

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

**UNIVERSITE MENTOURI – CONSTANTINE -**

N° de série.....

N° d'ordre.....

**MEMOIRE**

Présenté a la Faculté des Sciences de la nature et de la vie

Département de Biologie

Pour l'obtention du diplôme de

**MAGISTER**

Spécialité : Biologie et Ecologie –Biologie végétale-

Option : Ecophysiologie et biotechnologie des végétaux

Par :

**HAICHOOR RIMA**

**THEME :**

**Stress thermique et limite écologique du *Chêne vert* en Algérie**

Soutenu le : / / 2009

Devant le jury

**Président** : Mr RAHMOUNE CHAABANE

**Prof** Université Mentouri Constantine

**Rapporteur** : Mr ALATOU DJAMEL

**Prof** Université Mentouri Constantine

**Examineurs** : Mr BENDERADJI M<sup>ed</sup> EL HABIB

**Prof** Université Mentouri Constantine

Mr BENTOUATI ABDALLAH

**M.C** Université Hadj lakhdar Batna

## REMERCIEMENTS

*A l'issue de ce travail de recherche, je tiens tout particulièrement à remercier Monsieur Alatou Djamel, professeur à la Faculté des Sciences de la nature et de la vie à l'université MENTOURI Constantine et directeur du laboratoire du développement et valorisation des ressources phytogénétiques, pour avoir accepté de diriger avec beaucoup d'attention et de soin ce mémoire. Je lui suis très reconnaissante pour sa disponibilité, sa bienveillance et son soutien permanent, et d'avoir prêté un intérêt constant au sujet du mémoire. Je lui dois beaucoup pour le contenu du travail présenté, pour ses critiques constructives et son aide aux différentes entraves rencontrées, pour sa gentillesse et ses qualités humaines.*

*J'adresse ma gratitude au professeur Rahmoune Chaâbane pour avoir accepté de présider le jury de mon mémoire, pour son soutien, et ses conseils avisés.*

*Je remercie également Messieurs Benderadji Mohamed el Habib et Bentouati Abdellah pour avoir accepté d'examiner ce travail et participer au jury du mémoire.*

*Je remercie le Directeur et le personnel de l'ONM de Sétif, de m'avoir facilité l'accès aux données climatiques.*

*Et je n'oublierai jamais la contribution des services de la conservation des forêts de la wilaya de Sétif dirigée par Messieurs Rahal Lazher et Allache Kamel qui m'ont aidé à récupérer les plants de chêne vert m'ayant permis de poursuivre l'objet essentiel des analyses relatives à la conception de mon mémoire.*

*Je remercie également Monsieur Tabet Slimane surtout pour sa disponibilité, son aide et ses bons conseils.*

*Mon travail au laboratoire de biochimie aurait été pénible sans l'aide du technicien : Monsieur Omar, je tiens à le remercier pour son accueil.*

*A ma très chère amie Sanna Abdessemed, pour sa bonne humeur perpétuelle et surtout pour son amitié indéfectible. Merci pour tout.*

*A mon collègue Laala Ahmed, pour son aide et son amitié sincère.*

*A tous ceux qui ont participé de loin ou de près à l'élaboration de ce modeste travail.*

# *Sommaire*

---

<b>PREAMBULE</b> .....	1
------------------------	---

## **CHAPITRE I / Synthèse bibliographique**

### **1. Description de l'espèce**

1.1	Caractères généraux du <i>Chêne Vert</i> .....	3
1.1.1	Caractères botaniques du <i>chêne vert</i> .....	3
	a) <i>Taxonomie du chêne vert</i> .....	3
	b) <i>Description</i> .....	3
	c) <i>Variétés de Quercus ilex</i> .....	4
1.1.2	Caractères climatiques.....	4
1.1.3	Caractères édaphiques.....	5
1.2	Répartition géographique.....	5
1.3	Répartition altitudinale.....	7
1.4	Résistance aux contraintes environnementales.....	9

### **2. Comportement des végétaux vis-à-vis de la contrainte thermique**

2.1	Approche conceptuelle du stress.....	10
2.2	LE STRESS THERMIQUE.....	12
2.3	Stress au froid.....	13
2.3.1	Les basses températures positives (froid).....	13
2.3.2	Les basses températures négatives (gel).....	16
2.4	STRATEGIES ET MECANISMES DE TOLERANCE AU GEL.....	17
2.5	Mécanismes d'acclimatation au froid.....	18
2.6	L'endurcissement au froid.....	24
2.7	Tolérance des plantes à la chaleur.....	24
2.7.1	Seuil de stress thermique.....	24
2.7.2	Réponses des plantes à la contrainte par la chaleur.....	25
2.7.3	Interaction entre les fortes températures et la sécheresse.....	28
2.7.4	Stress hydrique et thermique combinée.....	28
2.8	Les échanges gazeux foliaires. Résistance stomatique et transpiration foliaire.....	29

## **CHAPITRE II. Climat de la zone d'étude ,matériel et la méthodologie**

### **1. Le Climat**

1.1	Considérations générales sur le climat de l'Algérie et de la zone d'étude.....	30
1.2	Notion du climat local.....	30
1.3	Paramètres d'études.....	31
1.3.1	Les précipitations.....	32
1.3.2	Les températures.....	34
1.3.3	Autres paramètres climatique.....	36
1.3.4	Synthèse climatique.....	39
1.3.4.1	Indice de sécheresse estivale (EBBERGER, 1942).....	40
1.3.4.2	Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.....	40
1.3.4.3	Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger.....	40
1.3.4.4	Indice d'aridité de De Martonne (1923).....	43
	Conclusion.....	43
1.4	Correction des données climatiques.....	44

1.4.1 Corrections pluviométriques.....	45
1.4.2 Corrections thermiques.....	45

## **2. Matériels et méthodologie d'étude**

2.1 déroulement des travaux.....	48
2.2 Matériel végétale.....	48
2.3 Paramètres mesurés.....	48
2.3.1 Paramètres morphologiques.....	48
2.3.2 Paramètres physiologiques.....	49
2.3.3 La résistance stomatique.....	49
2.4 Analyse statistique.....	49

## **RESULTATS, DISCUSSION GENERALE ET PERSPECTIVES**

### **CHAPITRE III**

III Analyse des températures trihoraires pour une période de 04 ans (2005-2008).....	52
III.1. L'analyse statistique descriptive des données climatiques.....	52
III.2. Durée et fréquence des températures froides et chaudes.....	54
III.3. Comparaison des moyennes relatives aux températures.....	63
III.4 Tendances thermiques des saisons de l'année 2008.....	65

### **CHAPITRE IV**

IV. Analyse des paramètres de croissance de jeunes plants de *chêne vert* (*Quercus ilex L.*) au cours de l'année expérimentale dans la région de Sétif.

IV.1 Évolution de la hauteur aérienne et la longueur racinaire des jeunes plants de chêne vert.....	67
IV.2 Le rapport longueur racinaire sur hauteur aérienne.....	69
IV.3 Poids frais et poids sec de la partie aérienne et souterraine.....	69
IV.4 Matière sèche accumulée de la partie aérienne et souterraine.....	71
IV.5 Le rapport matière sèche partie racinaire / matière sèche partie aérienne.....	73
IV.6 Taux de mortalité.....	73
DISCUSSION.....	74

### **CHAPITRE V**

V.1 Effet de la contrainte thermique sur la variation des teneurs en proline dans les différents organes des jeunes plants du chêne vert.....	77
V.1.1. Effet des variations des basses températures sur les teneurs en proline.....	77
V.1.2. Effet des variations des hautes températures sur la teneur en proline.....	81
V.1.3 Le cumule du taux de la proline chez la plante entière en fonction des fluctuations thermiques.....	85
V.1.4 Effet des variations thermiques saisonnières sur les teneurs en proline dans les jeunes plants de chêne vert ( <i>Quercus ilex l.</i> ).....	86
V.1.4.1 Effet des variations saisonnières sur les teneurs en proline.....	86
V.1.4.2 Effet des variations thermiques inter-saisonnier sur les teneurs en proline.....	88

V.1.4.3 Le cumul saisonnier du taux de la proline chez la plante entière.....	89
V.2 Effet des contraintes thermiques sur les teneurs en sucres solubles des différents organes des jeunes plants de chêne vert.....	90
V.2.1. Effet des variations des basses températures sur les teneurs en sucres solubles.....	90
V.2.2. Effet des variations des hautes températures sur les teneurs en sucres solubles.....	94
V.2.3 Le cumul du taux des sucres solubles chez la plante entière en fonction des fluctuations thermiques.....	98
V.2.4 Effet des variations thermiques saisonnières sur les teneurs en sucres solubles dans les jeunes plants de chêne vert ( <i>Quercus ilex l.</i> ).....	99
V.2.4.2 Effet des variations thermiques inter-saisonnier sur les teneurs en sucres solubles.....	101
V.2.4.3 Cumul saisonnier du taux des sucres solubles chez la plante entière.....	102
V.3 Effet de la contrainte thermique sur la variation des teneurs en protéines dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert.....	103
V.3.1. Effet des variations des basses températures sur les teneurs en protéine.....	103
V.3.2. Effet des variations des hautes températures sur les teneurs en protéines.....	108
V.3.3 Cumul du taux des protéines chez la plante entière en fonction des fluctuations thermiques.....	112
V.4. Effet de la contrainte thermique sur les teneurs en chlorophylle.....	113
V.4.1. Effet des variations des basses températures sur les teneurs en chlorophylle.....	114
V.4.2. Effet des variations des hautes températures sur les teneurs en chlorophylle.....	119
V.4.3. Le cumul de la chlorophylle totale chez la plante entière en fonction des différents niveaux de hautes et basses températures.....	122
V.4.4. Effets des variations thermiques saisonnières sur les teneurs en chlorophylle.....	123
V.4.4.2. Effet de la variation thermique inter-saisonnière sur les teneurs en chlorophylle.....	127
Discussion.....	128
<b>CHAPITRE VI</b>	
VI .Evolution de la résistance stomatique en conditions naturelles.....	135
Conclusion.....	138
Références bibliographiques.....	140
Annexes	

## ABREVIATIONS

<i>m</i>	<i>Température minimale</i>
<i>M</i>	<i>Température maximale</i>
P	Précipitation
PE	Pluviosité estivale
T°	Température
<i>K</i>	<i>Degrés Calvin</i>
<b>ISE</b>	Indice de sécheresse estivale
<i>Q</i>	Quotient pluviométrique
IA <sub>M</sub>	Indice d'aridité de De Martonne
Tn	Moyenne journalière des températures minimales
Tx	Moyenne journalière des températures maximales
CV	Le coefficient de variation
S	Ecart type
h	Heure
AV <sub>1</sub>	Analyse de la variance à un critère de classification
Amp.ther	Amplitude thermique
HT	Hauteur de la tige
LR	longueur racinaire
PFA	Poids frais partie aérienne
PSA	Poids sec partie aérienne
PFR	Poids frais partie racinaire
PSR	Poids sec partie racinaire
V1	Feuilles de la première vague de croissance
V2	Feuilles de la deuxième vague de croissance
T	Tiges
R	Racines

## LISTE DES FIGURES

---

### CHAPITRE I

---

- Fig. 1.1.** Distribution de *Q. ilex* dans le Bassin Méditerranéen.
- Fig. 1.2.** Répartition du chêne vert en Algérie.
- Fig. 1.3.** La voie de transduction d'un signal de réponse a un stress abiotique chez la plante.
- Fig. 1.4.** Facteurs conditionnant la réponse de la plante à un stress.
- Fig. 1.5.** Quelques stratégies de lutte contre les stress abiotiques.
- Fig. 1.6.** Actions des températures sur les pools protéiques et lipidiques cellulaires.
- Fig. 1.7.** Schéma de l'emboîtement des structures de l'appareil photosynthétique.

---

### CHAPITRE II

---

- Fig. 2.1.** Carte bioclimatique de Sétif.
- Fig. 2.2.** Variation mensuelle moyenne de la hauteur des pluies au niveau de la station de Sétif.
- Fig. 2.3.** Variation saisonnière moyenne de la hauteur des pluies au niveau de la station de Sétif.
- Fig. 2.4.** Evolution de la température moyenne mensuelle (1981-2007).
- Fig. 2.5.** Humidité relative mensuelle moyenne, minimale et maximale en (%) de la station de Sétif
- Fig. 2.6.** vitesse moyenne mensuelle du vent m/s et le nombre moyen des jours du sirocco de la station de Sétif.
- Fig. 2.7.** Le diagramme Ombrothermique de la région de Sétif pour la période (1981-2007).
- Fig. 2.8.** Climagramme d'Emberger.
- Fig. 2.9.** Variation annuelle du Quotient pluviométrique pour la période (1981-2007).

---

### CHAPITRE III

---

- Fig. 3.1.** Fréquence et durée des températures fraîches pour la période 2005-2008 de la région de Sétif.
- Fig. 3.2.** Courbes de la variation des températures minimales pour chaque mois de la saison hivernale pour les années 2005-2006-2007.
- Fig. 3.3.** Courbes de la variation des températures minimales pour chaque mois de la saison hivernale pour l'année 2008 et cinétique des T° fraîches.
- Fig. 3.4.** Courbes de la variation des températures minimales pour les mois de Mars, Avril et Novembre pour l'année 2008 et cinétique des T° fraîches.
- Fig. 3.5.** Intensité du stress thermique pour la période 2005- 2008 de la région de Sétif.
- Fig. 3.6.** Courbes de la variation des températures maximales pour chaque mois de la saison estivale pour les années 2005-2006-2007.
- Fig. 3.7.** Courbes de la variation des températures minimales pour chaque mois de la saison estivale pour l'année 2008 et cinétique des T° chaudes.
- Fig. 3.8.** Courbes de régression des températures maximales et minimales en fonction des saisons de l'année 2008.
- Fig. 3.9.** Températures minimale et maximale de l'année 2008.

---

### CHAPITRE IV

---

- Fig. 4.1.** Moyenne  $\pm$  S de l'évolution de la hauteur aérienne et la longueur racinaire des jeunes plants de chêne vert en cm et taux de croissance en % en fonction des saisons. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p).
- Fig.4.2.** variation du rapport longueur des racines / hauteur des tiges des jeunes plants de chêne vert en conditions naturelles.

**Fig.4.3.** Moyenne  $\pm$  S. de la variation du poids frais de la partie aérienne et souterraine des jeunes plants de chêne vert et taux d'évolution de la biomasse en % en fonction des saisons. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p).

**Fig.4.4.** Moyenne  $\pm$  S. de la variation de la matière sèche accumulé de la partie aérienne et souterraine des jeunes plants de chêne vert et taux d'évolution de la biomasse en % en fonction des saisons. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.4.5.** Moyenne  $\pm$  S de la variation du rapport de la matière sèche racinaire et la matière sèche aérienne accumulé des jeunes plants de chêne vert en fonction des saisons. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p).

---

## CHAPITRE V

---

**Fig.5.1.** Taux d'accumulation de la proline selon les différents niveaux de stress thermique par le froid. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.2.** Taux d'accumulation de la proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert à la température du témoin  $\pm$  S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.3.** Taux d'accumulation de la proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert aux basses températures par rapport au témoin  $\pm$  S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.4.** Taux d'accumulation de la proline dans les différents organes des semis de chêne vert soumises à des basses températures  $\pm$  S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.5.** La variation de la concentration en proline selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis aux basses températures  $\pm$ S.

**Fig.5.6.** Taux d'accumulation de la proline selon les différents niveaux de stress thermique par la chaleur  $\pm$  S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.7.** Taux d'accumulation de la proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert aux hautes températures par rapport au témoin  $\pm$  S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.8.** Taux d'accumulation de la proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert en fonction des hautes températures  $\pm$  S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.9.** La variation de la teneur en proline selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des hautes températures  $\pm$  S.

**Fig.5.10.** Accumulation de la proline chez la plante entière en fonction des basses températures  $\pm$  S. Les résultats du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.11.** Taux d'accumulation de la proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert durant la saison hivernale  $\pm$  S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls (n=4).

**Fig.5.12.** Taux d'accumulation de la proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert durant la saison printanière  $\pm$  S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls (n=4).

**Fig.5.13.** Taux d'accumulation de la proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert durant la saison estivale  $\pm$  S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls (n=4).

**Fig.5.14.** Taux d'accumulation de la proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert durant la saison automnale  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls (n=4).

**Fig.5.15.** Variation inter-saisonnière des teneurs en proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert  $\pm S$ .

**Fig.5.16.** Cumul saisonnier de la proline en fonction des organes.

**Fig.5.17.** Taux d'accumulation des sucres solubles selon les différents niveaux de stress thermique par le froid. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.18.** Taux d'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert à la température du témoin  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.19.** Taux d'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert à des hautes températures  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.20.** Taux d'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert en fonction des basses températures  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.21.** La variation de la l'accumulation en sucres solubles selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des basses températures  $\pm S$ .

**Fig.5.22.** Taux d'accumulation des sucres solubles en fonction du stress thermique par la chaleur  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.23.** Taux d'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert en fonction des différentes hautes températures par rapport au témoin  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.24.** Taux d'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert en fonction des hautes températures  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.25.** La variation de l'accumulation en sucres solubles selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des hautes températures  $\pm S$ .

**Fig.5.26.** Cumul du taux des sucres solubles chez la plante entière en fonction des basses et hautes températures  $\pm S$ .

**Fig.5.27.** Taux d'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert durant la saison hivernale  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls (n=4).

**Fig.5.28.** Taux d'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert durant la saison printanière  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls (n=4).

**Fig.5.29.** Taux d'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert durant la saison estivale  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls (n=4).

**Fig.5.30.** Taux d'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert durant la saison automnale  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls (n=4).

**Fig.5.31.** Variation inter-saisonnière des teneurs en proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert  $\pm S$ .

**Fig.5.32.** Cumul du taux des sucres solubles chez la plante entière.

**Fig.5.33.** Taux d'accumulation des protéines selon les différents niveaux de stress thermique par le froid. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.34.** Taux d'accumulation des protéines dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert à la température du témoin  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.35.** Taux d'accumulation des protéines dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert à des différentes basses températures par rapport au témoin  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.36.** Taux d'accumulation des protéines dans les différents organes des semis de chêne vert selon l'intensité du stress  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig. 5.37.** La variation de la l'accumulation en protéines selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des basses températures  $\pm S$ .

**Fig.5.38.** Taux d'accumulation des protéines selon les différents niveaux de stress thermique par la chaleur. . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.39.** Taux d'accumulation en protéines dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert à des différentes hautes températures par rapport au témoin  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.40.** Taux d'accumulation des protéines dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert en fonction des hautes températures  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.41.** La variation de l'accumulation en protéines selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des hautes températures  $\pm S$ .

**Fig.5.42.** Cumul du taux des protéines chez la plante entière en fonction des basses et des hautes températures  $\pm S$ .

**Fig.5.43.** Taux de diminution du taux de la chlorophylle selon les différents niveaux de stress thermique par le froid. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

**Fig.5.44.** Teneurs en chlorophylle a dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert en fonction des basses températures  $\pm S$ .

**Fig.5.45.** Teneurs en chlorophylle b dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert en fonction des basses températures  $\pm S$ .

**Fig.5.46.** teneurs en chlorophylle totale a+b dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert en fonction des basses températures  $\pm S$ .

**Fig.5.47.** Teneurs en chlorophylle a/b dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert en fonction des basses températures  $\pm S$ .

**Fig.5.48.** Teneurs de la chlorophylle a dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert en fonction des hautes températures  $\pm S$ .

**Fig.5.49.** Teneurs de la chlorophylle b dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert en fonction des hautes températures  $\pm S$ .

**Fig.5.50.** Teneurs de la chlorophylle a+b dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert en fonction des hautes températures  $\pm S$ .

**Fig.5.51.** Teneurs de la chlorophylle a/b dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert en fonction des hautes températures  $\pm S$ .

**Fig.5.52.** Variation des teneurs en chlorophylle totale en fonction des organes

**Fig.5.53.** Teneurs en chlorophylle dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert durant la saison hivernale  $\pm S$ .

**Fig.5.54.** Teneurs en chlorophylle dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert durant la saison printanière  $\pm S$ .

**Fig.5.55.** Teneurs en chlorophylle dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert durant la saison estivale  $\pm S$ .

**Fig.5.56.** Teneurs en chlorophylle dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert durant la saison automnale  $\pm S$ .

**Fig.5.57.** Variation inter-saisonnière des teneurs en chlorophylle dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert  $\pm S$ .

---

## CHAPITRE VI

---

**Fig.6.** Evolution de la résistance stomatique en fonction de la température et de l'éclairement chez les plants du chêne vert.

