic window' as an indicator of optimum plant temperature. *Plant Physiol.*82 : 518-522.

**Maines., MD. 1988** Herne oxygenase: function, multiplicity, regulatory mechanisms, and clinical applications. *FASEB J:* 2,2557.2568.

**Martin, J., Horwich, A.L., et Hartl, F.U. 1992** Prevention of protein denaturation under heat stress by the chaperonin Hsp60. *Science* 258, 995. 998.

**Mathieu Y., Sanchez FJ., Droillard M.J., Lapous D., Laurière C., Guern J** 1996b . Involvement of protein phosphorylation in the early steps of transduction of the oligogalacturonide signal in tobacco cells. *Plant Physiol. Biochem.,* **34** : 399.408.

**Mauriès, M, 1998.** "module de production et gestion du système fourrager' cahier luzerne, C.E.E

**Mogk., A., T. Tomoyasu., P. Goloubinoff., S. Rudiger., D. Roder, H. Langen et B.**

**McKenzie., J.S., R. Paquin., S.H. Duke** 1988. Cold and heat tolerance. In : Hanson,A.A., Barnes, D.K., and Hill, R.R. , Jr eds *Alfafa and alfafa irnprovement.* Agronomy monograph No. 29, ASA, Madison, WT, pp. 259.302.

**Mary I. (2003).** Mécanismes moléculaires de la réponse aux stress environnementaux chez la cyanobactérie marine *prochlorococcus*. Biologie .Université de Rennes.147pp.

**Minitab (2000).** MINITAB release 13, Minitab inc, State college, PA, USA.

**Monneveux P., 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. : étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, 6, 583.590.

**Monroy.ata A., Floret Ch., Pontanier R., Rambal S. 1988.** Rapport entre la biomasse racinaire et aérienne de plantes pérennes de la zone aride pendant la période d'installation. In : DI CASTRI, F., FLORET, Ch., RAMBAL, S., ROY, J, eds. Time scales and water stress. *Plant : UIBS pub*, 247 . 53.

**Nguyen.Querens A., Derré N., Lamant A., Seillac P 1995** Tolérance au chlorure de sodium et sélectivité Na/K chez 3 races géographiques de pin maritime *Pinus pinaster* Ait. *Ann Sci For* 52: 465.475

**Naidu, B.P., L.G. Paleg, D. Aspinall, A.C. Jennings., G.P. Jones 1991.** Amino acid and glycine betaine accumulation in cold.stressed wheat seedlings. *Phytochem.* 30:407.409.

**Nover, L., Hellmund, D., Neumann, D., Scharf, K. D., Serfling, E. 1984** *Heat Shock Response of Eukaryotic Cells.* veb Georg Thieme Leipzig, New York.

**Oleinick., N. L. 1979** The initiation and elongation steps in protein synthesis: relative rates in Chinese hamster ovary cells during and after hyperthermic and hypothermic shocks. *J.Cell Physiol*, 98, 185.192

**O.N.M. (2006).** Office nationale météorologique. Données météorologiques (période de 36 ans et les données thermiques tri-horaires de l'année 2007).

**Orcutt D. M., Nilsen E T. (2000).** The physiology of plants under stress. New-York, John Wiley and Sons, Inc.

**Peuch M, 2005:** Caractérisation des flux de nutriments carbonés entre les vaisseaux du xylème et les bourgeons végétatifs de Noyer *Juglans regia* cv Franquette au cours du repos: implication dans la mise en place de la ramification. Master en Biodiversité et fonctionnement des Ecosystèmes. 27p

**Quezel, 1980.** Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. Actualité d'écologie forestière. Ed Bordas, 205.257.

**Sauter J.J 1988b :** Temperature induced changes in starch and sugars in stems of *Populus x canadensis* « robusta ». *J. Plant Physiol.*, 132, 608.612

**Sasabe M, Takeuchi K, Kamoun S, Ichinose Y, Govers F, Toyoda K, Shiraishi T, Yamada T 2000 .** Independent pathways leading to apoptotic cell death, oxidative burst and defense gene expression in response to elicitor in tobacco cell suspension culture. *Eur. J. Biochem.*, 267 : 5005.5013.

**Souren J.E., Wiegant F.A., Van wijk R.** The role of hsp70 in protection and repair of luciferase activity in vivo; experimental data and mathematical modelling. *Cell Mol. Life Sci.*, 1999, 55, 799.811.

**Senioniti, E., Manetos, Y., Gavales, N.A.** 1986. Co-operative effects of light and temperature on the activity of phosphoenolpyruvate carboxylase from *Amaranthus paniculatus*. *Plant Physiol.* 82: 518-522.

**Tallman G., Tsien R.Y., Harper J.F., Chory J., Schroeder J.I.** 2000 Alteration of stimulus-specific guard cell calcium oscillations and stomatal closing in *Arabidopsis det3* mutant. *Science*. 29:2895-2898.

**Walsh A,** 2005. Dégâts du gel sur les plantes ligneuses traduit de l'anglais par Jean-Christophe.

**Wanner, L.A., O. Junttila** 1999. Cold-induced freezing tolerance in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 120:391-399.

**Munnik T, Ligterink W, Meskiene I, Calderini O, Beyerly J, Musgrave A, Hirt H** 1999. Distinct osmo-sensing protein kinase pathways are involved in signalling moderate and severe hyperosmotic stress. *Plant J.*, 20 : 381-388.

**Nathan, D.F., Vos, M.H., Lindquist, S.** 1997 In vivo functions of the *Saccharomyces cerevisiae* Hsp90 chaperone. *Proc.Natl. Acad.Sci. U.S.A.* 94, 12949-12956.

**Neuwald, A. F., L. Aravind, J. L. Spouge et E. V. Koonin** 1999. AAA+: A class of chaperone-like ATPases associated with the assembly, operation, and disassembly of protein complexes. *Genome Res* 9: 27-43.

**Ning Li F, Johnston M** 1997 Grr1 of *Saccharomyces cerevisiae* is connected to the ubiquitin proteolysis machinery through Skp1: coupling glucose sensing to gene expression and the cell cycle. *EMBO J* 16: 5629-5638

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

**Ossola, J.O., Tomaro, M.L.** 1995 Herne oxygenase induction by cadmium chloride: evidence for oxidative stress involvement. *Toxicology* 104, 141-147.

**Parsell, O. A., S. Lindquist.** 1994. Heat shock protein and stress tolerance, **RI. Morimoto, T. Tissières, and C. Georgopoulos ed.,** in *The biology of heat shock proteins and molecular chaperones*. Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor.

**Pelham, H. R. B., M. Bient.** 1986. A synthetic heat shock promoter element confers heat inducibility on the herpes simplex virus thymidine kinase gene. *EMBO J.* 1 : 1473-1477.

**Peng Z, Lu Q, Verma DPS** 1996 Reciprocal regulation of synthase and proline dehydrogenase genes controls proline levels during and after osmotic stress in plants. *Mol Gen Genet* 253: 334-341

**Plesobky, N., R. Btambli.** 1990. Gene sequence and analysis of hsp30, a small heat shock protein of *Neurospora crassa* which associates with mitochondria. *J. Biol. Chem.* 265: 15432-15440.