## LISTE DES TABLEAUX

---

### CHAPITRE I

---

**Tab.1.1.** Les classes des protéines de choc thermique HSPs trouvés chez les plantes.

---

### CHAPITRE II

---

**Tab. 2.1.** Moyennes mensuelles et annuelles des précipitations (1981 – 2007)

**Tab. 2.2.** Régime saisonnier de précipitation pour la période (1981-2007)

**Tab. 2.3.** Températures moyennes, minimales, maximales et l'amplitude thermique de la période (1981-2007)

**Tab. 2.4.** Paramètres climatiques pour la période (1981-2007)

**Tab. 2.5.** Variation annuelle du Q2 sur la période (1981-2007).

**Tab. 2.6.** Résultats des paramètres climatiques corrigés.

**Tab. 2.7.** Détermination des étages bioclimatiques des différentes stations d'étude.

---

### CHAPITRE III

---

**Tab. 3.1.** Résultats descriptives des températures minimales pour la période 2005-2008 (Moyenne mensuelle, Température mensuelle minimale la plus grande, Température mensuelle minimale la plus petite, variance, Ecart type, Coefficient de variation).

**Tab. 3.2.** Résultats descriptives des températures maximales pour la période 2005-2008.

**Tab. 3.3.** Durée et fréquences de températures fraîches inférieures à  $m$  ( $1,15^{\circ}\text{C}$ ) durant les années 2005-2008.

**Tab. 3.4.** Durée et fréquences de températures chaudes supérieures à  $M$  ( $33,83^{\circ}\text{C}$ ) pour la période 2005-2008.

**Tab. 3.5.** Comparaison des moyennes mensuelles des ( $T_n$  et  $T_x$ ) pour chaque saison des 04 ans à l'aide de l'analyse de la variance à un caractère de classification.

**Tab. 3.6.** Comparaison des températures moyennes mensuelles ( $T_n$  et  $T_x$ ) du même mois pour la saison hivernale pour les 04 ans à l'aide de la variance à un caractère de classification.

**Tab. 3.7.** Comparaison des températures moyennes mensuelles ( $T_n$  et  $T_x$ ) du même mois pour la saison printanière pour les 04 ans à l'aide de la variance à un caractère de classification.

**Tab. 3.8.** Comparaison des températures moyennes mensuelles ( $T_n$  et  $T_x$ ) du même mois pour la saison estivale pour les 04 ans à l'aide de la variance à un caractère de classification.

**Tab.3.9.** L'amplitude thermique de l'année 2008.

---

### CHAPITRE IV

---

**Tab. 4.1.** Résultats descriptifs de la hauteur aérienne, la longueur racinaire et le rapport longueur racine sur hauteur tige des jeunes plants durant l'année expérimentale.

**Tab. 4.2.** Groupes homogènes de la hauteur aérienne et la longueur racinaire donnée par le biais du test de Newman et Keuls.

**Tab. 4.3.** Paramètres statistiques du poids frais et sec de la partie aérienne.

**Tab. 4.4.** Groupes homogènes du poids frais de la partie aérienne et racinaire donné par le biais du test de Newman et Keuls.

**Tab. 4.5.** Groupes homogènes du poids secs de la partie aérienne et racinaire donné par le biais du test de Newman et Keuls.

**Tab. 4.6.** Test du Newman et keuls du rapport matière sèche partie racinaire et matière sèche partie aérienne.

**Tab. 4.7.** Matrice de corrélation des paramètres morphologiques.

---

## CHAPITRE V

---

**Tab.5.1.** Paramètres statistiques des teneurs en proline dans les différents organes pour les différentes basses et hautes températures ( $\mu\text{mol/g MS}$ ).

**Tab.5.2.** Taux de variation thermique de la proline en fonction des basses températures dans les différents organes des semis du chêne vert.

**Tab.5.3.** Tableau des groupes homogènes, pour les teneurs en proline à des basses températures, obtenus par le test de Newman et Keuls. **Tab.5.4.** Taux de variation thermique de la proline en fonction des températures chaudes dans les différents organes des semis du chêne vert par rapport au témoin.

**Tab.5.5.** Test de Newman et Keuls de la teneur en proline selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des hautes températures.

**Tab.5.6.** Paramètres statistiques des teneurs en proline dans les différents organes pour les quatre saisons ( $\mu\text{mol/g MS}$ )

**Tab.5.7.** Taux de variation annuelle des teneurs en proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert par rapport au témoin.

**Tab.5.8.** Paramètres statistiques des teneurs en sucres solubles dans les différents organes en fonction des différentes températures ( $\mu\text{g/g MS}$ ).

**Tab.5.9.** Taux de variation thermique des sucres solubles en fonction des basses températures dans les différents organes des semis du chêne vert par rapport au témoin.

**Tab.5.10.** Tableau des groupes homogènes des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert en fonction des basses températures donné par le test de Newman et Keuls.

**Tab.5.11.** Taux de variation thermique des sucres solubles en fonction des températures chaudes dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert par rapport au témoin.

**Tab.5.12.** Groupes homogènes des teneurs en sucres solubles dans les différents organes en fonction des hautes températures.

**Tab.5.13.** Paramètres statistiques des teneurs en sucres solubles dans les différents organes pour les quatre saisons ( $\mu\text{g/g MS}$ ).

**Tab.5.14.** Taux de variation annuelle des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert par rapport au témoin.

**Tab.5.15.** Groupes homogènes des teneurs en sucres solubles dans les différents organes en fonction des saisons.

**Tab.5.16.** Paramètres statistiques des teneurs en protéines dans les différents organes en fonction des différentes températures.

**Tab.5.17.** Taux de variation thermique de la protéine en fonction des basses températures dans les différents organes des semis du chêne vert par rapport au témoin.

**Tab.5.18.** Groupes homogènes des teneurs en protéines dans les différents organes soumis à des basses températures

**Tab.5.19.** Taux de variation thermique des protéines en fonction des températures chaudes dans les différents organes des jeunes plants du chêne vert par rapport au témoin.

**Tab.5.20.** groupes homogènes du taux des protéines selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des hautes températures (Test de Newman et keuls).

**Tab.5.21.** Paramètres statistiques des teneurs en chlorophylle pour les basses et les hautes températures.

**Tab.5.22.** Taux de variation de la chlorophylle a, b, a+b et le rapport chlorophyllien a/b en fonction des différentes basses et hautes températures par rapport au témoin.

**Tab.5.23.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a de la  $V_1$  et la  $V_2$  en fonction des basses températures.

**Tab.5.24.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a de la  $V_1$  et la  $V_2$  en fonction des organes.

- Tab.5.25.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle b de la  $V_1$  et la  $V_2$  en fonction des basses températures.
- Tab.5.26.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle b de la  $V_1$  et la  $V_2$  en fonction des organes.
- Tab.5.27.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a+b de la  $V_1$  et la  $V_2$  en fonction des basses températures.
- Tab.5.28.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a+b de la  $V_1$  et la  $V_2$  en fonction des organes.
- Tab.5.29.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a/b de la  $V_1$  et la  $V_2$  en fonction des basses températures.
- Tab.5.30.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a/b de la  $V_1$  et la  $V_2$  en fonction des organes.
- Tab.5.31.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a de la  $V_1$  et la  $V_2$  en fonction des hautes températures.
- Tab.5.32.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a de la  $V_1$  et la  $V_2$  en fonction des organes.
- Tab.5.33.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle b de la  $V_1$  et la  $V_2$  en fonction des hautes températures.
- Tab.5.34.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle b de la  $V_1$  et la  $V_2$  en fonction des organes.
- Tab.5.35.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a+b de la  $V_1$  et la  $V_2$  en fonction des hautes températures.
- Tab.5.36.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle b de la  $V_1$  et la  $V_2$  en fonction des organes.
- Tab.5.37.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a/b de la  $V_1$  et la  $V_2$  en fonction des hautes températures.
- Tab.5.38.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a/b de la  $V_1$  et la  $V_2$  en fonction des organes
- Tab.5.39.** Paramètres statistiques des teneurs en chlorophylle pour les quatre saisons.
- Tab.5.40.** Taux de variation de la chlorophylle a, b, a+b et le rapport chlorophyllien a/b en fonction des variations thermiques saisonnières par rapport au témoin.

## PREAMBULE

La forêt algérienne apparaît comme une formation végétale dont les arbres sont en état de lutte continue contre les facteurs de dégradation. Compte tenu de tous les éléments climatiques particulièrement thermiques qui constituent des facteurs déterminants dans le fonctionnement des écosystèmes méditerranéens et des pressions anthropiques exercées sans cesse sur elle, la forêt semble glisser rapidement sur la voie d'une dégradation progressive des essences principales et son remplacement par les maquis et les broussailles. C'est pourquoi elle est clairsemée en formation ouverte, entrecoupée par de nombreux vides et les forêts méritant leur appellation sont plutôt rares (Fosa, 2000).

La situation critique de ces forêts a suscité l'intérêt d'une foule de chercheurs, tous attristés, de mener des études, proposer des solutions afin de remédier à ce problème. A ce sujet rappelons les synthèses sur les forêts méditerranéennes publiées par Emberger (1930) ; Tomasselli (1976); Le Houérou (1980, 1990); M'hirit (1982); Seigue (1985); Quezel (1986); Barbero & Quezel (1989) ; Quezel & Barbero (1989, 1990); Loisel (1992); Vallauri (1997) ; Montero & Canellas (1998). Cette multitude de travaux traitant de la dégradation des écosystèmes forestiers méditerranéens confirme l'intérêt de cet aspect.

Sur les changements climatiques et leur impact sur la forêt, signalons les travaux d'Emberger (1954) ; Le Houérou (1971, 1993, 1995) ; Rivaz-Martinez (1982) etc. Toutefois, à l'instar d'un nombre grandissant de pays du Circumméditerranéen, l'Algérie fait face à une dégradation intense de ses massifs forestiers.

Les chênes sclérophylles participent, ou même constituent pratiquement à eux seuls, divers types de paysage hautement caractéristiques du monde méditerranéen. Il s'agit bien sûr essentiellement de la forêt sempervirente méditerranéenne qui représente, lorsqu'elle n'a pas été détruite, l'unité physiologique, la plus généralement assimilée au climat et à la végétation méditerranéenne; parmi ces chênes, le chêne vert ou chêne d'yeuse qui représente l'essence forestière représentative de la forêt méditerranéenne où elle occupe actuellement entre 354 000 ha et 433 000 ha dont une partie est sous forme de taillis, il est normalement adapté aux conditions continentales et altitudinales entre le semi aride et le subhumide, il peut monter en altitude jusqu'à la limite de 1600 m où il est en concurrence directe avec le cèdre, néanmoins il déborde sur des stations du semi aride dans les stations les plus dégradées. La limite septentrionale de cette aire de distribution semble résulter de la concurrence avec des espèces mieux adaptées, plutôt qu'une inadaptation aux conditions climatiques, car l'amplitude écologique du chêne vert demeure importante sur le plan climatique et édaphique.

Notre objectif dans ce travail est d'évaluer le degré de tolérance de l'espèce aux conditions de stress thermique.

Notre étude s'attache à suivre le comportement des semis en conditions naturelles dans la région de Sétif et en chambre de culture où différents stress thermiques ont été appliqués dans un éventail thermique allant de -10°C à 44°C.

Une étude climatique détaillée sur le volet thermique a été réalisée en vue de détecter toutes les températures extrêmes (différents stress) de l'année expérimentale afin de déterminer l'éventail thermique.

Puis, nous nous sommes proposés d'analyser quelques paramètres morphologiques. Pour cela, nous avons analysé les différents paramètres de croissance (biomasse, hauteur des tiges et longueur des racines, ...) afin de bien comprendre l'impact de la variation thermique saisonnière sur le développement des plants de chêne.

Une quantification des marqueurs biochimiques (proline, sucres solubles, chlorophylle et protéines) a été réalisée sur les différents organes des plants (feuilles de la 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> vague de croissance, Tiges et Racines) au cours de l'année expérimentale en conditions naturelles et de stress contrôlés.

L'analyse écophysiological étudiera la capacité de résistance stomatique en fonction de la température, quelques essais de régulation stomatique ont été réalisés sur des plants durant la période estivale.

La présente étude a pour objectif générale de contribuer à une meilleure connaissance de l'adaptation et la tolérance des essences forestières aux différents stress environnementaux.

## **Organisation du mémoire**

Après une introduction générale, les chapitres 1 et 2 détaillent :

- La description de l'espèce, et le contexte théorique de la recherche,
- Le cadre biophysique et le climat de la zone d'étude ainsi que le matériel et la méthodologie d'étude.

Les Quatre chapitres suivants présentent les résultats originaux de la recherche :

- Cinétiques des températures fraîches et chaudes.
- Caractérisation de la variation morphologique et de la croissance des jeunes plants sous l'effet des variations thermiques.
- Caractérisation de la capacité d'adaptation et de tolérance des jeunes plants de *chêne vert* à l'aide de marqueurs biochimiques (proline, sucres solubles, protéines et chlorophylle).
- Les mesures de résistance stomatiques.

Enfin, le dernier chapitre présente les conclusions générales et les perspectives de recherche.

*Synthèse*

*Bibliographique*

---

## 1. DESCRIPTION DE L'ESPECE

### 1.1 Caractères généraux du *chêne vert*

#### 1.1.1 Caractères botaniques du *chêne vert*

Le *chêne vert* *Quercus ilex* L. est une espèce sempervirente de la famille des Fagacées. Il est considéré comme l'une des espèces les plus caractéristiques de la région méditerranéenne.

##### a) *Taxonomie du chêne vert*

**Embranchement :** Spermaphytes

**Sous-embranchement :** Angiospermes

**Classe :** Dicotylédone

**Ordre :** Fagales ou « Apétales »

**Famille :** Fagacées ou « cupulifères »

**Genre :** *Quercus*

**Espèce :** *Quercus ilex*

##### b) *Description*

Le *chêne vert* est très polymorphe. Aussi est-il difficile de le décrire avec précision. Pourtant on l'identifie facilement car il est l'un des rares *chênes* à feuilles persistantes. On le distingue bien de *Quercus suber*, lui aussi à feuilles persistantes mais caractérisé par son écorce. On le distingue de *Quercus coccifera* dont les feuilles, également persistantes, sont petites et piquantes, et dont la fructification est bisannuelle. Parfois, cependant, on a signalé bien à tort la présence de *chênes verts* là où n'existait que le *chêne Kermès*.

L'arbre a un enracinement pivotant, profond, pouvant atteindre 10 m et des racines latérales, traçantes et drageonnantes. Il peut dépasser 20 m en hauteur. On trouve des arbres de 25 à 30 m de hauteur, et de plus de 3 m de circonférence.

Les feuilles restent sur l'arbre pendant plus d'une année, parfois jusqu'à la troisième et même la quatrième année. Elles sont coriaces, concaves, ne se plient pas selon la nervure centrale. Leur forme et leur taille sont variables : elliptiques, lancéolées, arrondies, longues de 2 à 9 cm, large de 1 à 4 cm parfois plus ;

Sur le même sujet, parfois sur la même branche, on peut trouver des feuilles, de forme et de dimension très différentes, selon qu'elles ont poussé à la base ou à l'extrémité du rameau.

Elles sont à la face supérieure glabre et d'un vert foncé, grise et pubescentes à la face inférieure.

Leur bord peut être uni ou finement denté et ondulé. Elles portent de sept à douze paires de nervures. Le pétiole a environ 0,5 à 2 mm de longueur. Depuis longtemps on distingue les *chênes verts* à feuilles oblongues et les *chênes verts* à feuilles arrondies.

Dans les taillis, le chêne vert est précoce et fructifie la quatrième ou la cinquième année. Le gland peut être fertile vers six ou sept ans mais la glandée n'est abondante que vers dix ou quinze ans.

C'est une espèce monoïque et vraisemblablement dotée d'un système d'auto-incompatibilité, la pollinisation est anémophile.

Les chatons des fleurs mâles sont allongés et pubescents, très abondants et parfois recouvrent entièrement l'arbre d'une couleur jaune à reflets roux.

Les fruits (glands) sont subsessiles sur les ramuscules de l'année, la fructification annuelle (Novembre-Décembre) ne commence que lorsque l'individu atteint douze ans environ, devient appréciable vers vingt cinq-trente ans et abondante entre cinquante et cent ans (Boudy, 1952).

Les glands sont de forme très variable : ovoïdes, subsylindriques, globuleux ; leurs longueur varie de 1,5 à 3 cm et leur diamètre de 1 à 1,5 cm.

La plupart des glands sont amers et ne sont pas comestibles pour l'homme, mais ils sont tous très appréciés des animaux.

### c) Variétés de *Quercus ilex*

Les variétés que l'on a pu distinguer chez *Quercus ilex* sont très nombreuses. (Camus, 1936-1954) en cite une bonne cinquantaine, basée sur la forme de la feuille, du pétiole, des rameaux, de la cupule, de la saveur du gland, etc....

De nos jours une distinction tend à prévaloir, entre *Quercus ilex* et une espèce voisine : *Quercus rotundifolia*. Elle est basée essentiellement sur la forme des feuilles : longues et abondamment nervurées pour *Quercus ilex*, rondes et pauvrement nervurées pour *Quercus rotundifolia*. On reconnaît aux deux espèces des tempéraments et des aires de répartition sensiblement différents. Mais pour beaucoup d'auteurs, quand on parle de *Quercus ilex*, ce sont les deux espèces que l'on désigne, et *Quercus rotundifolia* n'est qu'une variété méridionale et occidentale de *Quercus ilex*.

Les deux espèces s'hybrident d'ailleurs très facilement entre elles, ce qui complique la distinction. Toutes deux s'hybrident, en outre, fréquemment avec *Quercus coccifera* pour donner *Quercus auzendi* dont la feuille est proche de celle de *Quercus coccifera* et le fruit proche de celui de *Quercus ilex* pour ses cupules à écailles sont piquants. Plus rarement, *Quercus ilex* s'hybride avec *Quercus suber* pour donner *Quercus morosic* dont la cupule est assez proche de celle de *Quercus suber* mais l'écorce est très faiblement liègeuse.

### 1.1.2 Caractères climatiques.

Le chêne vert est une essence robuste, très plastique, qui s'accommode à différents types de climats. Il supporte autant les froids hivernaux que les grandes sécheresses estivales. En effet, le chêne vert peut supporter un indice xérothermique de 0 à 150.

Vis-à-vis de la température, le chêne vert supporte une variation de température minimale "m" allant de  $-3^{\circ}\text{C}$  à  $+7^{\circ}\text{C}$ , atteignant une valeur de  $-7^{\circ}\text{C}$  au Maroc ; la limite inférieure extrême étant  $-15^{\circ}\text{C}$ . Il résiste à des températures maximales (M) pouvant atteindre  $42^{\circ}\text{C}$ .

Quant aux précipitations, il admet une tranche pluviométrique variant de 384 mm à 1462 mm (Sauvage, 1961) ; mais il peut atteindre un minimum de 250 mm selon Barry et al., (1976).

Le tri des espèces par le froid placerait le chêne zeen et le chêne vert en tête ; suivis en ordre décroissant par le pin d'Alep, l'alfa, le thuya et le chêne liège (Alcaraz, 1970).

Pour les précipitations, le classement serait le suivant : *chêne zeen*, *chêne liège*, chêne vert, *oleastre* et *thuya* (Sauvage, 1961).

Son aptitude à s'accommoder à des conditions climatiques variées permet aussi de couvrir plusieurs étages bioclimatiques semi-aride, sub-humide dans leurs variantes froides, fraîches et tempérées et même très froides au Maroc.

Dans l'étage semi-aride il représente le type xérophile de la chênaie verte, localisée en Algérie, dans les Aurès et les montagnes du sud Oranais. Mais c'est dans les étages sub-humide et humide qu'il connaît son plein développement en peuplant de vastes massifs forestiers surtout dans la partie occidentale de l'Algérie.

### 1.1.3 Caractères édaphiques.

Le *chêne vert* présente une grande plasticité édaphique. Il est indifférent à la composition chimique du substrat (Maire, 1926 ; Boudy, 1952 et Quezel, 1976, 1979). En effet, en Algérie on le rencontre sur grès, calcaires, marno-calcaire, dolomies et schistes. Il s'accommode de tous les types de substrat siliceux ou calcaire et de sols superficiels ou profonds. Cependant le chêne vert, comme les principales essences forestières, fuit les substrats mobiles et les sols hydromorphes (Achhal, 1979).

## 1.2 Répartition géographique.

L'aire de distribution du chêne vert est représentée sur la figure 1.1.