**Plieth C.** 1999 Temperature Sensing by Plants: Calcium-Permeable Channels as Primary Sensors. A Model. *J. Membrane Biol.* 172, 121.127

**Pontier D, Balagué C, Roby D** 1998 . The hypersensitive response. A programmed cell death associated with plant resistance. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **321** : 721.734.

**Sanchez, Y., Taulien, J., Borkovich, KA., et Lindquist, S.** 1992 Hsp104 is required for tolerance to many forms of stress. *EMBO J*: 11,B 57.23 64.

**Sanders, B.M.** 1993 Stress proteins in aquatic organisms: an environmental perspective. *Crit. Rev. Toxicol.* 23,49.75.

**Savouré A., Jaoua S., Hua XueJun., Ardiles W., van Montagu M., Verbruggen N** 1995 Isolation, characterization, and chromosomal location of a gene encoding the DELTA 1. pyrroline.5-carboxylate synthetase in *Arabidopsis thaliana*. *FEBS Letters* **372**: 13.19

**Schirmer, E. C., J. R. Glover, M. A. Singer et S. Lindquist** 1996. HSP100/Clp proteins: a common mechanism explains diverse functions. *Trends Biochem Sci* **21**:289.296.

**Schlesinger., M. J.** 1985. Heat shock proteins: the search for functions. *J. Cell Biol.* 103: 321 .325.

**Schneider., C., Sepp.Lorenzino, L., Nimrnesgem, E., Ouerfelli, O., Danishefsq, S., Rosen, Ney et Hartl, F.U. 1** 1996 Pharmacologie shifting of abalance between protein refolding and degradation mediated by Hsp90. *Proc.Natl.Acad.Sci.U.S.A.* **93**, 14536.14541.

**Skowyra, D., Georgopoulos, C., et Zylicz, M.** 1990 The E. coli dnaK gene product, the hsp70 homolog, can reactivate heat. inactivated RNA polymerase in an ATP hydrolysis.dependent manner. *CelZ* 62,93 9.944.

**Stratmann JW., Stelmach BA, Weiler EW, Ryan CA** 2000 . UVB/UVA radiation activates a 48 kDa myelin basic protein kinase and potentiates wound signaling in tomato leaves. *Photochem.Photobiol.*, **71** : 116.123.

**Storti, R. V., Scott, M. P., Rich, A. et Pardue, M. L.** 1980 Translational control of protein synthesis in response to heat shock in *D. melanogaster* cells. *Cell*, **22**, 825.834.

**Suzuki K., Shinshi H** 1995. Transient activation and tyrosine phosphorylation of a protein kinase in tobacco cells treated with fungal elicitor. *Plant Cell*, **7** : 639.647

**Tavernier E., Wendehenne D, Blein JP, Pugin A** 1995 . Involvement of free calcium in action of cryptogin, a proteinaceous elicitor of hypersensitive reactions in tobacco cells. *Plant Physiol.*, **109** : 1025.1031.

**Udvardy, A. 1993** Purification et caractérisation d'un multiprotéinien d'un complexe protéolytique de *Drosophila* 26 S 1500 B. *J. Biol. Chem.* 268,9055-9062.

**Viard M.P., Martin F., Pugin A., Ricci P., Blein J.P 1994** . Protein phosphorylation is induced in tobacco cells by the elicitor cryptogéin. *Plant Physiol.*, **104** : 1245-1249.

**Vile, G.F., Tyrrell., R.M. 1993** Oxidative stress resulting from ultraviolet A irradiation of human skin fibroblasts leads to a heme oxygenase-dependent increase in ferritin. *LBioZ. Chem.* 268, 14678. 1468 1.

**Xu D., Duan X., Wang B., Hong B., Ho TD., Wu R 1996** Expression of a late embryogenesis abundant protein gene, HVA1, from barley confers tolerance to water deficit and salt stress in transgenic rice. *Plant Physiol* **110**: 249-257

**Xu, Y., S. Lindquist. 1993.** Heat shock protein HSP90 governs the activity of p60<sup>src</sup> kinase. *Proc Natl. Acad. Sci. USA.* 90: **7074-7078.**

**Yoshida Y., Kiyosue T., Katagiri T., Ueda H., Mizoguchi T., Yamaguchi Shinozaki K., Wada K., Harada Y., Shinozaki K 1995** Correlation between the induction of a gene for DELTA 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase and the accumulation of proline in *Arabidopsis thaliana* under osmotic stress. *Plant Journal* **7**: 751-760

**Ounnes A, 2001** . quantification de la croissance de pinus pinea, dans le sous secteur littoral algérois. Thèse de magistère, I.N. A El Harrach.91p.

**Rigling A., Matthias D., Matthias., Urs G, Elisabeth G P., Felix G, Ursula H, Janina P., Martine R., Daniel R., Weber P., Wermelinger B., Wohlgenuth T 2006.** Les chênes pubescents chassent-ils les pins sylvestres valaisans?

**Sbay et al, 2006.** Amélioration de Pinus Pinea au Maroc.

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

**Zanndouche O, 2000** . Etude comparative de la croissance de trois espèces forestières : Pinus pinea L, Pinus pinaster Ait et Pinus canariensis Ch. switch. Aspect éco.dendrométrique. Thèse de magistère. Université. Mouloud Mammeri. Tizi.Ouzou.100p.

## *Conclusion*

Les travaux présentés dans cette thèse ont porté sur l'adaptation des semis du pin pignon dans un climat semi-aride. Le présent travail est divisé en deux volets. La détermination des limites thermiques de l'espèce par l'application d'un stress thermique de haute et de basse température. Et la caractérisation de sa réponse éco physiologique aux variations thermiques saisonnières et mensuelles au cours de l'année 2006-2007.

Toutefois, un suivi au champ de la survie et de la croissance des plants a été effectué pour des jeunes plants cultivés en pleine terre, pour confirmer d'introduire cette espèce dans notre région à climat semi aride

Sur le plan morphologique on a enregistré une croissance maximale durant la saison printanière pour la hauteur de la partie aérienne et souterraine ainsi qu'une augmentation considérable de la biomasse par rapport aux saisons automnale et estivale. La saison hivernale est caractérisée par une croissance très faible due aux basses températures au niveau du sol. Les mesures obtenues montrent des différences de croissance pour les parties aériennes et souterraines. Pour la longueur, on remarque une élongation importante des racines par rapport aux tiges. Alors que l'allocation de la biomasse tend vers la partie aérienne.

Les paramètres physiologiques analysés confirment une meilleure adaptation des semis du pin pignon au climat semi aride, nous avons également noté :

- ❖ Une augmentation significative des teneurs en proline durant la période hivernale et estivale. Une accumulation préférentielle de cet acide aminé au niveau des tiges par rapport aux nouvelles et anciennes pousses ainsi qu'au niveau des racines a été constaté;
- ❖ Pour les teneurs en sucres, le froid hivernal et la chaleur estivale provoquent une forte accumulation au niveau de tous les organes mais on remarque une plus forte tendance d'accumulation au niveau des tiges par rapport aux d'autres organes ;
- ❖ Les fortes températures estivales ont induit une forte accumulation de la protéine au niveau des différents organes. En effet, les variations thermiques printanières provoquent aussi une augmentation de la teneur en protéine. Au niveau des organes, les teneurs suivent un ordre décroissant des anciennes aux nouvelles pousses et aux tiges, alors que les racines affichent les plus faibles accumulations.



- ❖ Les teneurs observées en ADN et ARN sont nettement plus faibles par rapport au témoin. Une accumulation préférentielle apparaît pour les tiges, les anciennes et les nouvelles pousses et en fin au niveau des racines.
- ❖ La chlorophylle totale se trouve aussi limitée pendant la saison hivernale et estivale alors que les saisons printanières et automnales présentent des variations positives par rapport au témoin. La distribution selon les organes se fait dans l'ordre d'une concentration décroissante qui va des anciennes aux nouvelles pousses

Enfin, nous avons constaté que le pin pignon manifeste effectivement des traits d'adaptation morpho physiologiques en conditions de climat semi aride avec un bon comportement aux conditions climatiques de la région, donc une possibilité d'introduction de cette espèce.

*Perspectives*

Pour finir, la présente étude écophysiological est innovante par le spectre de conditions climatiques et contraintes thermiques explorées, par l'évaluation des paramètres de croissance, par le nombre des indicateurs de stress (ou d'adaptation) utilisés, et par l'évaluation de la distribution des osmolytes dans les diverses parties de la plante. Les expériences présentées se sont appuyées essentiellement sur la réponse des semis du pin pignon exposé à un stress thermique.

À l'échelle de la plante entière, il reste à décrire des paramètres des relations thermiques dans le détail. Notamment, évaluer la conductivité hydraulique, la résistance stomatique, l'intégrité et la perméabilité membranaire au niveau des racines et des épis.

Décrire le potentiel osmotique et de turgescence par la mesure d'autres substances tels que l'arginine, Ceci permettrait de conclure sur la stratégie d'ajustement osmotique la plus efficace et caractériserait plus précisément l'équilibre ressource/énergie entretenu par les semis exposés à une contrainte thermique.

Détermination des mécanismes génétiques au niveau cellulaire par l'identification des gènes responsable de la tolérance aux contraintes thermiques.

*ANNEXE 01*

**Tableau 01: l'analyse de la variance à un critère pour les basses et les hautes températures**

|                     | Paramètres       | SOURCE | DL | SC      | CM      | F      | P     |
|---------------------|------------------|--------|----|---------|---------|--------|-------|
| Basses températures | Proline          | T°C    | 3  | 23,896  | 7,965   | 44,67  | 0,000 |
|                     | Sucre            | T°C    | 3  | 5364879 | 1788293 | 72,42  | 0,000 |
|                     | Chlorophylle a   | T      | 3  | 0,45472 | 0,15157 | 34,72  | 0,000 |
|                     | Chlorophylle b   | T°C    | 3  | 0,03963 | 0,01321 | 6,70   | 0,007 |
|                     | Chlorophylle a+b | T°C    | 3  | 0,6083  | 0,2028  | 19,31  | 0,000 |
|                     | Chlorophylle a/b | T°C    | 3  | 12,8390 | 4,2797  | 52,25  | 0,000 |
| Hautes températures | Proline          | T°C    | 4  | 25,043  | 6,261   | 31,46  | 0,000 |
|                     | Sucre            | T°C    | 4  | 3643527 | 910882  | 59,25  | 0,000 |
|                     | Chlorophylle a   | T°C    | 4  | 0,15546 | 0,03886 | 9,37   | 0,001 |
|                     | Chlorophylle b   | T°C    | 4  | 1,00768 | 0,25192 | 100,61 | 0,000 |
|                     | Chlorophylle a+b | T°C    | 4  | 0,22518 | 0,05630 | 7,41   | 0,002 |
|                     | Chlorophylle a/b | T°C    | 4  | 12,2534 | 3,0634  | 40,53  | 0,000 |

**ANNEXE 2** Tableau 1. Analyse de la variance à 1 critère pour les paramètres morphologiques

|             | Source  | DL | SC      | CM     | F      | P     |
|-------------|---------|----|---------|--------|--------|-------|
| <b>PFPA</b> | SAISON  | 4  | 165,895 | 41,474 | 50,83  | 0,000 |
| <b>PFPS</b> | SAISON  | 3  | 2741,2  | 913,7  | 16,45  | 0,001 |
| <b>PSPA</b> | Facteur | 4  | 90,987  | 22,747 | 224,47 | 0,000 |
| <b>PSPS</b> | SAISON  | 3  | 4256,5  | 1418,8 | 86,15  | 0,000 |
| <b>LT</b>   | saison  | 3  | 6165,1  | 2055,0 | 69,33  | 0,000 |
| <b>LR</b>   | SAISON  | 3  | 2736,31 | 912,10 | 201,57 | 0,000 |

*ANNEXE 3*

**Tableau 1. Analyse de la variance à 1 critère pour la proline**

|           | Source | DL | SC    | CM    | F    | P     |
|-----------|--------|----|-------|-------|------|-------|
| Hiver     | org    | 3  | 0,786 | 0,262 | 1,44 | 0,260 |
| Printemps | org    | 3  | 1,836 | 0,612 | 0,98 | 0,421 |
| Été       | org    | 3  | 1,540 | 0,513 | 5,08 | 0,009 |
| Automne   | org    | 3  | 0,935 | 0,312 | 0,56 | 0,649 |

**Tableau 2. Analyse de la variance à 2 critères pour la proline**

|                             | Source | DL | SC       | CM      | F      | P     |
|-----------------------------|--------|----|----------|---------|--------|-------|
| Hiver                       | org    | 3  | 0,7860   | 0,2620  | 9,16   | 0,002 |
|                             | MOIS   | 2  | 1,6962   | 0,8481  | 29,65  | 0,000 |
| Printemps                   | org    | 3  | 1,83588  | 0,61196 | 62,21  | 0,000 |
|                             | MOIS   | 2  | 11,21973 | 5,60987 | 570,25 | 0,000 |
| Été                         | org    | 3  | 1,5404   | 0,5135  | 28,17  | 0,000 |
|                             | MOIS   | 2  | 1,0592   | 0,5296  | 29,05  | 0,000 |
| Automne                     | org    | 3  | 0,9353   | 0,3118  | 25,37  | 0,000 |
|                             | MOIS   | 2  | 10,6242  | 5,3121  | 432,32 | 0,000 |
| Variation inter saisonnière | org_1  | 3  | 4,657    | 1,552   | 4,24   | 0,008 |
|                             | saison | 3  | 4,067    | 1,356   | 3,70   | 0,015 |

**Tableau 3. Analyse de la variance à 1 critère pour les sucres solubles**

|           | Source | DL | DL     | SC     | SC   | CM    | CM | F | F | P | P |
|-----------|--------|----|--------|--------|------|-------|----|---|---|---|---|
| Hiver     | org    | 3  | 28205  | 9402   | 0,10 | 0,958 |    |   |   |   |   |
| Printemps | org    | 3  | 68076  | 22692  | 0,28 | 0,836 |    |   |   |   |   |
| Eté       | org    | 3  | 476366 | 158789 | 2,68 | 0,075 |    |   |   |   |   |
| Automne   | org    | 3  | 15607  | 5202   | 0,59 | 0,630 |    |   |   |   |   |