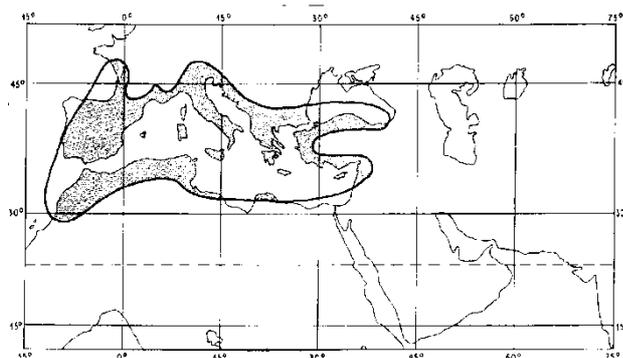


Fig 1.1. Distribution de *Q. ilex* dans le Bassin Méditerranéen. (Barbero et Loisel, 1980)

*Quercus ilex* s'étend sur presque tout le bassin méditerranéen; parfois il le déborde. C'est cependant dans le bassin occidental de la Méditerranée qu'il est le plus répandu (Fig.1.1)

Le *chêne vert* est une espèce à vaste répartition, les formations les plus âgées se rencontrent en Asie centrale ; il s'étend depuis la Grande Bretagne jusqu'en Himalaya (Boudy, 1955). *Quercus ilex* se trouve principalement dans la partie occidentale du bassin méditerranéen et voit son aire de distribution diminuée dans la partie centrale du bassin pour disparaître totalement dans la zone orientale. La limite septentrionale de cette aire de distribution semble résulter de la concurrence avec des espèces mieux adaptées, plutôt que d'une inadaptation aux conditions climatiques, car l'amplitude écologique du chêne vert est très importante tant du point de vue climatique (thermique et hydrique) qu'édaphique (Barbero et al., 1992).

Il est difficile de donner une statistique de la répartition de cette espèce parfois disséminée, parfois mélangée et souvent très dégradée. C'est seulement pour le bassin occidental de la Méditerranée que l'on peut avancer des chiffres, avec beaucoup de prudence notamment quand il n'y a pas d'inventaire forestier.

Espagne	2890.000 ha
Portugal	530.000 ha
France	350.000 ha
Italie	380.000 ha
Tunisie	80.000 ha
Algérie	680.000 ha
Maroc	1340.000 ha

– **En Algérie.**

Le *chêne vert* occupe une très grande partie de la surface forestière Algérienne ; on le trouve partout, aussi bien sur l'Atlas saharien que l'atlas Tellien où il forme de belles forêts en Kabylie et sur les monts de Tlemcen (Fig.1.2).

Les plus importantes chênaies sont localisées en Oranie, en peuplements purs ou mélangés avec le pin d'Alep dans la région de Tiaret, et de Saïda. Il se trouve sous forme de futaies âgées dans la région de Tlemcen.

On trouve le chêne vert sur les régions côtières, les massifs montagneux, littoraux et l'Atlas Tellien inclus dans le domaine Maghrébin-Méditerranéen où il se mélange au cèdre, au chêne zeen et au chêne afares ; dans l'étage humide frais (Barry et al., 1976).

Dans l'étage sub-humide, il entre en concurrence avec le chêne liège (sur sol silicieux) ou encore avec le pin d'Alep. Dans son faciès continental, de l'étage semi-aride froid et frais lié au domaine magrébin-steppique, il se mélange au pin d'Alep et au genévrier rouge. Dans la variante tempérée du semi-aride, il entre en contact avec le thuya.

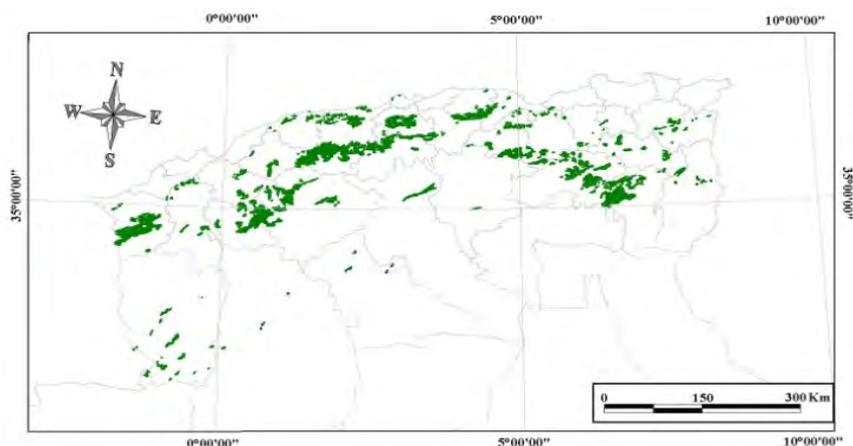


Fig 1.2. Répartition du chêne vert en Algérie

Source : DGF Modifié 2007

### 1.3 Répartition altitudinale et notion d'étage de végétation.

En **Algérie** et plus précisément dans l'Atlas Tellien, le *chêne vert* apparaît à partir de 400m d'altitude (Maire, 1926 et Quezel, 1976) et monte jusqu'à 1700m. Dans les Aurès, ses limites altitudinales oscillent entre 1200 et 1900m et entre 1500 et 2200m dans l'Atlas Saharien.

Il représente donc en Afrique du nord une espèce de montagnes alors qu'en France il colonise plutôt les plaines et les collines.

Il est répandu dans presque tout le **Maroc**, surtout dans la moyenne montagne, dans le Rif. Dans le moyen Atlas il couvre les pentes jusqu'à 2800 m.

Pour Maire (1926), la *chênaie verte* caractériserait l'étage montagnard en Afrique du Nord. Cette notion d'étage est liée pour cet auteur à une variation altitudinale et physiologique.

Emberger (1936) propose de dégager la notion d'étage de végétation de la variable « altitude » et le définit par le climat. Ainsi à chacun des étages bioclimatiques distingués pour l'ensemble du bassin méditerranéen correspond un étage de végétation.

Les limites altitudinales des étages de végétation n'ont qu'une valeur locale ; elles varient en fonction de la latitude. A chaque étage de végétation correspond un groupement végétal. En Algérie nous rencontrons les étages suivants

- Oroméditerranéen Résineux (cèdre, sapin)
- Supraméditerranéen Groupement à chênes caducifoliés.
- Mésoméditerranéen forêt sclérophylle
- Thermoméditerranéen Olivier-lentisque, conifères méditerranéens.

Le mésoméditerranéen, qui s'étend de 700 à 1200 m d'altitude est représenté par une chênaie à *phillyrea media*, *Arbutus unedo* et *lonicera implexa*. Au dessus de 1200 m, apparaît le méditerranéen supérieur, caractérisé par une chênaie à *gallium ellipticum*,

A partir de 1600 m, lui succède l'étage montagnard, correspond à l'étage bioclimatique sub-humide froid et très froid, où le chêne vert constitue souvent des peuplements mixtes avec le cèdre. Par contre en bioclimat semi-aride, le chêne vert, toujours dominant ou associé, constitue des formations présteppe présentant des espèces des *Pistacia\_Rhamnetalia* avec l'absence d'espèces sylvatiques.

Une relation, étage de végétation-climat et plus particulièrement facteurs thermiques a été établie par [Daget \(1977\)](#), [Donnadieu \(1977\)](#) et [Quezel \(1979\)](#) pour la température moyenne des minimums du mois le plus froid (*m*). [Rivas-Martinez \(1981\)](#) qui ajoute la température moyenne annuelle (*T*) retient les deux facteurs thermiques comme étant les plus constants et les plus significatifs et propose les correspondances suivantes :

- Cryoméditerranéen ; moins de 4° ; variante extrêmement froide ; mois de -6°C.
- Oroméditerranéen ; de 4° à 8° ; variante très froide de -6° à -3°.
- Supraméditerranéen ; de 8° à 12° ; variante froide : de -3° à 0°C.
- Mésoméditerranéen ; de 12° à 16° ; variante fraîche : de 0° à + 3°C.
- Thermoméditerranéen; plus 16° ; variante chaude et tempérée : de +3° à +10°C.

A l'intérieur de ces étages bioclimatiques de végétation, [Rivas-Martinez \(1981\)](#) décrit la distribution de la végétation climacique dont la diversité est à l'ombroclimat, les sols et la topographie. Le chêne vert participe aux associations décrites depuis l'étage thermoméditerranéen jusqu'à l'étage supraméditerranéen.

Cette remontée des chênaies sclérophylles dans l'étage supraméditerranéen aurait été favorisée par leur aptitude à mieux résister à l'action anthropique.

C'est ainsi qu'en de nombreux points du bassin méditerranéen, en zones bioclimatique humides et sub-humide, a pu être observée la recolonisation des taillis de chêne vert par les feuillus (chêne zeen, merisier...) pour peu que la pression humaine diminue.

Les zones actuellement occupées par le *chêne vert* représentent ([Barbero et Loisel, 1980](#)) :

- Soit des territoires de chênaies vertes climaciques,
- Soit des territoires de forêts mixtes ; feuillus et sclérophylles,
- Soit des territoires de chênaies caducifoliées.

#### 1.4 Résistance aux contraintes environnementales.

Une des principales raisons expliquant le succès du *chêne vert* en zone méditerranéenne réside dans sa remarquable résistance aux contraintes écologiques et en particulier hydriques. Car si les fluctuations saisonnières des ressources en lumière et dans une certaine mesure en température sont prédictibles il n'en est pas de même pour la ressource hydrique et les nutriments (Kummerow et al., 1981), ressources limitantes pour la croissance végétale en zone méditerranéenne. Les périodes de croissance (débourrement et mise en place des nouveaux rameaux et des nouvelles feuilles) et de reproduction, se déroulent au printemps avant l'apparition du déficit hydrique. Le chêne vert présente un certain nombre de traits biologiques lui permettant de survivre et de continuer à fonctionner pendant les périodes de sécheresse. Ainsi, en plus d'un enracinement profond, le chêne vert peut répondre à une forte sécheresse par le développement d'une surface évapotranspirante limitée qui est en relation avec la faible réserve hydrique des sols sur lequel il pousse (Barbero et al., 1992). Une autre réponse est le maintien de l'ouverture des stomates à des potentiels hydriques très négatifs qui permet le maintien de flux de transpiration et par conséquent une activité photosynthétique importante. Ce mécanisme autorise le chêne vert à conserver un bilan carboné positif au cours d'événements climatiques fortement défavorables (Acherar et al., 1991). L'ensemble de ces réponses à la sécheresse permet au chêne vert de maintenir une certaine croissance, malgré le ralentissement important de l'activité physiologique (De Lillis et Fontanella, 1992).

## 2. COMPORTEMENT DES VEGETAUX VIS-A-VIS DE LA CONTRAINTE THERMIQUE

### 2.1 Approche conceptuelle du stress.

La définition du stress chez les plantes apparaît avec des significations différentes en biologie, qui convergent principalement en attribuant le stress à n'importe quel facteur environnemental défavorable pour une plante (Levitt, 1980). En conséquence, la capacité d'une plante à survivre à un facteur défavorable est appelée la résistance ou la tolérance au stress. Strasser (1988) et Tsimilli-Michael *et al.*, (1996) considèrent que le stress a une signification relative, avec un contrôle comme état de référence, ils considèrent le stress comme une déviation du contrôle à une contrainte.

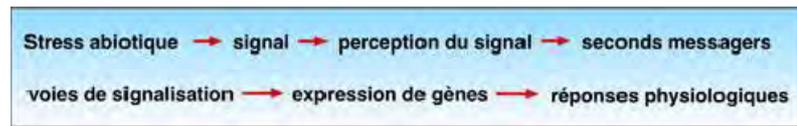
Le stress correspond à toute condition de l'environnement ou combinaison de condition qui empêche la plante de réaliser l'expression de son potentiel génétique pour la croissance, le développement et la reproduction.

Les principaux stress environnementaux auxquels les plantes sont confrontées.
<b>Température élevée (chaleur)</b>
<b>Faibles températures (froid et gel)</b>
Excès d'eau (inondation, anoxie)
Déficit hydrique (sécheresse, faible potentiel hydrique)
Salinité
Radiations (lumière visible, ultraviolet)
Produits chimiques (pesticides, métaux lourds, polluants atmosphériques)
Biotiques (pathogènes, compétition)

Les stress environnementaux tels que le stress thermique, le déficit hydrique et d'autres, affectent la croissance et le rendement des plantes. 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 (Cornic, 2007).

- ***Sensibilité des plantes aux stress abiotiques.***

Les végétaux perçoivent les signaux environnementaux et les transmettent à la cellule pour activer des mécanismes de réponses. La voie de transduction du signal commence par sa perception au niveau de la membrane végétale, suivie par la production de seconds messagers et de facteurs de transcription. Ces facteurs de transcription contrôlent alors l'expression des gènes impliqués dans la réponse au stress, incluant des changements morphologiques, biochimiques et physiologiques (Fig. 1.3).



**Fig. 1.3.** La voie de transduction d'un signal de réponse à un stress abiotique chez la plante (d'après: Roeder 2006)

- **La réponse des plantes aux différents stress.**

La réponse des plantes aux stress abiotiques dépend des caractéristiques du stress et de la plante. Un stress se caractérise par son intensité, sa durée, le nombre d'expositions ainsi que par son association à d'autres stress (biotique ou abiotique).

De nombreux facteurs conditionnent la réponse à un stress:

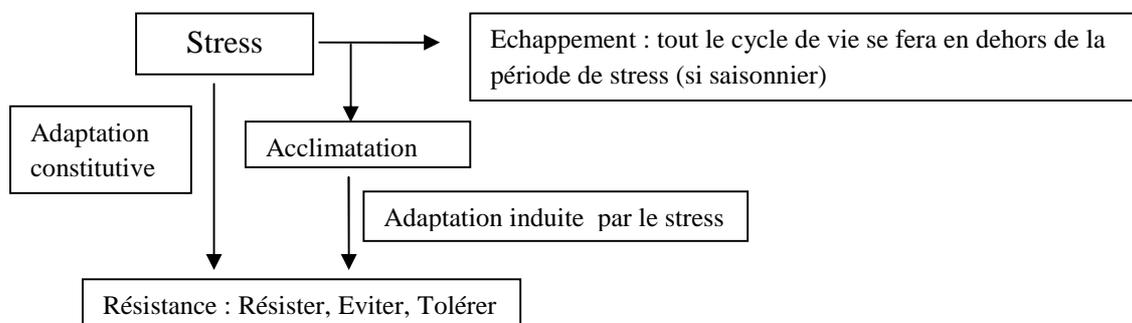


**Fig. 1.4.** Facteurs conditionnant la réponse de la plante à un stress d'après (Bray et al., 2000 in Touchard 2006).

La réponse se déroule en plusieurs étapes:

- la perception du stress,
- l'activation de gènes de réponse au stress qui codent pour des protéines de réponse au stress impliquées dans la transduction du signal,
- le déclenchement des modifications du métabolisme.

Les plantes peuvent répondre aux stress de diverses façons. Elles peuvent éviter les effets de stress en accomplissant leur cycle de croissance durant les périodes de moindre stress ou bien elles ne peuvent pas le supporter auquel cas elles peuvent subir des lésions, ou bien des modifications spécifiques de leur métabolisme leur permettant d'éviter ou de tolérer les effets de stress.



**Fig. 1.5.** Quelques stratégies de lutte contre les stress abiotiques

L'état de référence est dynamiquement défini comme situation à laquelle la plante est adaptée à son environnement ou d'une manière équivalente, la plante est à son état thermodynamique optimal ou l'état de production minimale d'entropie. Le système est alors caractérisé qu'étant en harmonie avec son environnement. Cette caractérisation exprime l'optimalité, précisant qu'elle se rapporte à l'interaction du système avec son environnement. En changeant les conditions environnementales qui affectent l'harmonie réalisée, et qui mènent à la dysharmonie avec l'environnement qui est un événement stressant et par conséquent définie comme facteur de force. De telles perturbations mènent le système à la sub-optimalité.

## 2.2 Le stress thermique

Pour effectuer sa croissance et son développement, chaque plante exige une gamme bien particulière de températures. Chaque plante possède une température optimale de croissance et de développement, qui ne peuvent se dérouler qu'entre des limites supérieures et inférieures. Lorsque la température avoisine ces limites, la croissance diminue et au delà, elle s'annule (Hopkins, 2007). Le stress thermique est souvent défini quand les températures sont assez hautes ou basses pendant un temps suffisant pour qu'elles endommagent irréversiblement la fonction ou le développement des plantes. Elles peuvent être endommagées de différentes manières, soit par des températures basses ou élevées de jour ou de nuit, par l'air chaud ou froid ou par les températures élevées du sol. La contrainte thermique est une fonction complexe qui varie selon l'intensité (degré de la température), la durée et les taux d'augmentation ou de diminution de la température (Oukarroum, 2007).

- **Températures critiques.**

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

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

## 2.3 Stress au froid.

La sensibilité des plantes aux températures extrêmes est très variable. Certaines sont tuées ou lésées par les baisses modérées de température, alors que d'autres parfaitement acclimatées, sont capable de survivre au gel à des dizaines de degrés °C en dessous de zéro.

Dans certains milieux, les plantes sont soumises, occasionnellement, ou régulièrement de façon saisonnière, à des températures basses. La plupart d'entre elles sont capables de résister aux températures supérieures à 0°C. Cependant beaucoup de mésophytes peuvent être endommagées à

partir de 15°C. Plus que résister au froid, elles évitent ces effets en ajustant leur cycle de vie aux périodes clémentes de l'année. Ce sont des plantes, comme le Maïs, d'origine tropicale ou subtropicale, dont la limite nord de culture en Europe est bornée par l'occurrence trop fréquente de températures fraîches.

Les espèces sont divisées en trois catégories (Pearce, 1999 in Côme, 1992) :

- Les **plantes tolérantes au gel** qui sont capables de s'acclimater pour survivre à des températures inférieures à 0°C.
- Les **plantes tolérantes au froid mais sensibles au gel** qui sont capables de s'acclimater à des températures inférieures à 12°C mais ne survivent pas à un gel.
- Les **plantes sensibles au froid** pour lesquelles des températures inférieures à 12°C entraînent des dommages.

### 2.3.1 Les basses températures positives (froid).

Quand les plantes sont soumises à des températures sub-optimales (entre 10 et 20°C), la croissance et le développement se ralentissent, à des températures dites froides (entre 0 et 10°C), des dommages tissulaires et cellulaires apparaissent et à des températures négatives, les parties aériennes meurent. Les effets du froid ne dépendent non seulement du minimum de température atteint, mais aussi de la nature et de la progressivité du refroidissement, de sa durée et du réchauffement, de l'espèce et de son âge.

Les symptômes des dommages causés par le froid sont le reflet d'un dysfonctionnement de toute série de métabolisme comme l'arrêt des mouvements de cyclose, la réduction de la respiration, de la photosynthèse et des synthèses protéiques.

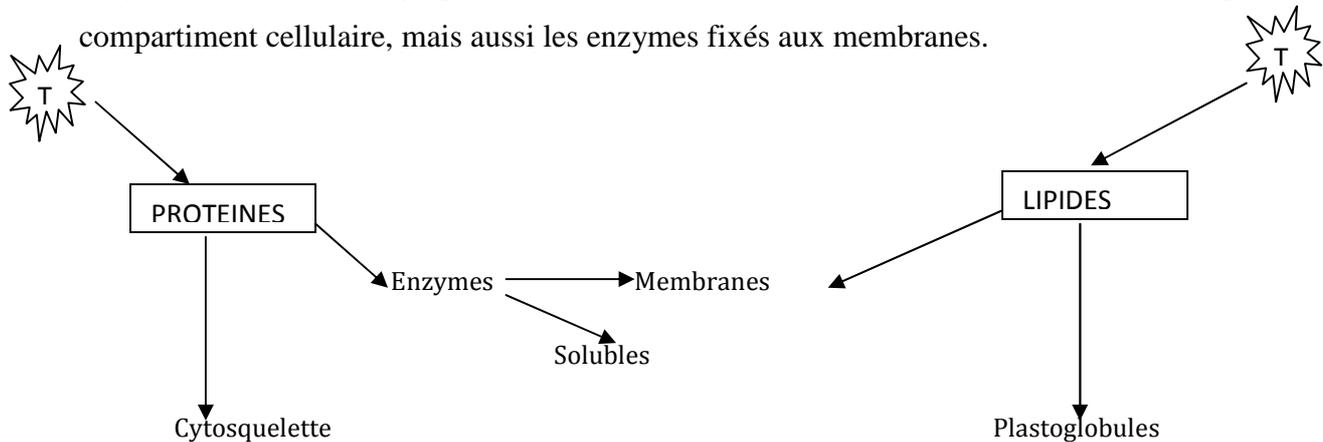
#### \* **Changement de propriétés de membrane en réponse aux dommages de réfrigération**

Les membranes qui limitent les compartiments cellulaires sont des édifices lipoprotéiques souples à structures rigoureuses et variable. Le rôle puissant de la température sur les membranes porte sur deux points : la disposition réciproque des molécules entre elles et la souplesse, voir la fluidité de l'ensemble.

Les structures des macromolécules et les forces de cohésion assurant leurs édifices et leurs assemblages sont profondément modifiées par des variations de températures. Ceci concerne principalement les protéines et les lipides.

Un abaissement de température provoque une rigidification générale des phases lipidiques membranaires, l'importance de ces derniers à la tolérance aux basses températures a été démontrée par le travail avec des mutants et des plantes transgéniques auxquelles l'activité des enzymes particulières a mené à un changement spécifique de composition en lipides membranaires indépendant à l'acclimatation aux basses températures.

La figure 1.6 montre les liens qui existent entre les protéines et les lipides au sein d'un système cellulaire structuré. Evoquer la sensibilité ou fragilité des protéines, c'est faire appel aux modifications d'activité des enzymes mais aussi de la conformation des protéines du cytoplasme et de la viscosité de ce milieu interne. C'est donc d'une façon ou d'une autre déboucher sur une dynamique d'échanges internes. Les modifications d'activités enzymatiques peuvent concerner les enzymes solubles du cytoplasme, du stroma ou de toute solution colloïdale remplissant un compartiment cellulaire, mais aussi les enzymes fixés aux membranes.



**Fig.1.6.** Actions des températures sur les pools protéiques et lipidiques cellulaires.

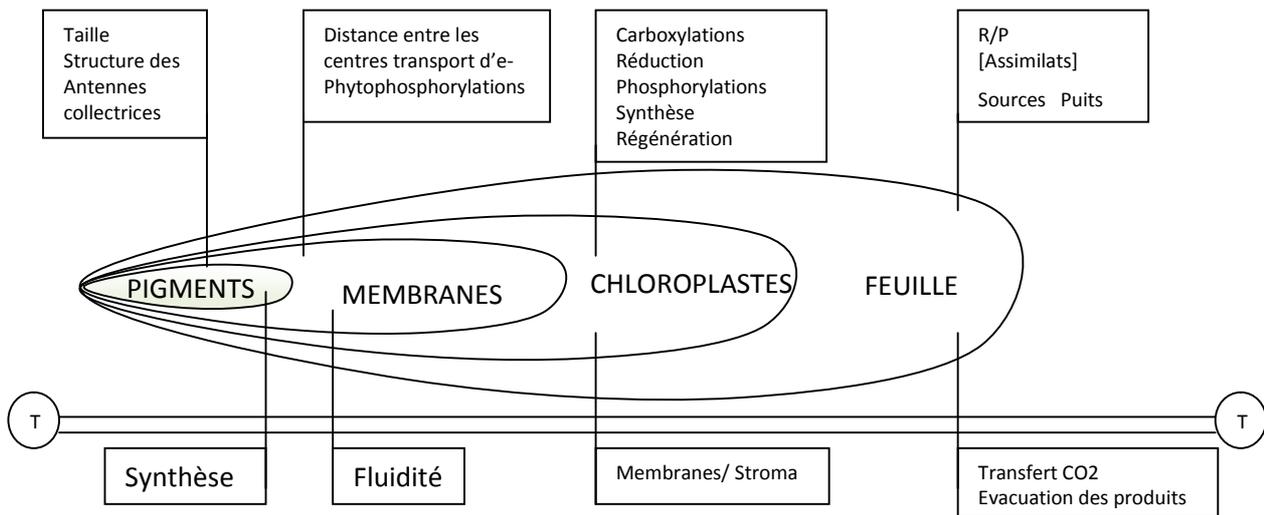
#### \* Effet sur la photosynthèse

La réponse des plantes de leurs activités photosynthétiques à la température reflète le régime thermique qu'elles subissent. L'effet global que l'on mesure généralement par l'incorporation du  $\text{CO}_2$ , et donc la résultante de multiples effets sur des étapes élémentaires du processus photosynthétique.

La réponse de l'incorporation du  $\text{CO}_2$  à la température est une fonction de l'intensité de l'éclairement nécessaire et de la concentration en  $\text{CO}_2$ . Un abaissement de la température agit sur la capacité de transfert d'électrons des membranes photosynthétiques et sur l'activité des enzymes clés intervenant sur le métabolisme carboné.

Le rendement quantique de l'incorporation de  $\text{CO}_2$  varie selon les espèces et selon la température. Chez les plantes de type  $\text{C}_3$ , le rendement quantique de l'incorporation de  $\text{CO}_2$  augmente lorsque la température diminue de 40 à 10°C°, cependant les espèces en  $\text{C}_4$  ne présentent pas cette dépendance vis-à-vis de la température.

Ainsi lors d'un éclairement intense, le froid peut causer des dégâts au niveau des membranes de thylakoides en provoquant une inhibition de la synthèse des chlorophylles et une dégradation des pigments photorécepteurs.



**Fig.1.7.** Schéma de l'emboîtement des structures de l'appareil photosynthétique (D'après Gallais.1984).

Pour chaque niveau, un processus (partie basse du schéma) contrôlé par la température (T) est traduit de diverses manières (résumés dans la partie hautes du schéma).

**\* Effet sur la respiration**

L'abaissement de la température provoque une diminution régulière de l'intensité respiratoire ; l'effet sur la respiration globale des tissus n'est en fait qu'une traduction de l'effet de la température au niveau des processus plus élémentaires.

La capacité des mitochondries extraites d'un tissu végétal à oxyder un substrat du cycle de Krebs est très sensible à la température, la réduction de la vitesse du transport de ces électrons à nécessairement des répercussions au niveau de la synthèse d'ATP et de la fourniture d'énergie aux tissus.

**\* Effet sur le transport**

Les plantes entières, à l'opposé des organes végétaux (racines, tiges.....), présentent un degré de sensibilité supplémentaire à l'égard des basses températures. En effet, le fonctionnement de chacune des parties de la plante dépend des échanges entre les différents organes constitutifs du végétale et, en particulier, de l'apport de substances nutritives provenant soit des racines (alimentation minérale), soit des feuilles (alimentation carbonée). Les mouvements de solutés qui se déroulent dans les tissus spécialisés ou le long d'organes spécialisés sont profondément affectés par l'abaissement de la température.

**\* Altération de la croissance**

La réponse la plus fréquente d'une plante soumise à une situation environnementale défavorable consiste en une réduction de croissance et une altération de la morphogénèse.

De jeunes plantules présentent typiquement des signes de réduction de la croissance des feuilles, de flétrissement et de chlorose. Dans des cas extrêmes il apparaît un brunissement et des zones de

tissus morts (nécroses) et/ou la mort de la plante peut s'ensuivre. Chez certaines plantes, le développement de l'appareil reproducteur est particulièrement sensible aux basses températures.

Pour beaucoup de plantes des régions tempérées, le froid non gelant peut avoir au contraire, **des effets bénéfiques** :

- Acquisition de l'aptitude à la germination ;
- Débourrement des bourgeons (levée de la dormance) ;
- Induction de la mise à fleur (vernalisation) ;
- Acquisition de la résistance au gel (endurcissement) ;
- Amélioration de la maturation de certains fruits...etc.

### **2.3.2 Les basses températures négatives (gel).**

Le gel s'accompagne en général de la formation de cristaux de glace dans les tissus de la plante. En période hivernale, les effets du gel dépendent de son intensité plus que sa durée. Il peut agir directement sur le végétal et produire une nécrose des bourgeons, le noircissement du xylème, l'éclatement des troncs et la mort des feuilles pour les plantes à feuillage persistant.

La résistance des plantes au gel ne reste pas toujours constante pendant toute la période hivernale. Ainsi, des gelées moyennes mais brutales, survenant après une période prolongée de redoux, sont parfois plus dangereuses que des gelées plus intenses, mais plus progressives.

Le gel peut aussi agir indirectement, en déchaussant les jeunes semis ou bien encore, au printemps, en s'opposant à l'absorption racinaire lorsque le sol reste gelé sur une grande profondeur.

Les dégâts provoqués par le gel peuvent souvent apparaître dans des circonstances variées. Ainsi, des gelées de printemps, même peu importantes, sont susceptibles de détruire des bourgeons végétatifs ou floraux au début de la reprise de la croissance (débourrement).

#### **Variations de la résistance au gel selon les végétaux.**

Selon le comportement, on distingue plusieurs catégories de plantes :

- **Plantes sensibles au gel**

Elles ne résistent pas à la formation de glace dans leurs tissus et sont incapables de s'endurcir, peuvent résister aux gelées de moyenne importance.

- **Plantes moyennement résistantes au gel**

Ces végétaux supportent la formation de glace dans leurs tissus.

- **Plante très résistantes au gel**

Chez les plantes qui résistent au gel, il se forme, de façon générale, des cristaux de glace dans l'apoplasme (et non dans le cytoplasme), à proximité ou même au contact des parois cellulaires. C'est le cas des céréales d'hiver, des choux, de la grande Fétuque, qui peuvent survivre à des températures de -25 °C. C'est le cas aussi de beaucoup d'espèces ligneuses (Cornic, 2007).

La résistance aux très basses températures est particulièrement marquée dans le cas des arbres des régions tempérées, dans la plupart résistent jusqu'à des températures de  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Les différences d'aptitude des végétaux à résister au gel ont diverses origines.

- **Absence de cristallisation** : par ce moyen, la plante évite la formation de cristaux de glace internes ; ce mécanisme est favorisé par l'abaissement de la température de cristallisation et par les possibilités de surfusion (un liquide est en surfusion s'il ne cristallise pas, même à une température inférieure à sa température de cristallisation).
- **Tolérance à la formation de la glace** : c'est le mode de résistance le plus répandu chez les végétaux ; il nécessite une adaptation particulière qui se développe uniquement pendant la période hivernale.
- **Différenciation d'organes de résistance** : les plantes sensibles au gel peuvent développer des organes de résistance : semences, grain de pollen, qui à l'état déshydraté, résistent jusqu'à la température de l'azote liquide.

## 2.4 STRATEGIES ET MECANISMES DE TOLERANCE AU GEL

Les mécanismes de défense sont variés, ils vont de la production de protéines ou d'autres composés, glucidiques par exemple, pour stabiliser les membranes, à la modulation de la température à laquelle l'eau va s'organiser en cristaux de glace.

→ **Phénomène de surfusion (supercooling).**

La surfusion survient du fait de l'absence de germes de nucléation qui sont indispensables à l'initiation de la formation de glace. La température de l'eau qui se refroidit lentement peut être considérablement inférieure à  $0^{\circ}\text{C}$  (jusqu'à  $-38^{\circ}\text{C}$  pour l'eau pure, mais habituellement jusqu'à  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$ ) avant que la glace ne se forme. La température remonte brutalement à  $0^{\circ}\text{C}$  lorsque les premiers cristaux de glace apparaissent. Ce réchauffement, d'une température négative jusqu'à  $0^{\circ}\text{C}$ , est dû à la libération de la chaleur de fusion. Ce phénomène de surfusion est courant chez les plantes. La température à laquelle se forme la glace, lorsqu'elles subissent régulièrement des périodes de froid est souvent comprise entre  $-2^{\circ}\text{C}$  et  $-3^{\circ}\text{C}$ , voire  $-12^{\circ}\text{C}$ .

Chez certains organes, en particulier les bourgeons végétatifs de conifères et les bourgeons floraux du pommier et d'autres arbres fruitiers à feuilles caduques, on observe malgré la formation de cristaux de glace dans les écailles des bourgeons et dans les organes voisins, des températures de surfusion accentuée atteignant  $-40^{\circ}\text{C}$ .

→ **Formation de la glace à l'extérieure de la cellule, dans l'apoplasme. Sécheresse induite par le gel.**

La congélation se fait d'abord dans les vaisseaux du xylème : c'est là que se trouve le plus grand volume d'eau disponible, et la congélation, qui se produit avec une certaine probabilité, fonction de la présence de particules (germes de congélation) servant de point de départ à la formation des

premiers cristaux et du degré de surfusion, apparaîtra d'abord dans un volume d'eau important. C'est là aussi que la concentration en solutés de l'eau est la plus faible. Et par conséquent là où le point de congélation est le plus élevé.

La diminution du volume cellulaire induit par la formation de glace dans le compartiment extracellulaire produit des contraintes sur le plasmalemme puisque la couche bilipidique dont il est formé n'est que très peu élastique.

A cela s'ajoute le fait que la paroi cellulosique qui entoure les cellules forme un cadre rigide : la diminution du volume cellulaire peut entraîner une rupture des connections qui unissent les cellules d'un même tissu, via les plasmodesmes, provoquant des dommages additionnels.

→ **Les germes de congélation.**

Les agents autour desquels l'eau va s'organiser en structures qui ressemblent à des cristaux de glace, qui sont responsables de sa cristallisation, sont des germes de congélation. Ils peuvent être des poussières, mais être aussi de nature biologique. En particulier, les plantes infestées par des microorganismes sont beaucoup plus sensibles au gel et que cela n'est en rien dû à une réduction de leur résistance en raison de l'infection. De même les plantes se trouvant dans une zone polluée et chez lesquelles on trouve quelques microparticules dans les espaces intercellulaires sont plus sensibles au gel.

La première structure cristalline s'organise autour de séquences particulières dont certaines sont très conservées. La disposition des acides aminés qui les constituent permettrait une disposition locale des molécules d'eau en structures voisines de celle des cristaux de glace. Il est bien clair cependant que toutes les protéines ne jouent pas ce rôle, mais la relation entre la structure des séquences efficaces et l'organisation des molécules d'eau autour d'elles reste très largement encore à explorer. Les phospholipides membranaires interviennent aussi, en permettant probablement l'ancrage et un positionnement adéquat des protéines membranaires jouant le rôle de germes de congélation.

**2.5 Mécanismes d'acclimatation au froid.**

Lorsque certaines plantes sont exposées à basse température pendant une durée relativement longue, elles peuvent développer progressivement une adaptation au froid plus ou moins importante.

L'acclimatation au froid s'accompagne généralement d'une synthèse de nombreux composés, tels que les protéines, lipides ou métabolites divers, qui rendent le matériel tolérant au froid. Des modifications des structures de ribosomes ont été observées, la structure de certaines enzymes peut être modifiée dans un sens qui augmente à la fois leur stabilité aux basses températures et leurs propriétés cinétiques.

La tolérance au stress oxydatif observée au froid, de même que la tolérance au gel ne sont pas constitutives : elles sont induites en réponse à des températures fraîches au-dessus de 0°C (de 1 à 5°C).

Par exemple, le blé qui est habituellement tué par un gel modéré (-5 °C) peut survivre après une acclimatation au froid à des températures de -20°C. Un épinard cultivé à 20°C, puis acclimaté quelques jours à 5°C, devient très résistant aux effets conjugués des fortes lumières et du froid. L'activité photosynthétique intervient dans ce processus d'endurcissement. Mais l'induction de la tolérance au gel par un traitement à un froid modéré (2°C à 5°C) dépend beaucoup des espèces considérées : les plantes des régions tropicales ne peuvent en effet pas survivre à un gel ni même à une température fraîche (10°C à 15°C). D'autre part, on note chez quelques espèces, comme le blé et le seigle, que seules les feuilles qui se sont développées au froid sont plus tolérantes. Cette tolérance disparaît chez le seigle préalablement cultivé à températures fraîches et transféré 3 jours à 20°C. Cependant il y a aussi une diversité de cette dé-acclimatation puisqu'elle demande au moins trois semaines chez la renoncule des glaciers et ne s'observe pas chez *Soldanella alpina*.

→ **Rôle de la lumière dans l'acclimatation au froid.**

La lumière en association avec les températures basses est nécessaire à l'acclimatation. 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.

Wanner et Junttila (1999) montrent que la température durant la photosynthèse journalière 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.

→ **L'acclimatation au froid est liée à l'accumulation de solutés.**

De façon générale, la tolérance au froid est reliée à l'accumulation de produits divers par les plantes. Ce sont souvent des polyols, du glycérol mais aussi des glucides, comme le tréhalose le saccharose. Ces substances abaissent, bien entendu, le point de congélation de l'eau dans la cellule, mais également, se lient aussi aux membranes, empêchant l'eau d'y parvenir et par conséquent d'y former des cristaux.

La proline que l'on trouve en abondance dans les choux après l'hiver pourrait avoir ce rôle.

Il est classique de mettre en relation chez les plantes pérennes vivant dans les régions où la période froide est marquée, l'augmentation de la concentration de solutés dans la plante lors de l'arrivée de la mauvaise saison avec l'augmentation de la résistance au froid ; cette acclimatation est réversible et la concentration de solutés diminue avec la résistance au froid lorsque la belle saison s'annonce.

### \* **Rôle des sucres solubles**

Lors d'un stress froid, les sucres jouent le rôle d'osmorégulateurs et de cryoprotecteurs grâce à l'accumulation de sucres solubles dans la cellule. Le plus abondant est souvent le saccharose qui est accompagné de glucose et de fructose (Winter et Huber, 2000). Chez *Arabidopsis*, le rapport sucres solubles/amidon augmente. Les sucres synthétisés ne sont donc pas mis en réserve. Ils ne sont pas non plus utilisés dans la structure de la plante.

La nature des sucres solubles qui apparaissent pendant l'endurcissement diffère selon les espèces et se modifie au cours de l'endurcissement. Dans un premier temps, des oses et des disaccharides sont synthétisés (glucose, fructose, saccharose), puis souvent des oligosaccharides (raffinose, stachyose). Il n'y a pas de sucre spécifique de la résistance : chez le pommier, c'est le sorbitol qui est stocké dans le xylème (Ichiki et Yamaha, 1982).

Les sucres peuvent jouer divers rôles dans la protection de la cellule contre le gel : abaissement de la température de cristallisation, réduction de la quantité de glace formée avec, comme conséquence, une diminution des stress hydrique, mécanique, osmotique et ionique. Ils ont aussi un rôle énergétique ; ainsi, chez la chlorelle cultivée *in vitro* à l'obscurité (Hatano, 1978), l'endurcissement est inhibé par l'oligomycine, qui empêche les couplages énergétiques dans les mitochondries, et par le DCMU, inhibiteur des transferts d'électrons. De plus, seuls les sucres métabolisables (glucose, saccharose, galactose...) permettent l'endurcissement. Chez des arbres comme le peuplier, on note en effet, en période hivernale, un accroissement très net de l'activité des enzymes de la voie des pentoses phosphate.

Bien que de nombreux végétaux accumulent des sucres solubles pendant l'endurcissement, le fait n'est pas général (cas des plantes aquatiques et de nombreux rhizomes). Ainsi, la pomme de terre hydrolyse l'amidon sans que sa résistance au gel soit augmentée. Il n'existe pas non plus de corrélation absolue entre l'augmentation de la pression osmotique des cellules et la résistance au froid. Ainsi, l'oranger, non tolérant au gel, a une pression osmotique deux fois plus élevée que celle de certains conifères qui résistent jusqu'à la température de l'azote liquide.

En définitive, si la présence de sucres est nécessaire à l'endurcissement, leur accumulation résulte davantage d'un déséquilibre métabolique que d'une adaptation réelle de la cellule au gel. De plus, les concentrations atteintes restent en général nettement inférieures à celles qui sont utilisées dans la cryoconservation artificielle, technique qui nécessite l'emploi simultané d'un sucre et de substances cryoprotectrices comme le diméthylsulfoxyde (DMSO) ou le glycérol.

### \* **Acides aminés**

Certains acides aminés s'accumulent également pendant l'endurcissement au froid. Il en est ainsi de l'arginine dans l'écorce de peuplier et de la proline dans le chou et la luzerne. Dans le cas du chou,

l'accroissement de la résistance au gel s'accompagne d'une augmentation de la proline à basse température et à la lumière (Le Saint, 1966).

La teneur en proline demeure élevée si les plantes restent au froid, même à l'obscurité ; elle diminue à température tiède, lorsque la plante se désendurcit. L'addition de proline permet un endurcissement artificiel de disques foliaires cultivés aseptiquement sur un milieu solide.

Une accumulation de proline se produit également dans le cas de la luzerne (Faquin 1978, 1982). C'est le collet et non les parties aériennes qui résistent le mieux au gel. L'endurcissement peut être induit à 1,5°C, 5°C ou 10 °C. Cependant, pour les températures les plus élevées, la résistance reste faible ; elle augmente pendant les trois premières semaines, puis diminue. Elle ne se maintient que si la température reste basse (1,5 °C). L'accumulation de proline se déroule différemment dans les feuilles, le collet et les racines. Ainsi, dans les feuilles, la quantité de proline augmente d'autant plus vite que la température est basse, puis elle diminue. Dans le collet, au contraire, l'augmentation de la teneur en proline est plus importante à 10 °C qu'à 5 °C ou 15 °C. De plus, bien qu'une corrélation existe entre la résistance au gel de la luzerne et le contenu en proline des feuilles et du collet, l'accumulation de ce composé se produit en général après l'acquisition de la résistance ; elle serait une conséquence plutôt qu'une cause de l'endurcissement. Les différences observées entre les parties de la plantes résultent sans doute de transferts de proline des parties aériennes vers les racines. Ainsi, au cours du désendurcissement artificiel, la proline continue de s'accumuler rapidement dans les feuilles. Des expériences complémentaires réalisées en phytotron ont montré que l'accumulation de proline libre dans le collet et les racines est favorisée lorsque les parties aériennes sont à température élevée (21°C) et les parties inférieures à température basse (1,5°C). Lorsque ces températures sont inversées, le phénomène contraire a lieu. Le refroidissement du collet et des racines est donc indispensable à l'accumulation de la proline synthétisée au niveau des feuilles.