**Tableau 4. Analyse de la variance à 2 critères pour les sucres solubles**

|                             | Source  | DL | DL      | SC     | CM      | F     | P |
|-----------------------------|---------|----|---------|--------|---------|-------|---|
| Hiver                       | organe  | 3  | 28205   | 9402   | 11,84   | 0,001 |   |
|                             | mois    | 2  | 1755129 | 877564 | 1104,91 | 0,000 |   |
| Printemps                   | organe  | 3  | 68076   | 22692  | 60,79   | 0,000 |   |
|                             | mois    | 2  | 1510192 | 755096 | 2022,93 | 0,000 |   |
| Eté                         | organe  | 3  | 476366  | 158789 | 303,73  | 0,000 |   |
|                             | mois    | 2  | 946923  | 473461 | 905,63  | 0,000 |   |
| Automne                     | organe  | 3  | 15607   | 5202   | 24,65   | 0,000 |   |
|                             | mois    | 2  | 9246    | 4623   | 21,91   | 0,000 |   |
| Variation inter saisonnière | organes | 3  | 317468  | 105823 | 1,76    | 0,161 |   |
|                             | saison  | 3  | 2270456 | 756819 | 12,60   | 0,000 |   |

**Tableau 5. Analyse de la variance à 1 critère pour les protéines**

|           |               |         |              |              |           |            |  |
|-----------|---------------|---------|--------------|--------------|-----------|------------|--|
|           |               |         |              |              |           |            |  |
| Hiver     | org           | 3       | 0,0777       | 0,0259       | 1,98      | 0,150      |  |
| Printemps | org           | 3       | 0,0190       | 0,0063       | 0,43      | 0,731      |  |
| Eté       | Source<br>org | DL<br>3 | SC<br>0,3212 | CM<br>0,1071 | F<br>4,84 | P<br>0,011 |  |
| Automne   | org           | 3       | 0,022422     | 0,007474     | 9,69      | 0,000      |  |

**Tableau 6. Analyse de la variance à 2 critères pour les protéines**

|                                | Source | DL | SC       | CM       | F      | P     |
|--------------------------------|--------|----|----------|----------|--------|-------|
| Hiver                          | org    | 3  | 0,077696 | 0,025899 | 147,33 | 0,000 |
|                                | mois   | 2  | 0,223643 | 0,111822 | 636,10 | 0,000 |
| Printemps                      | org    | 3  | 0,01898  | 0,00633  | 4,79   | 0,020 |
|                                | mois   | 2  | 0,18660  | 0,09330  | 70,68  | 0,000 |
| Eté                            | org    | 3  | 0,32116  | 0,10705  | 62,70  | 0,000 |
|                                | mois   | 2  | 0,38387  | 0,19194  | 112,41 | 0,000 |
| Automne                        | org    | 3  | 0,022422 | 0,007474 | 13,07  | 0,000 |
|                                | mois   | 2  | 0,004388 | 0,002194 | 3,84   | 0,052 |
| Variation inter<br>saisonnaire | org_1  | 3  | 0,2748   | 0,0916   | 7,25   | 0,000 |
|                                | saison | 3  | 1,1888   | 0,3963   | 31,35  | 0,000 |

**Tableau 7. Analyse de la variance à 1 critère pour l'ADN**

|           |        |    |      |      |      |       |
|-----------|--------|----|------|------|------|-------|
| Hiver     | org    | 3  | 6141 | 2047 | 9,83 | 0,000 |
| Printemps | org    | 3  | 3922 | 1307 | 4,19 | 0,019 |
| Eté       | org    | 3  | 1256 | 419  | 1,00 | 0,414 |
| Automne   | Source | DL | SC   | CM   | F    | P     |
|           | org    | 3  | 956  | 319  | 0,62 | 0,613 |

**Tableau 8. Analyse de la variance à 2critères pour l'ADN**

|                                | Source | DL | SC     | CM     | F     | P     |
|--------------------------------|--------|----|--------|--------|-------|-------|
| Hiver                          | organe | 3  | 6140,6 | 2046,9 | 22,37 | 0,000 |
|                                | mois   | 2  | 2387,4 | 1193,7 | 13,05 | 0,001 |
| Printemps                      | organe | 3  | 3922,3 | 1307,4 | 26,22 | 0,000 |
|                                | mois   | 2  | 3548,8 | 1774,4 | 35,58 | 0,000 |
| Eté                            | organe | 3  | 1256,4 | 418,8  | 5,26  | 0,015 |
|                                | mois   | 2  | 5343,8 | 2671,9 | 33,57 | 0,000 |
| Automne                        | organe | 3  | 956,9  | 319,0  | 3,73  | 0,042 |
|                                | mois   | 2  | 7134,5 | 3567,2 | 41,66 | 0,000 |
| Variation inter<br>saisonnaire | organe | 3  | 8605   | 2868   | 7,87  | 0,000 |
|                                | saison | 3  | 3052   | 1017   | 2,79  | 0,046 |

**Tableau 9. Analyse de la variance à 1 critère pour l'ARN**



|           |     |         |   |    |      |        |     |        |      |      |       |       |
|-----------|-----|---------|---|----|------|--------|-----|--------|------|------|-------|-------|
|           |     |         |   |    |      |        |     |        |      |      |       |       |
| Hiver     | org | Source  | 3 | DL | 2367 | SC     | 789 | CM     | 3,05 | F    | 0,053 | P     |
| Printemps | org |         | 3 |    | 2911 |        | 970 |        | 2,43 |      | 0,096 |       |
| Eté       | org | organes | 3 | 1  | 537  | 0,0702 | 179 | 0,0702 | 0,24 | 0,93 | 0,867 | 0,357 |
| Automne   | org |         | 3 |    | 449  |        | 150 |        | 0,20 |      | 0,896 |       |

**Tableau 10. Analyse de la variance à 2 critères pour l'ARN**

|                                | Source | DL | SC      | CM     | F     | P     |
|--------------------------------|--------|----|---------|--------|-------|-------|
| Hiver                          | org    | 3  | 2367    | 789    | 4,54  | 0,024 |
|                                | mois   | 2  | 380     | 190    | 1,09  | 0,367 |
| Printemps                      | org    | 3  | 2910,9  | 970,3  | 21,49 | 0,000 |
|                                | mois   | 2  | 5556,1  | 2778,1 | 61,53 | 0,000 |
| Eté                            | mois   | 2  | 12422,2 | 6211,1 | 73,04 | 0,000 |
|                                | org    | 3  | 537,0   | 179,0  | 2,11  | 0,153 |
| Automne                        | org    | 3  | 448,9   | 149,6  | 1,84  | 0,194 |
|                                | mois   | 2  | 10588,9 | 5294,5 | 65,00 | 0,000 |
| Variation inter<br>saisonnière | org_1  | 3  | 4562    | 1521   | 2,83  | 0,044 |
|                                | saison | 3  | 913     | 304    | 0,57  | 0,639 |

**Tableau 11. Analyse de la variance à 1 critère pour la chlorophylle a**

|           |         |    |         |         |      |       |
|-----------|---------|----|---------|---------|------|-------|
| Printemps | organes | 1  | 0,028   | 0,028   | 0,26 | 0,619 |
| Eté       | organes | 1  | 0,00172 | 0,00172 | 0,85 | 0,378 |
| Automne   | organes | 1  | 0,01812 | 0,01812 | 4,49 | 0,060 |
|           | Source  | DL | SC      | CM      | F    | P     |