La proline est souvent considérée comme un excellent marqueur de l'endurcissement au gel chez certains végétaux. Toutefois, son accumulation ne paraît pas se produire dans les arbres. De plus, la production de proline libre est fréquemment associée à un stress (sécheresse, salinité élevée, attaques virales, passage de l'état végétatif à l'état floral).

→ **L'acclimatation au froid est liée à la synthèse d'enzymes du métabolisme carboné photosynthétique.**

Lorsqu'une plante en C3 cultivée à température normale subit une température fraîche, la diminution de photosynthèse s'accompagne à la fois d'une inhibition d'activité des enzymes participant au cycle photosynthétique de réduction du carbone (CPRC) et d'un ralentissement de la synthèse de saccharose, qui entraîne une diminution du Pi disponible pour le passage des TP du chloroplaste vers le cytoplasme (le Pi est alors séquestré dans les chloroplastes).

Par exemple, la photosynthèse d'*A. thaliana* cultivé à 23°C et placé à 5°C (Strand et al., 1999 in Cornic, 2007) est rapidement inhibée de 75% environ. Parallèlement il y a une réduction des activités de quelques enzymes du CPRC (Rubisco, glyceraldéhyde phosphate déshydrogénase, aldolases, transcétolases, phosphoribulokinase) et de la voie de synthèse du saccharose (SPS, FBPase cytosolique). Ces feuilles synthétisent surtout de l'amidon.

Durant les 10 jours qui suivent, chez les feuilles adultes au froid, on a une augmentation marquée du niveau des transcrits et de la quantité de FBPase cytosolique et SPS. La synthèse de saccharose augmente, relativement à la synthèse d'amidon.

Les feuilles développées à 5°C présentent aussi un accroissement du volume cytoplasmique et une baisse de celui des vacuoles. Cela est perceptible par la diminution de la quantité d'eau dans les feuilles lorsque celles-ci ne souffrent d'aucun déficit hydrique. L'augmentation relative du volume cytoplasmique est à mettre en relation avec la forte augmentation des protéines foliaires et de la masse spécifique des feuilles sèches qui passe de 2,1 à 7,1 mg cm<sup>-2</sup> sans que la teneur en amidon n'augmente (la valeur élevée de la surface spécifique de la feuille est due en grande partie à la stimulation de la synthèse des protéines au froid). Les auteurs notent que l'acclimatation des feuilles adultes à 23°C placées à 5°C est incomplète (les réponses décrites plus haut pour les feuilles jeunes dont la croissance s'est fait à 5°C sont dans ce cas de moindre amplitude).

→ **L'acclimatation au froid provoque un changement du degré de saturation des acides gras.**

Le niveau d'insaturation des acides gras dans les glycérolipides varie selon la température de croissance : une baisse de cette dernière entraînant une diminution de leur saturation. On montre que l'augmentation du degré d'insaturation avec la diminution de la température de croissance compense la décroissance de la fluidité membranaire qui se produit alors. On montre aussi que le degré d'insaturation est corrélé avec le maintien, à basse température, de l'activité des enzymes liées aux membranes (Nishida et Murata, 1996).

Les deux acides gras principaux des membranes thylacoïdiennes sont l'acide  $\alpha$ -linoléique (18 :3) et l'acide hexadécatriénoïque (16 :3). Il représente les 2/3 environ des acides gras qui entrent dans la composition de cette membrane et plus de 90% de ceux qui constituent le MGDG (monogalactosyldiacylglycerol), lipide majeur du thylacoïde. Les acides gras considérés sont donc importants lors de la biogenèse et la maintenance des chloroplastes durant la croissance à faible température.

→ **L'acclimatation au froid induit aussi la synthèse de protéines spécifiques.**

Le froid allume ou module l'expression de gènes spécifiques. On estime qu'environ 10% des gènes connus actuellement pour être activés par la sécheresse sont aussi activés par le froid : certaines des protéines qui apparaissent lors d'une acclimatation au froid apparaissent aussi lors d'une sécheresse

ou après un traitement avec l'ABA, renforçant l'image que l'on a du lien entre gel et déficit hydrique et suggérant des liaisons entre les systèmes de signalisation en jeu dans la réponse à ces deux contraintes.

\* **Les protéines CORs (Cold regulated).**

C'est le cas des protéines qui forment une classe de petites molécules très solubles protégeant les membranes lors de la baisse de température. Leur étude est avancée chez *Arabidopsis thaliana*. Ce sont des protéines nouvelles, simples, formées seulement que de quelques acides aminés avec des séquences répétées. Beaucoup d'entre elles ont des régions capables de former des hélices  $\alpha$  amphiphilic (c'est à dire qui ont à la fois des zone hydrophiles et des zones hydrophobes). Ces régions jouent probablement un rôle dans la stabilisation des membranes durant une période de gel où de sécheresse : les deux contraintes produisant une déshydratation des cellules.

Par exemple le gène *COR15a* code pour un polypeptide de 15 kD qui est dirigé vers le stroma du chloroplaste. Le polypeptide mature dont la masse molaire est de 9.4 kD est extrêmement hydrophile puisqu'il reste soluble dans l'eau bouillante. Artus et al., (1996) ont tenté de voir si ce polypeptide pouvait protéger les chloroplastes contre les effets négatifs des basses températures. Le gène est exprimé chez *A. thaliana* dont les feuilles ou des protoplastes isolés des feuilles sont soumis à des températures allant de 0 à -11 °C durant 30 min. L'effet du traitement sur les feuilles est évalué en mesurant le rapport Fv/Fm à température ordinaire : ce rapport est pris ici comme indiquant un état d'intégrité des chloroplastes. La tolérance aux basses températures des chloroplastes in vivo est augmentée de 2°C environ, ce qui représente environ 1/3 de l'augmentation de la tolérance induite par une acclimatation des plantes au froid.

On suppose que la protéine stabilise la structure du thylacoïde au froid, bien que la façon dont elle pourrait exercée ce rôle reste évasive. La tolérance des protoplastes est déterminée utilisant une coloration vitale (diacétate de fluorécéine) après le traitement. Les protoplastes vivant excluent le colorant. Bien que la protéine soit adressée aux chloroplastes la survie des protoplastes est augmentée après un traitement entre -4 et -8 °C. Cela montre bien que COR15a contribue au maintien de la stabilité du plasmaleme, tout en posant, évidemment, un problème sur son mode d'action, puisqu'elle est adressée aux chloroplastes.

Il existe en fait peu de renseignements sur la modulation de l'expression de ces gènes par les autres facteurs de l'environnement. Le travail de Wanner et Junttila, (1999) nous donne quelques éléments sur ces points. Ces auteurs montrent que les ARNm de trois gènes *COR* (*COR15*, *COR47* et *COR78*) sont détectables 3 à 6 heures après le passage d'*A. thaliana* à 1°C et s'accumulent jusqu'à atteindre une concentration qui reste stable plusieurs jours.

### \* **Les protéines antigel (AFPs : anti freeze proteins)**

Les AFPs se lient aux cristaux de glace isolés ou aux bordures de blocs cristallins existants, les isolant de l'eau ambiante et inhibant ainsi la formation de glace dans les espaces intercellulaires. De cette façon, le point de congélation de l'eau est abaissé bien que son point de fusion ne soit pas modifié, c'est ce qui est appelé l'hystérésis thermique. Ces protéines augmentent donc la plage thermique dans laquelle se produit la surfusion.

Les plantes qui ne tolèrent pas la présence de cristaux de glace dans leurs tissus ne produisent pas d'AFPs. Ainsi on n'en détecte pas dans l'apoplasme de plantes sensibles au froid comme le Maïs et le Tabac, et ce, même après qu'elles aient subi une période d'acclimatation à de températures fraîches. Elles ont été détectées dans différents organes de plantes qui subissent l'hiver sous une forme ou une autre : les bourgeons, les baies les racines les rhizomes et tubercules les troncs etc....

### **2.6 L'endurcissement au froid**

Les plantes ne restent pas sans réaction devant l'agression représentée par l'abaissement de la température du milieu. Un mécanisme se déclenche pour contrarier l'effet immédiat des basses températures :

L'endurcissement se définit comme l'acquisition de résistance au gel par les plantes. Les processus de l'endurcissement au froid sont sous contrôle d'un système génétique très complexe. Ce système est induit par les basses températures durant la période d'acclimatation ainsi que la lumière et l'état physiologique des plantes (Boitard, 2002 cité par Lahmar R & Khalfi N ; 2004 in Côme, 1992).

### **2.7 Tolérance des plantes à la chaleur**

La contrainte thermique par la chaleur est souvent définie comme l'élévation de la température au delà d'un seuil d'avertissement pendant une période suffisante qui endommage irréversiblement la croissance et le développement de la plante. Généralement un passage de la température entre 10-15 au-dessus de la température ambiante, est considéré comme un choc thermique ou bien une contrainte thermique. Cependant, cette dernière est une fonction complexe de l'intensité (le degré de la température), de la durée, et du taux d'accroissement de la température (Peet and Willits, 1998).

#### **2.7.1 Seuil de stress thermique**

Lorsque la température optimale du développement d'une plante est dépassée, le rendement des cultures baisse; cette température optimale varie d'une plante à l'autre. 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°C et 40°C) peuvent être graves si elles persistent (Hopkins, 2003).

Une brève exposition périodique aux contraintes thermique sub-létales induit souvent la tolérance aux températures autrement mortelles, un phénomène désigné sous le nom de thermo tolérance.

A des températures très élevées, des dommages cellulaires graves et même la mort des cellules peut se produire dans des minutes, qui pourraient être attribuées à un effondrement catastrophique d'organisation cellulaire (Schöffl *et al.*, 1999). A des températures modérément élevées, les dommages ou la mort peuvent se produire seulement après l'exposition à long terme. Les dommages directs dus aux hautes températures incluent la dénaturation et l'agrégation de protéine, et la plus grande fluidité des lipides membranaires. Les dommages les plus lents de la chaleur incluent l'inactivation des enzymes dans les chloroplastes et les mitochondries, l'inhibition de la synthèse des protéines, la dégradation des protéines et la perte d'intégrité de la membrane (Howarth, 2005). Juste après l'exposition aux hautes températures et la perception des signaux, des changements moléculaires se produisent, l'altération de l'expression des gènes et l'accumulation des transcriptions, de ce fait menant à la synthèse des protéines du choc comme stratégie de tolérance au stress (Iba, 2002).

### **2.7.2 Réponses des plantes à la contrainte par la chaleur**

#### **a. Symptômes morphologiques**

L'un des problèmes auxquels les plantes sont confrontées dans des conditions où les radiations solaires sont intenses et la température élevée, l'absorption d'énergie par les feuilles dont la température peut facilement être de 5°C au dessus de la température ambiante. Les hautes températures causent des déclin significatifs sur la croissance des pousses, une réduction de la longueur des entre-nœuds ayant pour résultats la mort des plantes prématurées (Hall, 1992)

De nombreuses plantes évitent la surchauffe en faisant adopter une position plus verticale aux feuilles, ou, comme c'est 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 de réduire la perte d'eau par transpiration, qui habituellement joue un rôle important dans la dissipation de la chaleur par les feuilles.

#### **b. Réponses physiologique**

Le statut de l'eau dans la plante est la plus importante variable durant les changements de la température ambiante (Mazorra *et al.*, 2002).

Les températures élevées peuvent avoir des effets directs liés aux températures des tissus ou des effets indirects liés aux pertes d'eau chez la plante qui peuvent surgir en raison des demandes évaporatoires élevées (Simoes-Araujo *et al.*, 2003). Une demande évaporatoire exhibe des augmentations exponentielles d'eau et peut avoir comme conséquence des taux élevés de la transpiration et une diminution des potentiels hydrique chez les plantes.

### c. À températures élevées, les plantes produisent les protéines du choc thermique

En réponse aux élévations de la température de 5 à 10°C en dessous de la température optimale, les plantes produisent un ensemble unique de protéines désignées sous le nom des protéines de choc thermique (HSPs). L'expression des protéines de choc de thermique (HSPs) est connue pour être une stratégie adaptative importante (Feder et Hoffman, 1999).

Elles sont classées selon leur masse moléculaire (en kDa) et l'on distingue les HSP100s, les HSP90s, les HSP70s, les HSP60s et les HSPs de faible masse moléculaire (entre 10 et 30 kDa).

**Tab. 1.1.** Les classes des protéines de choc thermique HSPs trouvés chez les plantes.

The five classes of heat shock proteins found in plants			
HSP class	Size (kDa)	Examples (Arabidopsis / prokaryotic)	Cellular location
HSP100	100–114	AtHSP101 / ClpB, ClpA/C	Cytosol, mitochondria, chloroplasts
HSP90	80–94	AtHSP90 / HtpG	Cytosol, endoplasmic reticulum
HSP70	69–71	AtHSP70 / DnaK	Cytosol/nucleus, mitochondria, chloroplasts
HSP60	57–60	AtTCP-1 / GroEL, GroES	Mitochondria, chloroplasts
smHSP	15–30	Various AtHSP22, AtHSP20, AtHSP18.2, AtHSP17.6 / IBPA/B	Cytosol, mitochondria, chloroplasts, endoplasmic reticulum

Source. Boston et al, 1996.

Les plantes sont caractérisées par une grande production de ces petites HSPs suivant une exposition à forte température. La plupart des HSPs fonctionnent comme des chaperonnes. Certaines Chaperonnes (HSP70s, HSP60s) permettent l'établissement correct de la structure tertiaire des protéines. Les protéines sont « dépliées » dans plusieurs occasions :

- \* Au moment où les ribosomes fabriquent les longues chaînes d'acides aminés ;
- \* lorsque les protéines sont transférées d'un compartiment cellulaire à un autre ;
- \* lorsque les conditions de l'environnement cellulaires sont telles que les interactions qui maintiennent la structure sont détruites (chaleur...), Dans cette situation les différents éléments des chaînes polypeptidiques peuvent interagir entre eux, et former des constructions inefficaces, ou bien s'agréger à d'autres chaînes polypeptidiques également dépliées, et empêcher la formation des protéines actives.

Les chaperonnes agissent en formant un manchon autour des parties hydrophobes des chaînes ou en séquestrant la protéine naissante, lui permettant d'acquérir sa structure définitive à l'abri d'interactions cellulaires possibles. Des chaperonnes comme les HSP100s réactivent les protéines qui se sont agrégées. D'autres enfin activent la dégradation des protéines dont la structure finale ne s'est pas établie correctement. La plupart des HSP100-60s sont présentes dans la plante, même en l'absence de choc thermique. Les HSPs de faible masse moléculaire sont généralement produites en réponse à des contraintes thermique et ce très rapidement, souvent en une ou deux heures. La HSP chloroplastique de faible masse moléculaire peut protéger l'activité thylacoïdienne des effets des fortes températures.

#### **d. Importance du degré d'insaturation des acides gras.**

Dans les environnements naturels, les températures des feuilles changent largement pendant le jour et de jour en jour (Singsaas *et al.*, 1999). Les plantes s'adaptent à la température de l'air à long terme principalement par des changements de la température optimale du transport photosynthétique d'électrons. La membrane des thylakoïdes est un système relativement liquide et il est essentiel pour la diffusion de produit photosynthétique. Cependant, cette caractéristique de la membrane est très vulnérable aux températures élevées. La fluidité de la membrane thylakoïdienne augmente avec la température et cela peut détruire son organisation complexe. Une augmentation du degré de saturation des acides gras dans les thylacoïdes peut entraîner une augmentation de la tolérance aux températures élevées. D'anciens travaux, réalisés sur des plantes pérennes australiennes, rapportés par (Berry et Björkman, 1980), indiquent en effet que l'augmentation de la température de croissance est corrélée à un accroissement du degré de saturation des lipides.

→ **Les paramètres affectés par la chaleur**

##### **a. Les effets des températures élevées sur la photosynthèse**

L'exposition des plantes à des températures élevées provoque de nombreux changements de la structure et de la fonction du PSII. Généralement, le donneur et l'accepteur d'électron de PSII sont plus sensibles aux hautes températures que le PSI. La sensibilité des plantes aux hautes températures est étroitement liée à la stabilité thermique de PSII. La thermotolérance des membranes a été évaluée en mesurant la fluidité d'électrolytes à partir des disques de feuille soumis aux températures extrêmes (Blum, 1988). Des membranes plus stables montrent une fluidité plus lente d'électrolyte. À des températures élevées, la fonction de PSII peut être affectée, mais ces effets ne sont pas rapidement réversibles. Elles impliquent la désactivation du Rubisco et l'inactivation du métabolisme photosynthétique de carbone.

La fluidité excessive des lipides des membranes à températures élevées est corrélée avec la perte de la fonction physiologique. Le stress thermique change l'activité photosynthétique qui est dû aussi à la suppression du transport d'électrons de chloroplaste et l'inhibition du cycle de Calvin qui est un événement tôt dans l'inhibition de la photosynthèse par haute température (Feller *et al.*, 1998). La sensibilité des plantes aux hautes températures est étroitement liée à la stabilité thermique de PSII.

##### **b. Synthèse de la chlorophylle.**

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

### **c. Effets des températures élevées sur les membranes**

Selon la conception traditionnelle, la température la plus élevée que la plupart des plantes peuvent supporter est déterminée par la dénaturation irréversible des enzymes. Bien que la fonction des enzymes joue certainement un rôle crucial, l'attention s'est, plus récemment, tournée vers les modifications des propriétés des membranes, qui seraient les causes principales des dommages provoqués par les températures élevées. L'une des principales différences entre les agaves et les cactus par exemple, et les plantes en C<sub>3</sub> qui croissent sous des températures modérées, est la présence d'une proportion plus élevée d'acides gras saturés dans les lipides membranaires chez les espèces tolérantes aux températures modérées, est la présence d'une proportion plus élevée d'acides gras saturés dans les lipides membranaires chez les espèces tolérantes aux températures élevées. La fluidité des membranes augmente aux fortes températures, ce qui peut susciter des problèmes de perméabilité et modifier les fonctions catalytiques des protéines membranaires. Un degré de saturation plus élevé entraînerait une fluidité membranaire amoindrie, ce qui contribuerait à maintenir des interactions hydrophobes fortes, aux températures élevées entraînerait une fluidité membranaire amoindrie, ce qui contribuerait à maintenir des interactions hydrophobes fortes, aux températures élevées, préservant ainsi la stabilité des membranes et les interactions entre lipides et protéines membranaires intrinsèques (Raison *et al.*, 1980 ; Quinn, 1988 in Hopkins, 2007).

#### **2.7.3 Interaction entre les fortes températures et la sécheresse.**

Fortes températures et contraintes hydriques sont souvent associées dans les conditions naturelles. La déshydratation enduret les plantes contre les effets de la chaleur. Cet endurecissement est considérable puisqu'il aboutit à une augmentation de 7°C de la température nécessaire pour obtenir 50% d'inhibition du rendement quantique maximum du PSII.

Certains auteurs ont vu que le manque d'eau pouvait entraîner un changement dans la composition des lipides des chloroplastes. Cette modification lipidique, si elle a lieu lorsque la résistance à la chaleur est accrue par la déshydratation, pourrait renforcer la stabilité du PSII à températures élevées.

#### **2.7.4 Stress hydrique et thermique combinée**

Le stress hydrique et thermique se produisent souvent simultanément, limitant la croissance et la production végétale (Araus *et al.*, 2002) et réduisent les taux de prise de CO<sub>2</sub> (Yordanov *et al.*, 1997). Un déficit en eau favorise la fermeture de stomates. En conséquence, la température des feuilles exposées directement au soleil peut être égale ou plus haute que la température de l'air et ceci a pour conséquence, une perturbation biochimique et biophysique dans les mésophylles, qui peut être réversible ou pas. Il est plus ou moins clair que la tolérance thermique de l'appareil photosynthétique à quelques espèces soit influencée par d'autres facteurs de stress comme la lumière (Sivastava et Strasser, 1996; Havaux, 1996), et par le déficit hydrique comme par exemple

dans une mousse tolérante à la dessiccation (Dulai *et al.*, 2004). La compréhension des mécanismes fondamentaux du rétablissement après un stress est essentielle pour améliorer la survie des plantes dans des environnements secs et chauds. Le choix des traits pour la récupération des plantes après un stress peut être d'une importance économique.

## **2.8 Les échanges gazeux foliaires.**

### **Résistance stomatique et transpiration foliaire**

En cas de températures excessive, les symptômes observés sont dus à une transpiration dépassant les quantités d'eau fournies par le système conducteur. Les feuilles perdent leur rigidité et se fanent, les chlorophylles sont détruites, et de nécroses associées à une déshydratation des tissus.

Au niveau de la feuille, les échanges gazeux photosynthétiques ne mesurent pas seulement l'activité plus ou moins élevée d'un système pigmentaire ou enzymatique mais la facilité avec laquelle le gaz carbonique peut atteindre les sites de carboxylation et la vitesse avec laquelle les produits formés peuvent en être évacués. La température peut donc agir par simple action sur la solubilité et le niveau de résistance (Tenhunen *et al.*, 1979). (Miranda *et al.*, 1981) montrent que dans les feuilles de maïs, et on peut penser que c'est en général, la température qui est le facteur limitant de la fixation du CO<sub>2</sub> se situe au niveau de l'anatomie même de la feuille et, en particulier, dans la résistance de diffusion des gaz travers l'épiderme contrôlé par les stomates.

Le réflexe stomatique, fermeture/ouverture de l'ostiole a été étudié en fonction de la température. On montre facilement que les basses ou les hautes températures provoquent la fermeture des stomates, réflexe de défense contre la déshydratation mais qui entraîne l'arrêt quasi-total de l'approvisionnement en CO<sub>2</sub> (Miranda *et al.*, 1981).

# *Chapitre 99*

*Matériels et méthodologie  
d'étude*

---

## II. 1. LE CLIMAT

### 1.1 Considérations générales sur le climat de l'Algérie et de la zone d'étude.

Le climat est l'ensemble des caractéristiques météorologiques d'une région donnée intégrée dans le long terme. La nature des climats joue un rôle essentiel pour ajuster les caractéristiques écologiques des écosystèmes continentaux. En réalité, il existe une interférence entre climats, Composition des communautés -en particulier végétales- propre à un écosystème donné et nature des sols, d'où le typique climat, sol, végétation (Ramade, 2003).

Les climats au sens large définissent les conditions climatiques moyennes d'un espace en tenant compte au moins du cycle annuel des températures et des précipitations mensuelles.

Le climat peut varier à différentes échelles temporelles : les définitions suivantes sont couramment admises : un **changement climatique** s'agit d'un profond bouleversement du climat moyen normal sur une longue période, un changement dans lequel la distribution statistique des valeurs des éléments climatiques est modifiée d'une façon significative dans la mesure où les données reflètent essentiellement une nouvelle population de valeurs, autrement dit une nouvelle gamme de climats : il y a **variation climatique** entre deux périodes de référence si leur différence moyenne dépasse l'écart-type ; des fluctuations climatiques se rapportent à des périodes plus courtes de l'ordre de décennies. Il y a enfin une **variabilité interannuelle** qui relève du bruit statistique.

La compréhension des paramètres spécifiques au climat régional, telles les températures et les variations de la couverture neigeuse, s'avère particulièrement importante.

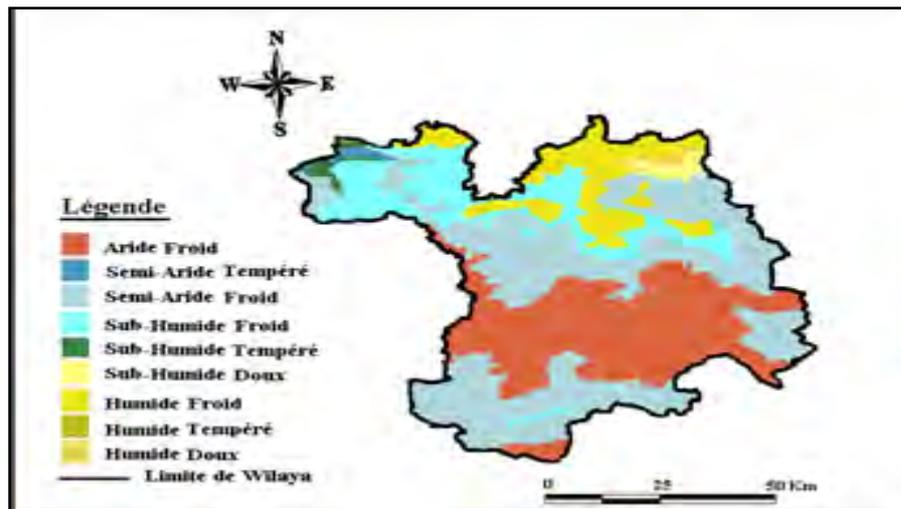
Le climat de l'Algérie relève du régime méditerranéen à deux saisons bien distinctes, celle des pluies et celle de la sécheresse.

D'une manière générale le climat de l'**Algérie** est caractérisé par la fréquence des pluies durant la période froide de l'année, il y a coïncidence de la saison sèche et de la saison chaude (Kadik, 1987).

### 1.2 Notion du climat local.

Le climat local est l'état moyen des éléments qui constituent l'atmosphère d'un lieu, pour une période assez longue. Pour caractériser l'état moyen, on calcule d'abord les moyennes mensuelles ou annuelles des principaux éléments qui constituent le temps, en les considérant isolément, puis on les groupe sous forme d'un tableau.

La wilaya de **Sétif** est soumise à l'influence du climat méditerranéen ; elle se caractérise par un climat continental semi-aride frais, avec des étés chauds et secs et des hivers rigoureux.



**Fig. 2.1.** Carte bioclimatique de Sétif.

Source : DGF modifié 2007

D'une manière générale, il s'agit à travers ce chapitre d'apporter quelques précisions à ces données générales par une étude portant sur les mesures les plus récentes des précipitations et des températures afin de pouvoir évaluer les différentes variations reconnues sur le plan temporelle.

### 1.3 Paramètres d'étude

Six aspects ont été fondamentalement considérés :

- Les précipitations ont été étudiées en tenant compte des hauteurs moyennes mensuelles et annuelles.
- La température a été étudiée sous quatre principaux aspects : la température moyenne mensuelle, la température moyenne mensuelle maximale, la température moyenne mensuelle minimale et l'amplitude thermique.
- L'humidité relative a été analysée sous trois aspects ; l'humidité relative moyenne mensuelle, l'humidité relative maximale moyenne mensuelle et l'humidité relative minimale moyenne mensuelle.
- L'évaporation moyenne mensuelle et moyenne.
- La vitesse moyenne mensuelle et annuelle du vent et le nombre de jours de sirocco.
- le nombre des jours de la gelée, brouillard et de la neige.
- Pour l'étude de l'insolation, nous avons considéré l'insolation mensuelle et annuelle.

Les données climatiques de la région avec lesquelles nous avons travaillé proviennent des données de la station météorologique de SETIF-SFIHA avec ces critères d'identifications (latitude : 36° 11' Nord - longitude : 05° 15' Est - altitude : 1033m) pour une période de 27 ans (1981-2007).

### Traitement des données.

Tous les traitements ont été réalisés à l'aide du support informatique, sur la feuille de calcul EXCEL 2007. Pour le traitement numérique des données, la caractéristique de valeur centrale la plus utilisée, la moyenne arithmétique a été sollicitée pour le calcul des valeurs, ainsi que l'écart-type.

#### 1.3.1. Les précipitations.

Par définition, elles désignent tous corps liquides ou solides qui tombent du ciel, (neige, pluie, grêle, etc.). Sous cette rubrique, nous nous intéresserons principalement à l'évolution inter mensuelle et saisonnière des quantités de pluie tombées au cours de la période (1981-2007).

##### a) Le Régime Pluviométrique.

" Le régime pluviométrique est la répartition de la hauteur des précipitations annuelles entre les diverses périodes, le plus souvent entre les divers mois de l'année " (Peguy, 1961).

La pluviométrie constitue un facteur écologique d'importance fondamentale, non seulement pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestres. La répartition annuelle des précipitations est importante aussi bien par son rythme que par sa valeur volumique absolue.

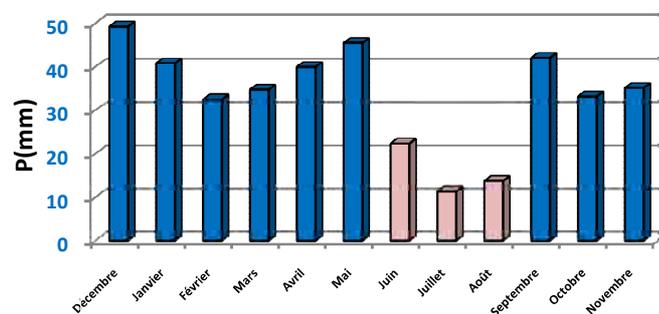
Pour mettre en évidence les régimes pluviométriques, la méthode la plus simple consiste à dresser des graphiques où sont rapportées les hauteurs moyennes mensuelles des précipitations (Fig.2.2).

Les précipitations durant cette période varient d'un mois à l'autre. Les principales pluies sont celles qui tombent en hiver par rapport à celles de l'automne et du printemps bien que ces dernières constituent un apport non négligeable. Quant à la période sèche, elle se prolonge durant tout l'été.

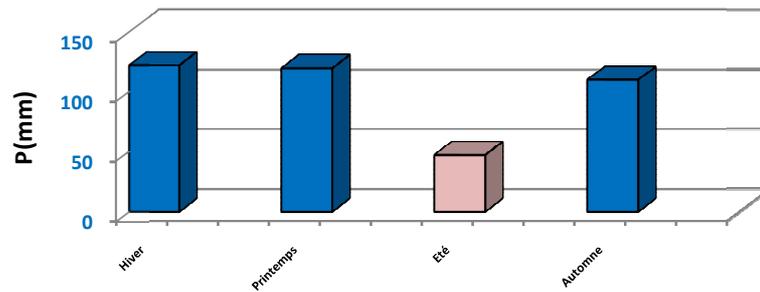
**Tab.2.1.** Moyennes mensuelles et annuelles des précipitations (1981 – 2007)

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	oct	Nov	Déc	Total	Moy annue lle
SETIF	40,82	32,5	34,72	40	45,48	22	11,3	13,79	42,1	33,17	35,11	49,27	400,5	33,38

Source : O.N.M SETIF-SFIHA (2008)



**Fig. 2.2.** Variation mensuelle moyenne de la hauteur des pluies au niveau de la station de Sétif.



**Fig. 2.3.** Variation saisonnière moyenne de la hauteur des pluies au niveau de la station de Sétif. On constate d’une manière générale que pour la station considérée, la période la plus arrosée s’étend des mois de septembre à avril. Par ailleurs les mois de juin, juillet et Août présentent une sécheresse récurrente.

Sétif reçoit en moyenne une tranche pluviométrique annuelle de 400,51 mm sur 27 ans et une moyenne mensuelle de 33,38 mm. La période sèche qui correspond aux trois mois consécutifs ayant un minimum pluviométrique.

Durant la période humide le maximum pluviométrique se situe en décembre, le deuxième en Avril-Mai. L’existence d’une période sèche entre ces deux maximums est sans conséquence sur la végétation puisqu’elle est en repos végétatif.

**b) Régime saisonniers de précipitations.**

La répartition saisonnière des pluies montre que le premier maximum se situe en hiver, le second se localise au printemps, quant au minimum, il s’observe en été.

Notre régime est du type HPAE (Tab.2.2).

**Tab. 2.2.** Régime saisonnier des précipitations pour la période (1981-2007).

Saison	Mois	P (mm)	Précipitations saisonnières (mm)	Précipitations saisonnières en (%)	Régime saisonnier
<b>Hiver</b>	Décembre	49,27	122,57	30,60	<b>H</b>
	Janvier	40,82			
	Février	32,48			
<b>Printemps</b>	Mars	34,71	120,14	29,99	<b>P</b>
	Avril	39,95			
	Mai	45,48			
<b>Eté</b>	Juin	22,3	47,38	11,83	<b>E</b>
	Juillet	11,29			
	Août	13,79			
<b>Automne</b>	Septembre	42,1	110,38	27,56	<b>A</b>
	Octobre	33,17			
	Novembre	35,11			
		<b>400,51</b>	<b>400,51</b>		

### c) *La continentalité pluviale.*

La continentalité pluviale est définie comme étant la concentration estivale des précipitations (Emberger, 1943). Elle est mesurée par le coefficient C d'ANGOT qui correspond au rapport des précipitations des six mois les plus chauds, aux précipitations des six mois les plus froids.

$C < 1$  → climat méditerranéen.

Station	Précipitation des 6 mois les plus chauds (mm)	Précipitation des 6 mois les plus froids (mm)	C
<b>SETIF-SFIHA</b>	168,1	232,4	0,72

### 1.3.2. Les températures.

La température est également un élément écologique fondamental en tant que facteur climatique vital et déterminant dans la vie des végétaux. Elle conditionne en effet la durée de la période de végétation.

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'être vivants dans la biosphère (Ramade, 2003).

La température est un élément déterminant du rayonnement et du bilan énergétique. C'est aussi un paramètre capital dans la caractérisation des climats.

De nombreux auteurs reconnaissent aux facteurs thermiques, -en particulier le froid-, une influence certaine de la répartition des espèces et sur leur vie. Dans une classification des climats, (Emberger, 1936) utilisait la moyenne des minimums des mois les plus froids,  $m$ , qui exprimerait « le degré et la durée de la période critique des gelées ».

De même (Sauvage, 1960) souligne l'importance de la valeur  $m = -3^{\circ}\text{C}$  pour la végétation. (Alcaraz, 1969) considère la valeur  $m = +1^{\circ}\text{C}$  comme facteur seuil dans la répartition du chêne vert, du pin d'Alep et du thuya. Ceci doit être en liaison avec le risque de gelée qui devient très important à partir de  $m = 1^{\circ}\text{C}$  (Le Houérou, 1969).

La température moyenne est une donnée très importante en ce sens qu'elle est " la plus utilisée et sert également d'élément de différenciation entre les différentes zones climatiques ".

Cette analyse portera essentiellement sur les températures maximales, minimales, moyennes et l'amplitude thermique.

#### **- L'Amplitude thermique moyenne mensuelle.**

L'Amplitude thermique est la différence entre la température maximale moyenne et la température minimale moyenne. Elle est exprimée en degré Celsius. Ses valeurs dépendent surtout de la dispersion des extrêmes par rapport à la moyenne. En effet, plus les extrêmes s'éloignent des valeurs centrales, plus l'amplitude augmente.

Le (Tab.2.3) regroupe les données des températures moyennes, minimales, maximales et l'amplitude thermique de la période (1981-2007)

**Tab. 2.3.** Températures moyennes, minimales, maximales et l'amplitude thermique de la période (1981-2007)

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy.	Ecart-type
T °C moy.	5,1	6,2	8,9	11,7	16,8	22,4	26,1	25,6	20,6	15,9	9,8	6,1	14,60	7,38
T°C max.	9,5	11,1	14,3	17,4	23,1	29,4	33,3	32,7	27,1	21,4	14,5	10,3	20,34	8,37
T°C min.	1,5	2,2	4,4	6,8	11,2	16,1	19,5	19,5	15,4	11,4	6,1	2,7	9,73	6,41
Amp.Ther.	8	8,9	9,9	10,6	11,9	13,3	13,8	13,2	11,7	10	8,4	7,6	10,61	2,07

Légende :

T°C moy. : Température moyenne

T°C max. : Température maximale moyenne mensuelle

T°C min: Température minimale moyenne mensuelle

Ampl. Therm. : Amplitude Thermique

Source : O.N.M de SETF-SFIHA (2008)

- **La température moyenne mensuelle.**

Elle est la demi-somme des températures maximales moyennes et des minimales moyennes mensuelles. L'analyse de sa courbe révèle l'existence d'une période chaude correspond à la période estivale (Fig.2.4).

- **Les températures maximales moyennes mensuelles.**

D'une moyenne annuelle de 20,34°C, les températures maximales sont, en général, plus élevées en saison sèche qu'en saison humide. Les mois enregistrant les températures maximales les plus élevées sont les mois de Juin (29,4°C), Juillet (33,3°C) et Août (32,7°C).

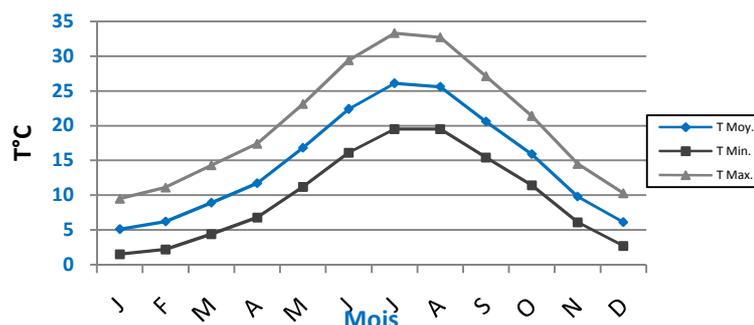
- **Les températures minimales moyennes mensuelles.**

Leur distribution saisonnière est similaire à celle des maxima moyens mensuels,

\* Les minima les plus faibles sont atteints en Décembre, Janvier et Février respectivement à 2,7°C, 1,5°C et 2,2°C.

\* Les plus hautes valeurs s'observent par contre en juin, juillet, et août à 16,1°C, 19,5°C et 19,5°C.

Les températures maximales et minimales présentent une distribution mensuelle selon un rythme saisonnier très puissant et régulier. Les maxima d'été dépassent 33° C. par ailleurs, les maxima d'hiver oscillent autour de 9 °C à 12°C. Les minima d'hiver varient de 1°C à 3 °C. L'amplitude annuelle des maxima est de 13 à 14 ° C. Celle des minima varie entre 7°C et 10 ° C.



**Fig. 2.4.** Evolution de la température moyenne mensuelle (1981-2007).

### 1.3.3. Autres paramètres climatique.

**Tab. 2.4.** Paramètres climatiques pour la période (1981-2007).

Paramètres Mois	Hum moy %	Hum Min %	Hum Max %	EVP %	Vent m/s	Sirocco Nbrj	Insolation heure	Neige Nbrj	Brouillard Nbrj	Gelée Nbrj
Janvier	77,7	58,1	92,4	58	2,6	0	178,9	4,33	2,1	14,8
Février	74,3	52,6	91,2	68,9	2,9	0	192,1	4,07	1,7	12,3
Mars	69,3	47,1	88,9	106	2,9	0,1	238,2	2	0,7	8
Avril	65,6	42,8	87,6	131,1	3,3	0,7	256,3	0,59	0,5	3,8
Mai	59,5	36,3	82,5	183	3,1	1,1	296,2	00	0,4	0,6
Juin	47,4	25,1	72,2	269,9	2,9	1,4	327,7	00	0,1	0
Juillet	39,2	19,5	62,2	355,7	2,9	1	348	00	0	0
Août	42,5	21,2	65,8	323,1	2,9	0,8	321,2	00	0	0
Septembre	57,2	32,2	81,6	199,6	2,6	0,4	265,3	00	0,1	0
Octobre	65,1	41,5	85,4	139,9	2,4	0,6	239,1	00	0,9	0,2
Novembre	75,1	53,8	91,6	77,5	2,7	0	182,3	0,48	1,7	4,4
Décembre	80,3	61,4	93,9	53,1	2,8	0	162,7	2,85	2,8	12
<b>Total</b>	<b>753,2</b>	<b>491,6</b>	<b>995,3</b>	<b>1965,8</b>	<b>34,0</b>	<b>6,1</b>	<b>3008,3</b>	<b>14,3</b>	<b>11,0</b>	<b>56,1</b>
<b>Moyenne</b>	<b>62,8</b>	<b>41,0</b>	<b>82,9</b>	<b>163,8</b>	<b>2,8</b>	<b>0,5</b>	<b>250,691</b>	<b>1,2</b>	<b>0,9</b>	<b>4,7</b>

Source : O.N.M de SETIF-SFIHA (2008).

- *l'humidité relative.*

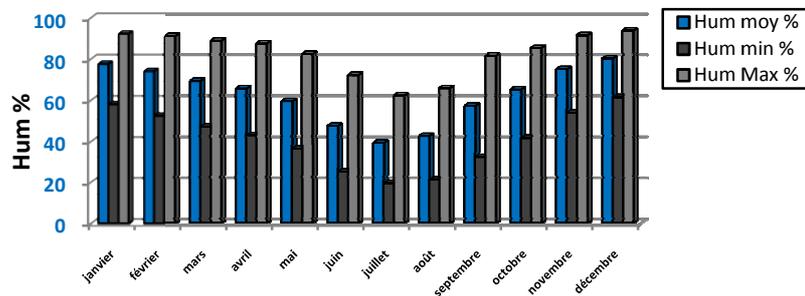
L'humidité de l'air est un élément atmosphérique important à connaître. Elle influence et détermine la teneur en eau du matériel végétale.