**Tableau 12. Analyse de la variance à 2 critères pour la chlorophylle a**

|                                | Source   | DL | SC        | CM        | F       | P     |
|--------------------------------|----------|----|-----------|-----------|---------|-------|
| Hiver                          | organes  | 1  | 0,0070217 | 0,0070217 | 267,79  | 0,000 |
|                                | mois     | 2  | 0,0745736 | 0,0372868 | 1422,05 | 0,000 |
| Printemps                      | organes  | 1  | 0,028464  | 0,028464  | 702,71  | 0,000 |
|                                | mois     | 2  | 1,069735  | 0,534868  | 1,3E+04 | 0,000 |
| Eté                            | organes  | 1  | 0,0017177 | 0,0017177 | 62,48   | 0,000 |
|                                | mois     | 2  | 0,0055158 | 0,0027579 | 100,32  | 0,000 |
| Automne                        | organes  | 1  | 0,01812   | 0,01812   | 12,69   | 0,012 |
|                                | mois     | 2  | 0,01080   | 0,00540   | 3,78    | 0,087 |
| Variation inter<br>saisonnaire | mois     | 3  | 1,3656    | 0,4552    | 14,97   | 0,000 |
|                                | organes_ | 1  | 0,0299    | 0,0299    | 0,98    | 0,328 |

**Tableau 13. Analyse de la variance à 1 critère pour la chlorophylle b**

|           |         |   |          |          |      |       |
|-----------|---------|---|----------|----------|------|-------|
| Hiver     | organes | 1 | 0,00376  | 0,00376  | 2,77 | 0,127 |
| Printemps | organes | 1 | 0,00752  | 0,00752  | 2,28 | 0,162 |
| Eté       | organes | 1 | 0,000897 | 0,000897 | 7,32 | 0,022 |
| Automne   | organes | 1 | 0,00293  | 0,00293  | 0,50 | 0,494 |

**Tableau 13. Analyse de la variance à 1 critère pour la chlorophylle b**

**Tableau 14. Analyse de la variance à 2 critères pour la chlorophylle b**

|                                | Source   | DL | SC        | CM        | F       | P     |
|--------------------------------|----------|----|-----------|-----------|---------|-------|
| Hiver                          | organes  | 1  | 0,0037584 | 0,0037584 | 1096,43 | 0,000 |
|                                | mois     | 2  | 0,0126801 | 0,0063401 | 1849,56 | 0,000 |
| Printemps                      | organes  | 1  | 0,0075195 | 0,0075195 | 689,15  | 0,000 |
|                                | mois     | 2  | 0,0313743 | 0,0156872 | 1437,71 | 0,000 |
| Eté                            | organes  | 1  | 0,0008968 | 0,0008968 | 29,37   | 0,002 |
|                                | mois     | 2  | 0,0009918 | 0,0004959 | 16,24   | 0,004 |
| Automne                        | organes  | 1  | 0,0029250 | 0,0029250 | 209,28  | 0,000 |
|                                | mois     | 2  | 0,0533093 | 0,0266546 | 1907,09 | 0,000 |
| Variation inter<br>saisonnière | organes_ | 1  | 0,01346   | 0,01346   | 5,09    | 0,030 |
|                                | saison   | 3  | 0,03546   | 0,01182   | 4,47    | 0,008 |

**Tableau 15. Analyse de la variance à 1 critère pour la chlorophylle a+b**

|           | Source  | DL | SC      | CM      | F    | P     |
|-----------|---------|----|---------|---------|------|-------|
| Hiver     | organes | 1  | 0,02105 | 0,02105 | 2,34 | 0,157 |
| Printemps | organes | 1  | 0,065   | 0,065   | 0,44 | 0,523 |
| Eté       | organes | 1  | 0,00013 | 0,00013 | 0,07 | 0,797 |
| Automne   | organes | 1  | 0,0356  | 0,0356  | 2,14 | 0,174 |

**Tableau 16. Analyse de la variance à 2 critères pour la chlorophylle a+b**

|                             | Source   | DL | SC        | CM        | F       | P     |
|-----------------------------|----------|----|-----------|-----------|---------|-------|
| Hiver                       | organes  | 1  | 0,0210544 | 0,0210544 | 717,49  | 0,000 |
|                             | mois     | 2  | 0,0868308 | 0,0434154 | 1479,50 | 0,000 |
| Printemps                   | organes  | 1  | 0,065243  | 0,065243  | 1493,52 | 0,000 |
|                             | mois     | 2  | 1,467389  | 0,733694  | 1,7E+04 | 0,000 |
| Eté                         | organes  | 1  | 0,0001322 | 0,0001322 | 3,61    | 0,106 |
|                             | mois     | 2  | 0,0054236 | 0,0027118 | 73,96   | 0,000 |
| Automne                     | organes  | 1  | 0,03561   | 0,03561   | 23,76   | 0,003 |
|                             | mois     | 2  | 0,11169   | 0,05585   | 37,27   | 0,000 |
| Variation inter saisonnière | organes_ | 1  | 0,0834    | 0,0834    | 1,89    | 0,176 |
|                             | saison   | 3  | 1,8270    | 0,6090    | 13,82   | 0,000 |

**Tableau 17. Analyse de la variance à 1 critère pour la chlorophylle a/b**

|           |         |   |       |       |       |       |
|-----------|---------|---|-------|-------|-------|-------|
| Hiver     | organes | 1 | 2,95  | 2,95  | 1,47  | 0,253 |
| Printemps | organes | 1 | 2,446 | 2,446 | 11,35 | 0,007 |
| Eté       | organes | 1 | 2,050 | 2,050 | 6,23  | 0,032 |
| Automne   | organes | 1 | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,945 |

**Tableau 18. Analyse de la variance à 2 critère pour la chlorophylle a/b**

|                             |          |   |          |         |         |       |
|-----------------------------|----------|---|----------|---------|---------|-------|
|                             |          |   |          |         |         |       |
| Hiver                       | organes  | 1 | 2,94663  | 2,94663 | 419,26  | 0,000 |
|                             | mois     | 2 | 17,31008 | 8,65504 | 1231,49 | 0,000 |
| Printemps                   | organes  | 1 | 2,4458   | 2,4458  | 202,16  | 0,000 |
|                             | mois     | 2 | 2,0264   | 1,0132  | 83,75   | 0,000 |
| Eté                         | organes  | 1 | 2,0504   | 2,0504  | 81,35   | 0,000 |
|                             | mois     | 2 | 1,7128   | 0,8564  | 33,98   | 0,001 |
| Automne                     | organes  | 1 | 0,013    | 0,013   | 0,13    | 0,729 |
|                             | mois     | 2 | 24,397   | 12,198  | 120,02  | 0,000 |
| Variation inter saisonnière | organes_ | 1 | 5,83     | 5,83    | 4,49    | 0,040 |
|                             | saison   | 3 | 7,11     | 2,37    | 1,82    | 0,158 |

## *Liste des figures*

**Figure 1.** Air de répartition naturelle du *Pinus pinea* dans le monde (Seigue, 1985)

**Figure 2.** Facteurs du dépérissement des pins (les facteurs accompagnés d'un \* sont influencés directement ou indirectement par les modifications du climat).