L'humidité relative, c'est le rapport de la pression observée de la vapeur d'eau à la pression maximale compatible avec la température de l'air. Plus l'humidité relative de l'air est élevée, plus sa teneur en eau est grande, et cette liaison est plus nette pour le printemps, l'automne et l'hiver.

En pratique, les effets de la température et de l'humidité relative sont indissociables : une hausse de la température induit une augmentation de l'évaporation. Cela explique qu'un taux d'humidité relative, acceptable pour un organisme à une certaine température, devienne inacceptable à température plus élevée. De plus, l'humidité relative et la température peuvent elles même interagir avec la vitesse du vent : de rapides mouvements d'air circulant au-dessus d'une surface évaporante maintiennent un gradient d'humidité et augmentent la vitesse d'évaporation.

L'humidité relative de la région d'étude est constamment élevée avec une moyenne mensuelle supérieure à 60% (Fig.2.5). Son évolution saisonnière est étroitement liée aux précipitations et à l'évaporation. C'est surtout en saison humide que l'on observe les maxima les plus forts, 93% en décembre et janvier.

Les moyennes mensuelles ne descendent plus au dessous de 40% sauf pour les deux mois Juillet et Août. Cela peut être dû à la double influence de la sécheresse estivale et la continentalité et surtout par temps de sirocco.



**Fig. 2.5.** Humidité relative mensuelle moyenne, minimale et maximale en (%) de la station de Sétif.

- *l'évaporation.*

D'après les résultats présentés dans le tableau 2.4, l'évaporation moyenne annuelle est de 163,8 %. L'évaporation moyenne mensuelle est très forte en faveur d'une forte élévation des températures par la fréquence du vent sec et du sirocco au cours des mois de juin, juillet, août et septembre.

- *la neige.*

Elle constitue aussi un facteur écologique de toute première importance. Elle exerce des actions biologiques variées, de nature thermique et mécanique.

La connaissance de la durée de l'enneigement est la plus utile, parce qu'elle permet, mieux que la fréquence des chutes de neige, d'apprécier l'importance véritable de la niviosité.<sup>i</sup> Et comme l'explique (Djebaili,1984), la durée d'enneigement moyenne au sol, exprimée par le nombre de jours où le sol est couvert de neige, est une durée très utile à connaître car, plus la neige persiste au sol et plus le potentiel hydrique de celui-ci augmente, assurant ainsi aux végétaux une meilleure alimentation en eau.

On note d'après (Tab.2.4) un maximum d'enneigement coïncidant avec un maximum de pluie.

- *le vent.*

Il constitue en certains biotopes un facteur écologique limitant. Sous l'influence de vents violents, la végétation est limitée dans son développement.

Le vent accentue les effets des éléments du climat (température, humidité et précipitations). Il est fortement influencé par les conditions topographiques locales. (Le Houérou, 1979), a mis en évidence l'existence d'un écart de 20 % pour les valeurs des précipitations pour les versants exposés ou abrités par rapport aux vents pluviaux. Ainsi un vent dominant peut constituer un élément dévastateur pour la végétation.

Le vent peut être également responsable du façonnement du relief, de l'évapotranspiration et de la formation de la végétation. Il est également connu pour son effet disséminateur des graines et des diaspores.

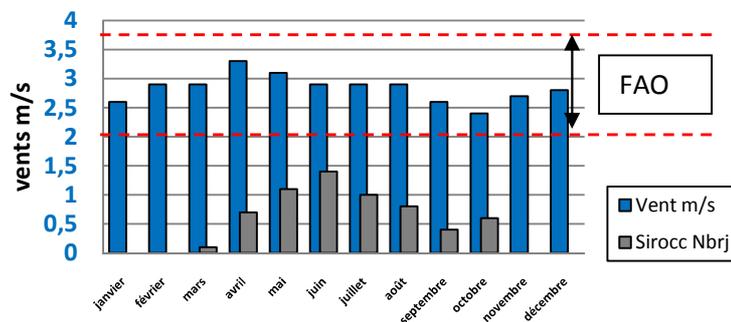
L'écologiste chinois (Liu shu,1984) considère qu'il y a risque sérieux de désertification lorsque la vitesse moyenne annuelle est de 2 m/s à 3.8 m/s au dessus du sol. Ce chiffre est en accord avec celui retenu par la FAO (Boyadgiev ,1984) ce qui nous permet de dire selon le concept de ces scientifiques que notre région d'étude a une vitesse moyenne annuelle de 2,8m/s (Fig.2.6).

#### **Étude particulière d'un type de vent : le sirocco.**

Le sirocco est l'une des caractéristiques des types de temps d'été en Algérie. C'est un vent chaud et sec qui a un pouvoir desséchant élevé par l'augmentation brutale de la température de l'air qu'il provoque.

Il souffle soit directement du Sud, soit du Sud-est, soit du Sud-ouest suivant la position et l'orientation du gradient barométrique, mais il reste toujours un vent du continent vers la mer méditerranéenne.

Dans la région de Sétif, et pendant la période hivernale, on note la prépondérance des vents « Ouest » et « Nord-Ouest ». En été les vents sont variables avec manifestation du sirocco dont les effets limitent la mise en valeur des hautes plaines.



**Fig. 2.6.** vitesse moyenne mensuelle du vent m/s et le nombre moyen des jours du sirocco de la station de Sétif

- ***l'insolation.***

Le cumul moyen annuel est élevé soit 250,691 heures. Les durées d'insolation enregistrées sont plus longues en saison sèche qu'en saison pluvieuse. Les allures moyennes mensuelles (Tab.2.4) présentent les mois de mai, juin, juillet et août comme étant les plus ensoleillés.

- ***Brouillard.***

C'est une autre source d'eau pour la végétation, qui permet d'éviter la formation de gelée nocturne.

- ***Gelées.***

Les gelées sont très fréquents durant la période hivernale. Dans notre zone d'étude, elle tombe exclusivement pendant une période de six mois de novembre à avril avec une moyenne de 4,7 jours par ans.

### 1.3.4 SYNTHÈSE CLIMATIQUE

Il est bien évident que les facteurs qui ont un rapport avec le climat, n'agissent jamais de façon isolée, mais simultanément. L'étude de chacun de ces facteurs représente certes une approche indispensable pour la compréhension des phénomènes écologiques.

« Les facteurs climatiques n'ont une véritable indépendance ni en météorologie, ni en écologie » (Sauvage, 1961), d'où l'intérêt des formules climatiques proposées par de nombreux auteurs pour une étude synthétique du climat.

Pour rendre les données climatiques ci dessous plus significatives plusieurs auteurs ont proposé des indices climatiques qui sont des combinaisons des moyennes des différentes composantes du climat notamment la température et les précipitations (Emberger, 1955).

Cette synthèse met en évidence les différentes caractéristiques du climat méditerranéen. En effet ce dernier est caractérisé par un hiver modéré et un été relativement sec et chaud. Cette différence chronologique entre l'alimentation en eau par les précipitations et la température est responsable de la période sèche de ce type de climat. Ce décalage est souvent dénommé Xérothème c'est à dire long et sec (Faye, 1963).

#### 1.3.4.1 Indice de sécheresse estivale (Emberger, 1942)

Cet indice est utilisé en complément du régime pluviométrique pour caractériser le climat méditerranéen. Il est exprimé par le rapport de la pluviosité estivale (PE) à la moyenne des maximums du mois le plus chaud ( $M$ ). Selon cet auteur, l'indice de sécheresse estivale ne doit pas excéder la valeur 7 pour le climat méditerranéen.

PE	$M$	ISE
47,09	33,3	1,41

La valeur obtenue pour la station de référence est inférieure à 7 ; ce qui indique pour Sétif une sécheresse estivale bien marquée donc son appartenance au climat méditerranéen.

#### 1.3.4.2 Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953).

Ces auteurs déterminent la saison sèche par une représentation graphique portant en abscisse les mois de l'année et en ordonnée, à gauche, les précipitations (P) du mois exprimées en millimètres et à droite les températures ( $T^\circ$ ) du mois exprimées en degrés Celsius. Ils adoptent l'échelle  $P=2T$  et considèrent un mois sec lorsque  $P < 2T$ .

Par ailleurs pour Koppen (1981), un mois est sec ou du moins bioclimatiquement sec s'il reçoit des précipitations dont le total est inférieur à 30 mm. Ce seuil n'est nullement arbitraire puisque Turc (1969) a montré qu'un sol qui a été porté à sa capacité de rétention au champ à la suite d'une période pluvieuse, est capable d'évaporer 1 mm /j pendant un mois.

De son côté, Mitrakos (1982) suppose qu'une pluviométrie de 500 mm satisfait pleinement les besoins de la végétation méditerranéenne.

Letreuch (1991) plut prudent quant à lui, considère qu'un mois sec est celui qui reçoit moins de 55 mm mais ce seuil est beaucoup plus appliqué à une sylviculture de feuillues.

L'analyse du diagramme permet de visualiser une période pluvieuse qui s'étend généralement de la fin septembre au début Mai et une saison sèche dont la durée est de 4 mois et coïncide avec la période estivale, confirmant ainsi la place de notre zone d'étude dans le climat méditerranéen tel que le définit (Emberger, 1943).

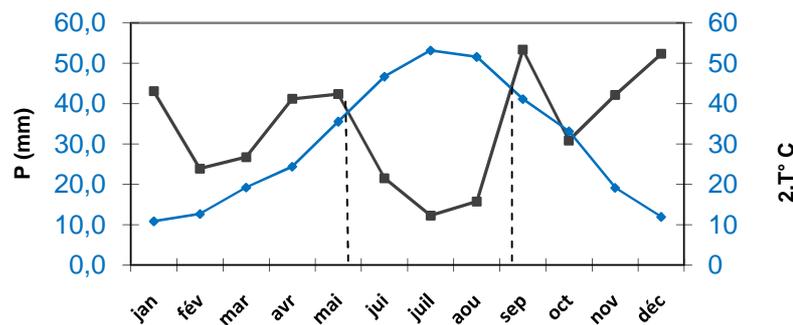


Fig 2.7. Le diagramme Ombrothermique de la région de Sétif pour la période (1981-2007).

### 1.3.4.3 Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger

Emberger (1955) s'intéressant aux extrêmes thermiques  $M$  et  $m$  entre lesquelles se déroule la période végétative et qui peuvent constituer des seuils écologiques pour les différentes espèces végétales.

Si  $M$  est la moyenne des maxima de température du mois le plus chaud de l'année,  $m$  celle des minima du mois le plus froid (exprimées en degrés  $K$ ), si  $P$  représente les précipitations annuelles mesurées en mm, le quotient pluviothermique d'Emberger a pour expression :

$$Q = 2000P \cdot 1 / (M^2 - m^2)$$

Sur le climagramme on distingue cinq étages bioclimatiques : per-aride, aride, semi-aride, sub-humide et humide. Ces derniers sont subdivisés en sous-étage (inférieur, moyen et supérieur) et en variante thermiques (froid, frais, tempéré et chaud) en fonction de la valeur de  $m$ .

$$0^\circ < m < -3^\circ = \text{froid}$$

$$+3^\circ < m < +7^\circ = \text{tempéré}$$

$$0^\circ < m < +3^\circ = \text{frais}$$

$$m > +7^\circ = \text{chaud}$$

Mitrakos (1982) précisait de son côté que tant que «  $m$  » constitue un bon paramètre pour le stress de froid,  $Q$  n'est certainement pas le bon paramètre pour le stress hydrique.

Stewart (1969) a repris le quotient pluviométrique d'Emberger en le rendant plus pratique en vue d'une meilleure utilisation dans les conditions d'un pays comme l'Algérie.

$$Q_2 = 3,43P.1 / (M - m).$$

Notre station de référence se situe dans l'étage semi aride à hiver frais

Paramètres Station	Pluviométrie annuelle en (mm)	M (°C)	m (°C)	Q <sub>2</sub>	
Sétif	400,47	33,83	1,14	42,15	Étage Semi aride à hiver frais

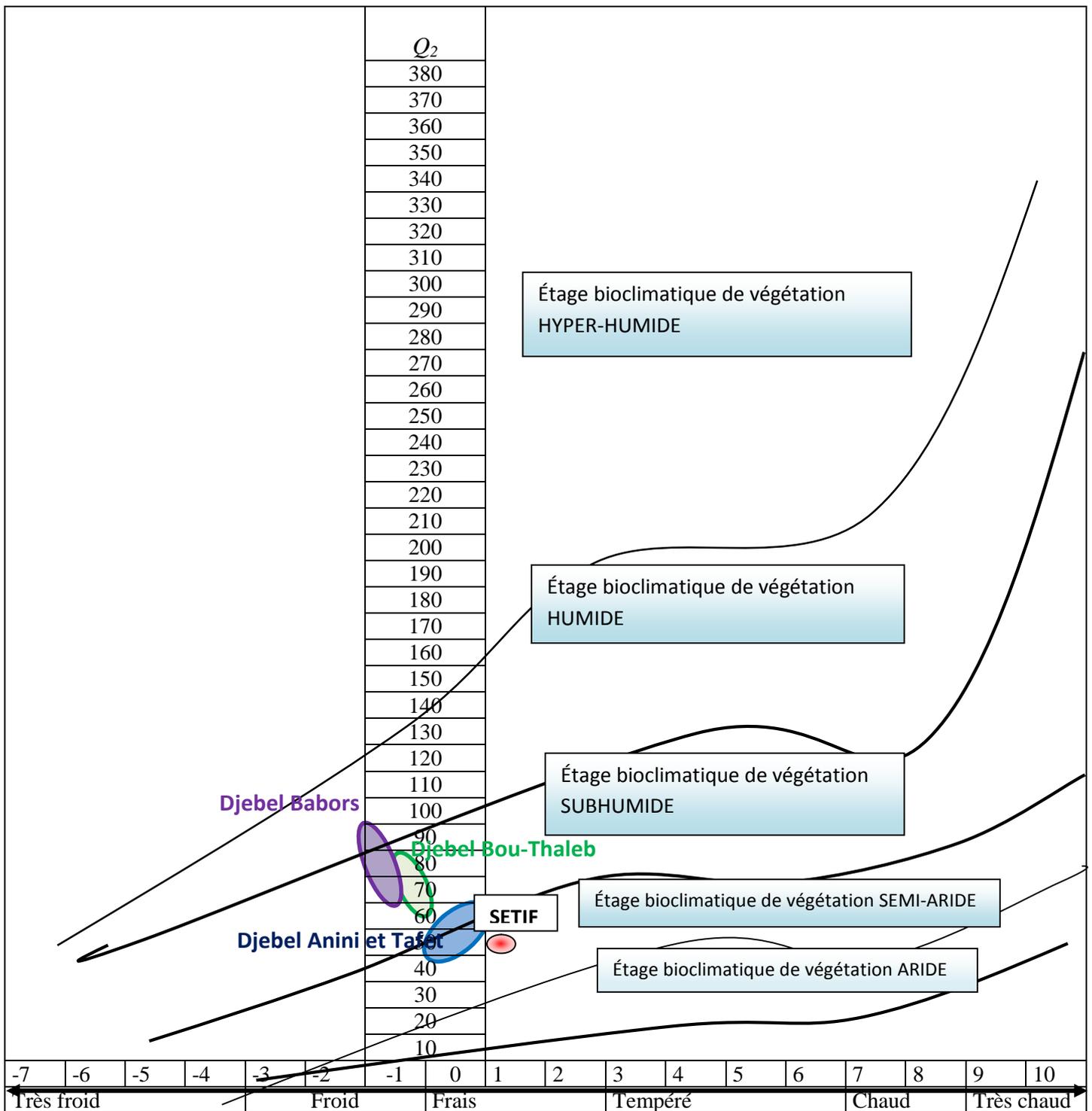


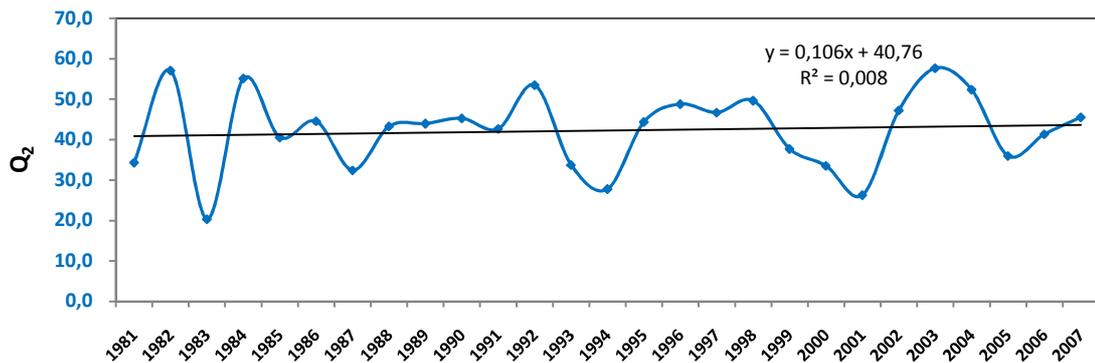
Fig. 2.8. Climagramme d'Emberger

- Variation annuelle du  $Q2$  sur la période (1981-2007)

Tab.2.5. Variation annuelle du  $Q2$  sur la période (1981-2007).

	Pluviométrie annuelle (mm)	$M$ (°C)	Mois le plus chaud	$m$ (°C)	Mois le plus froid	$Q2$	$Q2$ STEWART
1981	303,7	30,6	Juillet	-0,1	Janvier	34,30	33,93
1982	563,2	34,9	Juillet	1	Décembre	57,06	56,98
1983	200,1	34,4	Juillet	0,5	Janvier	20,31	20,24
1984	523,1	34,3	Juillet	1,7	Janvier	55,10	55,03
1985	410,8	34,7	Juillet	-0,2	Janvier	40,53	40,37
1986	432,3	34,2	Août	0,8	Janvier	44,52	44,39
1987	320	34,3	Août	0,3	Janvier	32,40	32,28
1988	424,6	34,9	Juillet	1,2	Décembre	43,26	43,21
1989	403	32,8	Août	1,2	Janvier	43,95	43,74
1990	397,8	31,3	Juillet	0,9	Décembre	45,23	44,88
1991	401,2	33,3	Juillet	0,9	Février	42,65	42,47
1992	505,2	33	Août	0,4	Janvier	53,46	53,15
1993	319,9	33,4	Juillet	0,7	Janvier	33,70	33,55
1994	272,6	35,8	Août	2,2	Janvier	27,77	27,82
1995	422,4	33,6	Juillet	0,8	Janvier	44,35	44,17
1996	442,9	32,6	Juillet	1,3	Février	48,77	48,53
1997	402,4	32,9	Juillet	3,3	Janvier	46,67	46,62
1998	465,3	34,1	Juillet	1,9	Décembre	49,62	49,56
1999	384	35,4	Août	0,4	Février	37,69	37,63
2000	331,3	33,9	Juillet	-0,2	Janvier	33,50	33,32
2001	251,7	34,6	Juillet	1,7	Décembre	26,26	26,24
2002	371,3	32,7	Juillet	5,8	Janvier	47,20	47,34
2003	584,3	35,5	Juillet	0,7	Février	57,64	57,59
2004	492,4	34,2	Août	1,9	Janvier	52,34	52,28
2005	373,8	35,1	Juillet	-0,7	Janvier	35,96	35,81
2006	394,5	33,4	Juillet	0,5	Mars	41,33	41,12
2007	419,9	33,7	Juillet	2	Décembre	45,51	45,43
	<b>400,51</b>	<b>33,84</b>		<b>1,15</b>		<b>42,26</b>	<b>42,14</b>

La figure 2.9 nous montre que  $Q2$  varie d'une année à l'autre pour une période de 27 ans, la température minimale du mois le plus froid est comprise à l'intervalle ( -0,7 et 5,8 °C ) ; alors que la température maximale du mois le plus chaud varie de 30,6 à 35,8 °C .



**Fig. 2.9.** Variation annuelle du Quotient pluviométrique

#### 1.3.4.4 Indice d'aridité de De Martonne (1923)

La formule de calcul de cet indice est la suivante :  $IA_M = P / T + 10$

Où : P : Pluviométrie annuelle moyenne (mm)

T : Température annuelle (C°)

De Martonne (1923) a proposé une formule caractérisant la saison sèche, il est plus élevé que le climat est moins aride.

Notre station de référence :  $P = 400,5$  et  $T = 14,60^\circ\text{C} \rightarrow IA_M = 25,67$

$20 < I < 30$  donc notre station est du type semi humide.