**Figure 3.** Interaction entre Hsp et les autres mécanismes responsables de stress

**Figure 4.** Le réseau des HSP impliqué dans la réponse aux stress abiotiques

**Figure 5.** Moyennes mensuelles des précipitations

**Figure 6.** Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'est algérien (établie d'après Côte M, 1998a)

**Figure 7.** Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien (établie d'après A.N.R.H, 1993 : Données moyennes de 60 ans, période du 1 septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1 septembre 1968 au 31 août 1989)

**Figure 8.** Répartition saisonnière des précipitations

**Figure 9.** Moyennes mensuelles des températures dans la station de Ain Bey (1971-2006)

**Figure 10.** Diagramme ombrothermique de la station de Ain Bey (1971-2006)

**Figure11.** Climogramme d'Emberger

**Figure12.** Moyenne mensuelle de l'humidité (station de Ain Bey 1983-2006)

**Figure 13.** Variations des teneurs en prolines dans les différents organes des semis de pin pignon pour les basses températures.

**Figure 14.** Variations des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon pour les basses températures.

**Figure 15.** Variations des teneurs en chlorophylles dans les différents organes des semis de pin pignon pour les basses températures.

**Figure 16.** Variations du rapport de chlorophylles dans les différents organes des semis de pin pignon pour des basses températures.

**Figure 17.** Variations des teneurs en proline dans les différents organes des semis de pin pignon pour les hautes températures.

**Figure 18.** Variations des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon pour les hautes températures.

**Figure 19.** Variations des teneurs en chlorophylles dans les différents organes des semis de pin pignon pour les hautes températures.

**Figure 20.** Variations des teneurs de rapport de chlorophylle dans les différents organes des semis de pin pignon pour les hautes températures.

**Figure.21.** Fréquences et durées des températures chaudes pour l'année 2007

**Figure22.** Fréquences et durées des températures fraîches pour l'année 2007

**Figure 23.** Courbe de régression des températures maximales et minimales en fonction des saisons. a : saison hivernale ; b : saison printanière; c : saison estivale; d : saison automnale.

**Figure 24.** Les températures minimales et maximales de l'année 2007

**Figure 25.** Cinétique des températures chaudes depuis le mois de mai jusqu'au mois de septembre

**Figure 26.** Cinétique des températures froides depuis le mois de décembre 2006 jusqu'au mois de mars et le mois de novembre 2007.

**Figure 27.** Variation de la longueur des tiges selon les saisons. a : longueur mesurée en cm ; b : taux de croissance en %

**Figure 28.** Variation de la longueur des racines selon les saisons. a : longueur mesurée en cm ; b : taux de croissance en %

**Figure 29.** Variation saisonnière du rapport (longueur des tiges / racines) des semis de pin pignon.

**Figure 30.** Variation saisonnière du poids frais de la partie aérienne. a : poids mesuré en (g) ; b : taux d'évolution de biomasse en %

**Figure 31.** Variation du poids sec de la partie aérienne selon les saisons. a : longueur mesurée en (g) ; b : taux d'évolution de biomasse en %

**Figure 32 :** variation saisonnière du poids frais de la partie racinaire des semis de pin pignon. a : poids mesuré en (g) ; b : taux d'évolution de biomasse en %

**Figure 33.** Variation saisonnière du poids sec de la partie racinaire des semis du pin pignon. a : longueur mesurée en (g) ; b : taux d'évolution de biomasse en %

**Figure 34.** Variation saisonnière du rapport de poids sec (PSR/PSA) des semis de pin pignon.

**Figure 35.** Variation saisonnière des teneurs proline totale dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison hivernale

**Figure 36.** Variation saisonnière des teneurs proline totale dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison printanière

**Figure 37.** Variation saisonnière des teneurs proline totale dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison estivale

**Figure 38.** Variation saisonnière des teneurs en proline totale dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison automnale

**Figure 39.** Variation inter saisonnière des teneurs en proline totale dans les différents organes des semis de pin pignon (Np : nouvelle pousse. Ap : ancienne pousse. T : tige. R : racine)

**Figure 40.** Variation inter mensuelle des teneurs en proline dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison hivernale

**Figure 41.** La variation inter mensuelle des teneurs en proline dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison printanière

**Figure 42.** Variation inter mensuelle des teneurs en proline dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison estivale

**Figure 43.** Variation inter mensuelle des teneurs en proline dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison automnale

**Figure 44.** Variation mensuelle de taux de la proline en fonction des organes.

**Figure 45.** Variation saisonnière des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison hivernale

**Figure 46.** Variation saisonnière des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison printanière

**Figure 47.** Variation saisonnière des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison estivale

**Figure 48.** Variation saisonnière des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison automnale

**Figure 49.** La variation inter saisonnière des teneurs sucre soluble dans les différents organes des semis de pin pignon

**Figure 50.** La variation inter mensuelle des teneurs en sucre soluble dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison hivernale

**Figure 51.** Variation inter mensuelle des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison printanière

**Figure 52.** Variation inter mensuelle des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison estivale

**Figure 53.** Variation inter mensuelle des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison automnale

**Figure 54.** Variation mensuelle de taux des sucres solubles en fonction des organes.

**Figure 55.** Variation saisonnière des teneurs en protéine totale dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison hivernale

**Figure 56.** Variation saisonnière des teneurs en protéines totales dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison printanière

**Figure 57.** Variation saisonnière des teneurs en protéines totales dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison estivale

**Figure 58.** Variation saisonnière des teneurs en protéine totale dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison automnale

**Figure 59.** Variation inter saisonnière des teneurs en protéine totale dans les différents organes des semis de pin pignon



**Figure 60.** Variation inter mensuelle des teneurs en protéine totale dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison hivernale

**Figure 61.** Variation inter mensuelle des teneurs en protéines totales dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison printanière

**Figure 62.** Variation inter mensuelle des teneurs en protéines totales dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison estivale

**Figure 63.** Variation inter mensuelle des teneurs en protéines totales dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison automnale

**Figure 64.** Variation mensuelle de taux des protéines en fonction des organes des semis du pin pignon en condition naturelle.

**Figure 65.** Variation saisonnière des teneurs ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison hivernale

**Figure 66.** Variation saisonnière des teneurs ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison printanière

**Figure 67.** Variation saisonnière des teneurs ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison estivale

**Figure 68.** Variation saisonnière des teneurs ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison automnale

**Figure 69.** Variation inter saisonnière des teneurs ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon

**Figure 70.** Variation inter mensuelle des teneurs en ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison hivernale

**Figure 71.** Variation inter mensuelle des teneurs en ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison printanière

**Figure 72.** Variation inter mensuelle des teneurs en ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison estivale

**Figure 73.** Variation inter mensuelle des teneurs en ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon durant la saison automnale

**Figure 74.** Variation mensuelle de taux de l'ADN en fonction des organes.

**Figure 75.** Variation mensuelle de taux de l'ARN en fonction des organes.

**Figure 76.** Teneurs en chlorophylles dans les pousses supérieures et inférieures des semis de pin pignon durant la saison hivernale

**Figure 77.** Teneurs en chlorophylles dans les pousses supérieures et inférieures des semis de pin pignon durant la saison printanière

**Figure 78.** Teneurs en chlorophylles dans les pousses supérieures et inférieures des semis de pin pignon durant la saison estivale

**Figure 79.** Teneurs en chlorophylles dans les pousses supérieures et inférieures des semis de pin pignon durant la saison automnale

**Figure 80.** La variation inter saisonnière des teneurs en dans les pousses des semis de pin pignon

**Figure 81.** La variation inter mensuelle des teneurs en chlorophylles dans les pousses supérieures et des semis de pin pignon durant la saison hivernale

**Figure 82.** La variation inter mensuelle des teneurs en chlorophylles dans les pousses des semis de pin pignon durant la saison printanière

**Figure 83.** Variation inter mensuelle des teneurs en chlorophylles dans les pousses supérieures et inférieures des semis de pin pignon durant la saison estivale

**Figure 84.** La variation inter mensuelle des teneurs en chlorophylles dans les pousses supérieures et inférieures des semis de pin pignon durant la saison automnale

**Figure 85.** Variation mensuelle de taux de la chlorophylle totale en fonction des organes.

### *Liste des photos.*

**Photo 1.** Semis de pin pignon au champ de culture après une année de croissance (photo Lehout2007).

**Photo 2.** Développement racinaire des semis de pin pignon (photo Lehout 2007).

**Photo 3.** Développement de pin pignon (photo Lehout 2007).

## Liste Des Tableaux

- **Tableau 1** : Modules pluviométriques mensuelles et annuelles (1971-2006)
- **Tableau 2** : Répartition saisonnière des précipitations (1971-2006)
- **Tableau 3.** Coefficient de fréquence des précipitations journalière.
- **Tableau 4.** Moyennes mensuelles des températures.
- **Tableau 5.** Le régime des mois selon la méthode d'Euverte
- **Tableau 06.** Les valeurs du quotient pluviométrique d'Emberger (1978-2004).
- **Tableau 07.** Résultats descriptifs des données des paramètres morphologiques durant le stress aux basses températures
- **Tableau 07.** Résultats descriptifs des données des paramètres physiologiques durant le stress aux basses températures
- **Tableau 08.** Taux de variation des teneurs en proline pour les basses températures
- **Tableau 09.** Tableau des groupes des températures homogènes, de la teneur en proline pour les températures basses, obtenus par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 10.** Taux de variation des teneurs en sucres solubles pour les basses températures
- **Tableau 11.** Tableau des groupes des températures homogènes, de la teneur en sucres solubles pour les températures basses, obtenus par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 12.** Taux de variation des teneurs en chlorophylles pour les basses températures
- **Tableau 13.** Tableau des groupes des températures homogènes, de la teneur en chlorophylle (a) et (b) pour les températures basses, obtenus par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 14.** Taux de variation des teneurs en rapport chlorophyllien pour les basses températures
- **Tableau 15.** Tableau des groupes des températures homogènes, de la teneur en rapport chlorophyllien pour les températures basses, obtenus par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 16.** Résultats descriptifs des données des paramètres physiologiques durant le stress aux températures chaudes.
- **Tableau 17.** Taux de variations des teneurs en proline pour les hautes températures
- **Tableau 18.** Tableau des groupes des températures homogènes, de la teneur en proline pour les hautes températures, obtenus par le test de Newman et Keuls

- **Tableau 19.** Taux de variation des teneurs en sucres solubles pour les températures chaudes.
- **Tableau 20.** Tableau des groupes des températures homogènes, de la teneur en sucres solubles pour les hautes températures, obtenus par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 21.** Taux de variation des teneurs en chlorophylle a et chlorophylle b pour les températures chaudes.
- **Tableau 22.** Tableau des groupes des températures homogènes, de la teneur en chlorophylle a et chlorophylle b pour les hautes températures, obtenus par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 23.** Taux de variation des teneurs en chlorophylle a /b pour les températures chaudes.
- **Tableau 24.** Tableau des groupes des températures homogènes, de la teneur de rapport de chlorophylle pour les hautes températures, obtenus par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 25.** Durée et fréquences des températures fraîches inférieures à  $m : 2.37^{\circ}\text{C}$  pendant l'année 2007.
- **Tableau 26.** Durées et fréquences des températures chaudes supérieures à  $M=33.68^{\circ}\text{C}$  pendant l'année 2007.
- **Tableau 27.** Amplitude thermique pendant l'année 2007.
- **Tableau 28.** Résultats descriptifs des données des paramètres morphologiques durant les saisons.
- **Tableau 29.** Tableau des groupes homogènes de la longueur des tiges donné par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 30.** Tableau des groupes homogènes de la longueur des racines donné par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 31.** Tableau des groupes homogènes du poids frais de la partie aérienne donné par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 32.** Tableau des groupes homogènes de poids sec des tiges donné par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 33.** Tableau des groupes homogènes de poids frais des racines donné par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 34.** Tableau des groupes homogènes de la longueur des tiges donné par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 35.** Paramètres statistiques des teneurs en proline pour les 12 mois.

- **Tableau 36.** Taux de variation saisonnier (par rapport au témoin) des teneurs en proline dans les différents organes des semis de pin pignon.
- **Tableau 37.** Tableau des groupes des organes homogènes, de la teneur en proline pour la saison printanière, obtenus par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 38.** Taux de variation mensuel (par rapport au témoin) des teneurs en proline dans les différents organes des semis de pin pignon
- **Tableau 39.** Paramètres statistiques des teneurs en sucres solubles pour les 12 mois.
- **Tableau 40.** Taux de variation saisonnière (par rapport au témoin) des sucres dans les différents organes des semis de pin pignon.
- **Tableau 41.** Taux de variation mensuel (par rapport au témoin) de des sucres solubles dans les différents organes des semis de pin pignon.
- **Tableau 42.** Paramètres statistiques des teneurs en protéines totales pour les 12 mois.
- **Tableau 43.** Taux de variation saisonnier (par rapport au témoin) des teneurs en protéines totales dans les différents organes des semis de pin pignon.
- **Tableau 44.** Tableau des groupes des organes homogènes, de la teneur en protéines pour la saison estivale, obtenus par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 45.** Tableau des groupes des organes homogènes, de la teneur en protéine pour la saison automnale, obtenus par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 46.** Taux de variation mensuel (par rapport au témoin) des teneurs en protéines dans les différents organes des semis de pin pignon
- **Tableau 47.** Paramètres statistiques des teneurs en ADN et ARN pour les 12 mois
- **Tableau 48.** Taux de variation saisonnier (par rapport au témoin) des teneurs en ADN et ARN dans les différents organes des semis de pin pignon (%).
- **Tableau 49.** Tableau des groupes des organes homogènes, de la teneur en ADN et ARN pour la saison hivernale, obtenus par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 50.** Tableau des groupes des organes homogènes, de la teneur en ADN pour la saison printanière, obtenus par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 51.** Taux de variation mensuel (par rapport au témoin) des teneurs en ADN & ARN dans les différents organes des semis de pin pignon
- **Tableau 52.** Paramètres statistiques des teneurs en chlorophylles.
- **Tableau 53.** Taux de variation saisonnière de la chlorophylle a, b, a+b et le rapport chlorophyllien a/b en fonction des mois par rapport au témoin (%).

- **Tableau 54.** Tableau des organes homogènes, de la teneur en chlorophylle a /b pour la saison printanière, obtenus par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 55.** Tableau des organes homogènes, de la teneur en chlorophylle b pour la saison estivale, obtenus par le test de Newman et Keuls
- **Tableau 56.** Tableau des organes homogènes, de la teneur en rapport chlorophyllien pour la saison estivale, obtenus par le test de Newman et Keuls

## *Liste des abréviations*

**Ap.** anciennes pousses

**Jp.** jeunes pousses

**T.** tige

**R.** racine

**LR.** Longueur racines

**LT.** longueur tige

**PFPA.** poids frais des parties aériennes

**PFPS.** Poids frais de la partie souterraine

**PSPA.** Poids sec de la partie aérienne

**PSPS.** Poids sec de la partie souterraine

**LR/LT.** Rapport longueur tige / longueur racines

**Ch a.** chlorophylle a

**Ch b.** chlorophylle b

**Ch a+b.** chlorophylle totale

**Ch a/b.** le rapport chlorophyllien.

## **The thermal limits of the stone pine adaptation in the region of Constantine.**

### ***Summary***

The thermal stress is one of the environmental constraints to which plants cultivated in semiarid zones are subjected. The effects of this stress on plants are numerous: diminution of growth rate, hormonal unbalance, modification of the carbohydrate protein and lipid metabolism diminution of yield...etc.

The stone pines are interesting forest species on economical plan by the production of wood and pines which require a particular attention from the foresters. Nevertheless there are few studies in ecology on the subject which is yet not well known. That is why we choose this topic and our work consists at determining the thermal limits of the stone pine.

A temperature range between  $-10^{\circ}\text{C}$  and  $50^{\circ}\text{C}$  is used to test the tolerance of seedlings of the stone pine by biochemical markers like praline, sugar and proteins, as well as the quantification of the RNA and the DNA and going along with their evolution during the whole the year (2007). The variations of these components show an important concentration of sugars at the trunk level; proteins are more seen at the leaves level, while praline is more important at the stem level and the least growing's. Moreover our results indicate that the concentration of the different components is correlated with tolerance to freezing. Consequently seasonal variations are important on the morph biochemical plan.

The seedlings seem to adapt to the successive thermal stress with partial fading

In conclusion we can say that the stone pine is revealed tolerant to the thermal constraints.

**Keywords:** *Pinus pinea*, morphological parameters, Thermal limits, semiarid zone, adaptation, soluble sugars, proteins, praline, ADN et ARN, chlorophyll,

## الحدود الحرارية و تأقلم الصنوبر الثمري في منطقة قسد نطينة

### ملخص

التوتر الحراري هو احد الضغوط البيئية التي تخضع لها النباتات المغروسة في المناطق الشبه الجافة. تأثيرات هذا التوتر على النباتات هي كثيرة: نقص في سرعة النمو، اختلال التوازن الهرموني ، الايض السكري، ألبروتيني و الليبيدي و نقص في المردود.

الصنوبر الثمري ثروة غابية مهمة على الصعيد الاقتصادي من حيث منتوجه الخشبي و نواة الصنوبر. يجد اهتماما بالغا من طرف مصالح الغابات، و مع هذا تبقى خصائصه الإيكولوجية غير معروفة و هناك القليل من الدراسات عنها. في هذا الاتجاه تخص دراستنا على تبيين الحدود الحرارية لهذه النوعية. مجال حراري تتراوح بين 10 درجات و 50 درجة تستعمل لاختبار مدى تحمل البذور و استعدادها للتصلب عن طريق مؤشرات بيوكيميائية كالبرولين ، السكريات و البروتينات و الكميات المحددة للأحماض النووية. ADN et ARN، كلوروفيل و متابعة هذه الأخيرة خلال سنة. اختلاف هذه التركيبات تيبين تركيز مهم للسكر على مستوى الجذع، تركيز أكثر للبروتينات على مستوى الجذع و كذلك البراعم الجديدة . في حين تظهر النتائج ان التركيزات لنختلف التركيبات مرتبطة باحتمالها للبرودة. التغيرات الموسمية مهمة على الصعيد البيوكيميائي.

على الصعيد المورفولوجي، الكتلة الحية للجذور أكثر أهمية من الكتلة الحية للجزء الهوائي، كما أن نمو الصنوبر الثمري يتركز خلال الموسم الربيعي يتوقف في الشتاء. فالشجيرات تظهر تأقلمًا للتوتر الحراري المتتابع مع اضمحلال جزئي.

وفي الأخير يمكن أن نقول أن الصنوبر الثمري يبدي احتمالا للإجهاد الحراري.

**الكلمات المفتاحية:** شجرة الصنوبر الثمري، حدود حرارية، منطقة شبه جافة، تأقلم، سكريات، بروتينات، برولين، ADN et ARN ، كلوروفيل، الاجهاد الحراري



|   |   |
|---|---|
| <b>Nom : LEHOUT</b><br><b>Prénom : AMEL</b>   | <b>Date de soutenance</b><br>29/06/2008 |
| <b>THEME</b><br><i>Limites thermiques et adaptation du pin pignon dans la région de Constantine</i>   |   |
| <b>RESUME</b>   |   |
| <p>Le stress thermique est une des contraintes environnementales auxquelles sont soumises les plantes cultivées en zones semi-arides. Les effets de ce stress sur les plantes sont nombreux : diminution de la vitesse de croissance, perturbation de la balance hormonale, modification du métabolisme glucidique, protéique et lipidique, diminution du rendement...etc.</p>  |   |
| <p>Le pin pignon essence forestière intéressante sur le plan économique par sa production de bois et de pignes mérite une attention particulière des forestiers. Néanmoins, son écologie demeure peu étudiée et mal connue. Dans cette optique, notre travail consiste à déterminer les limites thermiques de l'espèce. Une gamme de température variant entre -10 °C et 50°C est utilisée pour tester la tolérance des semis par des marqueurs biochimiques comme la proline, les sucres et les protéines, ainsi que la quantification de l'ARN et d'ADN et de suivre l'évolution de ces derniers durant l'année. Les variations de ces composées montrent une concentration importante des sucres au niveau des tiges, les protéines se rencontrent beaucoup plus au niveau des feuilles, alors que la proline est plus importante au niveau des tiges et les nouvelles pousses. Cependant, nos résultats montrent que les concentrations de ces différents composés sont corrélées avec la tolérance au froid. Les variations saisonnières sont importantes sur le plan morpho- biochimique.</p> |   |
| <p>Les semis semblent s'adapter aux stress thermiques successifs avec des flétrissements partiels. En conclusion on peut dire que le pin pignon s'est révélé tolérant aux contraintes thermiques.</p>   |   |
| <b>Mots clés :</b> <i>Pinus pinea</i> , paramètres morphologiques, limites thermiques, zone semi aride, adaptation, sucres solubles, protéines, proline, ADN et ARN, chlorophylle.  |   |
| <b>Laboratoire de recherche :</b> Développement et valorisation des ressources phytogénétiques.   |   |
| <b>Directeur de recherche :</b><br>Mr ALATOU D.   | Prof. Université de Constantine.        |