### CONCLUSION

Le climat de la région de Sétif est assez contrasté, de type semi-aride. Il se caractérise par une saison estivale longue, sèche et chaude et des années plus ou moins arrosées. ( $ISE < 7$  ;  $C < 1$  et  $IA_M > 25$ ). Les précipitations sont en général irrégulières et le gradient de pluviosité diminue du Nord vers le Sud. La période la plus arrosée s'étend des mois de septembre à avril. Par ailleurs les mois de juin, juillet et Août présentent une sécheresse récurrente.

Le régime thermique paraît relativement homogène pour les 2 secteurs qui présentent un hiver froid et rigoureux et un été chaud et relativement sec. Les températures moyennes annuelles sont de l'ordre de  $14,60^\circ\text{C}$ .

<sup>i</sup> Proportion de précipitations neigeuses par rapport aux précipitations totales

## 1.4. Correction des données climatiques.

Le chêne vert est localisé dans plusieurs régions dans la wilaya de SETIF, l'on a choisi parmi, trois régions pour effectuer des corrections de températures et de précipitations ; une zone localisée dans le sud représentée par la région de Bou-Thaleb, la deuxième située dans le Nord Sétifien représentée par la région de Bougaâ et la troisième région représentée par les chaînes de Babours.

### **Forêt de Bou-Thaleb : situation générale et contenance**

Situé entre les hautes plaines Sétifiennes et chotts du Hodna, limité au Nord par les cuvettes de Salah Bey et Ain Azel, s'allonge de l'ouest à l'Est sur 36 km environ, sa largeur moyenne est de 12 km, son altitude est de 1000-1900 m, le plus haut sommet (1886), le chêne vert apparaît à 1000 m, monte jusqu'à 1500-1800 m et il peut atteindre même 2400 m.

### **La région de Bougaâ**

**Djebel Anini** : ce massif est, également cité par Boudy, d'une superficie boisée de 1202 ha et d'une altitude relativement basse (1554 m) localisé à Ain Roua commune de Bougaâ dans le Nord Ouest de Sétif.

**Djebel Tafat** : d'une superficie boisée de 1950 ha localisé au sud de l'agglomération de Bougaâ, ce Djebel culmine à 1613m.

L'ensemble de la formation arbustive de ces deux massifs est à la base de *Quercus rotundifolia*, cette formation représente 80% de recouvrement, elle se présente beaucoup plus sous l'aspect d'un matorral dense que d'une forêt proprement dite.

**Djebel Babor** : fait partie d'un ensemble géographique, connue sous le nom de « chaînes des Babors » qui fait suite à l'Est à la chaîne de Djurdjura. Cette chaîne est constituée par de nombreux Djebels qui s'organisent en chaînons sensiblement parallèles orientés Nord-Est Sud-Ouest, ce Djebel culmine à 2004 m d'altitude.

D'après Gharzouli (1989), le piémont méridional du Djebel Babor est pratiquement dépourvu de végétation arborescente. En altitude, les types physiologiques suivants sont observés :

- 1000 - 1450m, végétation arbustive dominée essentiellement par *Calycotome spinosa*.
- 1300 m, quelques pieds de cèdre
- 1400 - 1800 m, forêt à base de *Quercus rotundifolia*, *Cedrus atlantica* et *Juniperus oxycedrus*.
- 1800 - 2000 m, une forêt claire de cèdre avec chêne zeen.
- 1900 m, des pieds isolés de Sapin de Numidie.

#### 1.4.1 CORRECTION PLUVIOMETRIQUES DE LA ZONE D'ETUDE.

Plusieurs auteurs, comme Seltzer (1946), Chaumont & Paquin (1979), et Lucido (1972), (Le Houérou, 1974) in le Houérou (1989) ont noté l'existence d'une relation linéaire entre les précipitations et l'altitude. Plus l'altitude est élevée, plus les précipitations augmentent<sup>1</sup>.

Pour une région bien définie comme le bassin du Hodna, Lucido (1972) in Le Houérou (1975-1977) donne un gradient moyen de 40 mm pour 100 m dans le nord du bassin ; ce qui correspond bien au piémont sud du massif de Bou-Thaleb, et de toute la chaîne des monts de Hodna ; et de 20 mm pour 100 m au sud, et parfois plus selon les formes du relief, l'exposition et l'importance des précipitations.

De même, Seltzer (1946), donne la valeur de 50 mm pour 100 pour toute l'Algérie.

L'application de ces gradients nous a permis de calculer les coefficients de réduction ou d'augmentation probables des précipitations en altitude, et de fait corriger les données des stations : Bou-Thaleb et Bougaâ pour en déduire celles de notre dition en ces points extrêmes.

Ainsi, compte tenu de ces remarques, le gradient que nous avons utilisé pour les corrections des précipitations est celui de Lucido qui donne pour une élévation de 100 m, les précipitations augmentent de 40 mm ; nous avons supposé que le gradient est le même quelque soit l'exposition.

On peut estimer les précipitations qui tombent dans le massif de Bou-Thaleb entre 500 mm et 700 mm sur le flanc. Ceci est bien conforme avec la carte pluviométrique d'Algérie de Chaumont & Paquin qui placent la forêt domaniale de Bou-Thaleb dans une zone comprise entre 300 et 700 mm ; alors que selon Boudy (1955) et Le Houérou (1975-1977) les monts de Hodna peuvent recevoir plus de 600 mm de pluie.

Les massifs Anini et Tafet reçoivent entre 400 et 600 mm et enfin l'estimation de la hauteur des pluies dans le Djebel Babor entre 500 et 700 mm (Tab.2.7).

#### 1.4.2 CORRECTIONS THERMIQUES.

La vie végétale est coincée entre deux pôles thermiques, la moyenne des minima du mois le plus froid ( $m$ ), et la moyenne des maxima du mois le plus chaud ( $M$ ) (Emberger, 1942 ; Daget, 1977).

Tout comme pour la pluviométrie, les températures sont en relation étroite avec l'altitude. De façon générale, plus on monte en altitude, plus la température diminue. Seltzer en 1946, dans son étude sur le climat d'Algérie, préconise les gradients suivants : 0,7 C° de diminution pour tous les 100 m d'altitude pour les maxima ( $M$ ), et 0,4 C° pour tous les 100 m pour les minima ( $m$ ).

L'examen du tableau 2.7 relatif aux températures minimales, maximales et moyennes après leurs corrections nous permet de faire les deux remarques suivantes :

<sup>1</sup> Cette relation n'est pas toujours vraie, car selon EMBERGER (1930), les pluies ne croissent pas indéfiniment avec l'altitude ; il existe dans des régions à hautes altitudes, une limite (altitude maximale) au dessus de laquelle les pluies diminuent.

- Le mois de Juillet correspond au mois le plus chaud pour toutes les stations ( $27,03^{\circ} < M < 32,1^{\circ}\text{C}$ ).
- Le mois de Janvier correspond au mois le plus froid pour toutes les stations ( $-1,568^{\circ} < m < 2,43^{\circ}\text{C}$ ).

**Tab. 2.8.** Détermination des étages bioclimatiques des différentes stations d'étude

Paramètres Stations		Pluviométrie annuelle en (mm)	$M (^{\circ}\text{C})$	$m (^{\circ}\text{C})$	$Q_2$
<i>SETIF</i>	<b>1033</b>	<b>400,47</b>	33,83	1,15	<b>42,15</b>
<i>Bou-Thaleb</i>	<b>1500</b>	<b>586,78</b>	30,03	-0,368	<b>64,96</b>
	<b>1800</b>	<b>706,86</b>	27,93	-1,568	<b>83,68</b>
<i>Djebel Anini et Tafet</i>	<b>1200</b>	<b>467,02</b>	32,13	0,832	<b>51,51</b>
	<b>1600</b>	<b>626,92</b>	29,33	-0,768	<b>72,45</b>
<i>Djebel Babor</i>	<b>1400</b>	<b>546,97</b>	30,73	0,032	<b>61,74</b>
	<b>1800</b>	<b>70,86</b>	27,93	-1,568	<b>83,68</b>

- Djebel Bou-Thaleb serait dans les étages bioclimatiques méditerranéens humide et sub-humide, avec une variante à hiver froid.
- Djebel Anini et Djebel Tafet : ces deux massifs sont répartis dans les étages bioclimatiques allant du subhumid à l'humide.
- Djebel Babor serait dans l'étage bioclimatique méditerranéen sub-humide à hiver variant du frais au froid.

**Tab. 2.7.** Paramètres climatiques corrigés dans la région de Sétif.

	Classes d'altitudes	C	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
<b>P (mm)</b>	1033		40,82	32,50	34,72	40,00	45,48	22,00	11,30	13,79	42,10	33,17	35,11	49,27	<b>400,50</b>
<b>T° Max</b>			9,5	11,1	14,3	17,4	23,1	29,4	33,3	32,7	27,1	21,4	14,5	10,3	<b>20,34</b>
<b>T° Min</b>			1,5	2,2	4,4	6,8	11,2	16,1	19,5	19,5	15,4	11,4	6,1	2,7	<b>9,73</b>
<b>P (mm)</b>	1200	1,167	47,63	37,92	40,51	46,67	53,07	25,67	13,18	16,09	49,12	38,70	40,97	57,49	<b>467,02</b>
<b>T° Max</b>		-1,17	8,33	9,93	13,13	16,23	21,93	28,23	32,13	31,53	25,93	20,23	13,33	9,13	<b>19,17</b>
<b>T° Min</b>		-0,67	0,83	1,53	3,73	6,13	10,53	15,43	18,83	18,83	14,73	10,73	5,43	2,03	<b>9,07</b>
<b>P (mm)</b>	1400	1,367	55,78	44,41	47,45	54,66	62,15	30,06	15,44	18,84	57,53	45,33	47,98	67,33	<b>546,97</b>
<b>T° Max</b>		-2,57	6,93	8,53	11,73	14,83	20,53	26,83	30,73	30,13	24,53	18,83	11,93	7,73	<b>17,77</b>
<b>T° Min</b>		-1,47	0,03	0,73	2,93	5,33	9,73	14,63	18,03	18,03	13,93	9,93	4,63	1,23	<b>8,27</b>
<b>P (mm)</b>	1500	1,466	59,84	47,65	50,90	58,64	66,67	32,25	16,57	20,22	61,72	48,63	51,47	72,23	<b>586,78</b>
<b>T° Max</b>		-3,27	6,23	7,83	11,03	14,13	19,83	26,13	30,03	29,43	23,83	18,13	11,23	7,03	<b>17,07</b>
<b>T° Min</b>		-1,87	-0,37	0,33	2,53	4,93	9,33	14,2	17,63	17,63	13,53	9,53	5,73	2,33	<b>8,12</b>
<b>P (mm)</b>	1600	1,566	63,94	50,90	54,38	62,65	71,23	34,46	17,70	21,60	65,94	51,95	54,99	77,17	<b>626,92</b>
<b>T° Max</b>		-3,96	5,53	7,13	10,33	13,43	19,13	25,43	29,33	28,73	23,13	17,43	10,53	6,33	<b>16,37</b>
<b>T° Min</b>		-2,26	-0,76	-0,07	2,13	4,53	8,93	13,83	17,23	17,23	13,13	9,13	3,83	0,43	<b>7,47</b>
<b>P</b>	1800	1,766	72,09	57,40	61,32	70,64	80,32	38,85	19,96	24,35	74,35	58,58	62,00	87,01	<b>706,86</b>
<b>T° Max</b>		-5,37	4,13	5,73	8,93	12,03	17,73	24,03	27,93	27,33	21,73	16,03	9,13	4,93	<b>14,97</b>
<b>T° Min</b>		-3,07	-1,57	-0,87	1,33	3,73	13,03	16,43	16,43	16,43	12,33	8,33	3,03	-0,37	<b>6,67</b>
<b>P (mm)</b>	2400	2,365	96,54	76,86	82,11	94,60	107,56	52,03	26,72	32,61	99,57	78,45	83,04	116,52	<b>946,61</b>
<b>T° Max</b>		-9,57	-0,07	1,53	4,73	7,83	13,53	19,83	23,73	23,13	17,53	11,83	4,93	0,73	<b>10,77</b>
<b>T° Min</b>		-5,47	-3,97	-3,27	-1,07	1,33	5,73	10,63	14,03	14,03	9,93	5,93	0,63	-2,77	<b>4,27</b>

C (coefficient de correction de précipitation) =  $(A + 400,5)/400,5$ .

Où A (accroissement pluviométrique en mm) =  $d \times 40/100$ .

D : différence d'altitude entre la station de référence.

**Classes d'altitude :**

**Bou-Thaleb :** 1500-1800 jusqu'à 2400m

**Djebel Anini:** 1200-1600 m

**Djebel Tafat:** 1200-1600 m

**Djebel Babor :** 1400-1800 m

*Résultats,*

*Discussion générale et*

*Perspectives*

---

### III. ANALYSE DES TEMPERATURES TRI HORAIRES POUR LA PERIODE 2005-2008.

Notre étude consiste à déterminer la variabilité des paramètres thermiques notamment les températures extrêmes des saisons hivernales et estivales, ainsi que les mois de Mars, Avril et Novembre pour la période de 2005-2008, nous avons traité les données thermiques trihoraires comme suit :

- L'analyse descriptive des températures minimales et maximales des saisons pour chaque année.
- L'intensité (durée) et la fréquence des températures extrêmes critiques pour la même période.
- La répartition des stress thermiques.
- La variabilité des moyennes mensuelles des (Tn et Tx) pour chaque saison.
- La variabilité des températures moyennes mensuelles minimales et maximales du même mois.
- La variabilité des moyennes saisonnières des températures (Tn et Tx).
- La variabilité des températures moyennes mensuelles pour chaque saison.

#### III.1. L'analyse statistique descriptive des données climatiques.

Les températures moyennes ne possèdent qu'un sens très relatif. C'est surtout la température moyenne du mois le plus froid, du plus chaud et les minima enregistrés qui méritent plus d'attention. Pour bien illustrer le paramètre climatique thermique, il faut déterminer plusieurs variables : La moyenne des maxima (*M*), la moyenne des minima (*m*), le coefficient de variation (CV), l'écart type (S) et la variance. Notre travail traite les deux saisons (estivale et hivernale) et le mois de Mars, Avril et Novembre (risque des gelées tardives) sur la période 2005-2008, afin de définir les changements thermiques, et les différents stress enregistrés.

Le coefficient de variation et l'écart type permettent de mesurer et de préciser l'intensité des irrégularités thermiques. En effet, le coefficient de variation et L'écart type permettent de comparer la dispersion des données thermiques (Bruno, 2005).Dont on note :

**Tab 3.1.** Résultats descriptives des températures minimales pour la période 2005-2008 (Moyenne mensuelle, Température mensuelle minimale la plus grande, Température mensuelle minimale la plus petite, variance, Ecart type, Coefficient de variation).

ANNEES	MOIS	Moyenne	Maximum	Minimum	Variance (n)	Ecart-type	Coefficient de variation
2005	Décembre	1,868	6,900	-2,400	5,945	2,478	1,305
	Janvier	-0,748	3,900	-9,500	9,580	3,146	-4,136
	Février	-0,475	3,900	-6,100	5,783	2,449	-5,063
	Mars	5,587	14,800	-3,100	24,036	4,984	0,877
	Avril	7,593	16,500	-0,100	19,501	4,491	0,582
	Juin	17,040	22,800	8,400	13,284	3,707	0,214
	Juillet	20,719	27,500	14,800	14,051	3,810	0,181
	Aout	31,787	39,600	24,700	18,051	4,319	0,134

2006	Décembre	3,584	8,100	0,100	3,947	2,019	0,554
	Janvier	0,700	5,600	-2,900	4,482	2,152	3,024
	Février	0,932	3,800	-1,700	2,774	1,696	1,787
	Mars	5,039	13,200	-1,900	15,071	3,946	0,770
	Avril	9,807	16,800	3,200	13,597	3,750	0,376
	Juin	17,817	26,300	2,500	44,075	6,752	0,373
	Juillet	20,316	25,000	15,700	4,515	2,160	0,105
	Aout	18,394	24,200	11,400	7,586	2,800	0,150
2007	Décembre	1,955	6,400	-4,100	5,255	2,330	1,173
	Janvier	3,232	8,600	-1,200	5,593	2,404	0,732
	Février	3,786	7,400	1,000	2,964	1,753	0,455
	Mars	3,711	12,000	-3,400	14,324	3,854	1,020
	Avril	8,367	13,100	1,800	7,034	2,698	0,317
	Juin	17,407	25,800	7,000	25,928	5,179	0,293
	Juillet	19,719	23,700	12,900	7,487	2,781	0,139
	Aout	20,187	23,700	15,600	5,944	2,478	0,121
2008	Janvier	2,213	6,500	-2,200	4,973	2,268	1,008
	Février	3,193	7,000	-2,100	5,688	2,427	0,747
	Mars	3,968	11,700	-3,900	14,859	3,918	0,972
	Avril	7,553	16,200	0,400	15,558	4,012	0,522
	Juin	15,363	21,900	9,600	13,797	3,778	0,242
	Juillet	20,748	25,500	14,600	8,896	3,032	0,144
	Aout	20,171	27,300	13,800	7,861	2,850	0,139

Tab. 3.2. Résultats descriptives des températures maximales pour la période 2005-2008.

ANNEES	MOIS	Moyenne	Maximum	Minimum	Variance (n)	Ecart-type	Coefficient de variation
2005	Décembre	8,623	13,600	3,500	6,559	2,603	0,297
	Janvier	8,203	13,800	-2,300	23,931	4,973	0,596
	Février	6,750	15,600	0,700	13,866	3,792	0,552
	Mars	15,239	23,600	2,100	34,690	5,987	0,387
	Avril	17,597	26,400	4,200	33,189	5,859	0,327
	Juin	30,357	36,800	22,900	15,832	4,047	0,131
	Juillet	20,719	27,500	14,800	14,051	3,810	0,181
	Aout	31,787	39,600	24,700	18,051	4,319	0,134
2006	Décembre	10,555	16,300	5,800	6,793	2,649	0,247
	Janvier	7,590	12,300	3,000	4,652	2,192	0,284
	Février	9,314	14,700	5,200	8,772	3,016	0,318
	Mars	15,861	25,300	4,000	27,802	5,360	0,332
	Avril	20,910	27,500	13,500	16,552	4,138	0,195
	Juin	30,703	38,500	15,000	38,512	6,312	0,202
	Juillet	33,445	37,800	26,600	5,998	2,490	0,073
	Aout	32,306	37,800	22,300	12,515	3,596	0,110
2007	Décembre	9,823	17,100	3,400	11,206	3,403	0,341
	Janvier	13,490	21,000	6,500	11,583	3,460	0,252
	Février	12,504	18,900	5,300	11,365	3,433	0,270
	Mars	12,496	23,700	2,700	32,798	5,832	0,458
	Avril	16,417	21,800	10,300	8,343	2,938	0,176
	Juin	30,780	38,200	15,700	36,308	6,129	0,196
	Juillet	33,655	37,200	27,200	6,622	2,616	0,076
	Aout	33,277	37,200	26,900	5,311	2,343	0,069
2008	Janvier	12,333	16,600	7,000	7,636	2,811	0,224
	Février	13,207	18,000	8,200	6,171	2,528	0,188
	Mars	14,042	24,200	0,600	31,917	5,743	0,402
	Avril	19,250	26,500	8,500	23,834	4,965	0,254
	Juin	28,207	36,800	18,900	28,013	5,383	0,188
	Juillet	34,703	39,200	28,800	9,034	3,055	0,087
	Aout	33,713	39,500	27,900	8,640	2,988	0,087

## Discussion

L'examen des tableaux (3.1 et 3.2) montre une nette variation entre l'amplitude thermique des températures extrêmes pour les minima et les maxima avec une valeur de 15 à 20°C pour les minima et de 20 à 25°C pour les maxima.

Concernant la période hivernale, les moyennes de maxima de l'hiver varient de 3,8 et 8,6°C alors la période estivale enregistre des moyennes variantes de 21,9 et 39,6°C. Les moyennes des minima de l'hiver varient entre -2,2° et 8,20°C, alors que pour la saison estivale, elle est de 1,8° à 24,7°C.

Il semble que les effets des changements climatiques commencent à être visible et ils devraient continuer à provoquer en méditerranée une augmentation des températures. Cela aurait pour conséquence l'augmentation du stress auquel sont soumis les peuplements de chênes.

### III.2. Durée et fréquence des températures froides et chaudes.

Le calcul de  $m$  (1,15°C) et  $M$  (33,84°C) sur une période de 27 ans (1981-2007) nous a permis d'illustrer les variabilités thermiques afin de déterminer les stress des 04 dernières années 2005-2008.

Le *stress* est considéré pour toute température inférieure à  $m$  pour les températures froides et supérieure à  $M$  pour les températures chaudes.

- **Température froide**

Cinq classes de températures fraîches dans la gamme de 1 et -9°C ont été enregistrées.

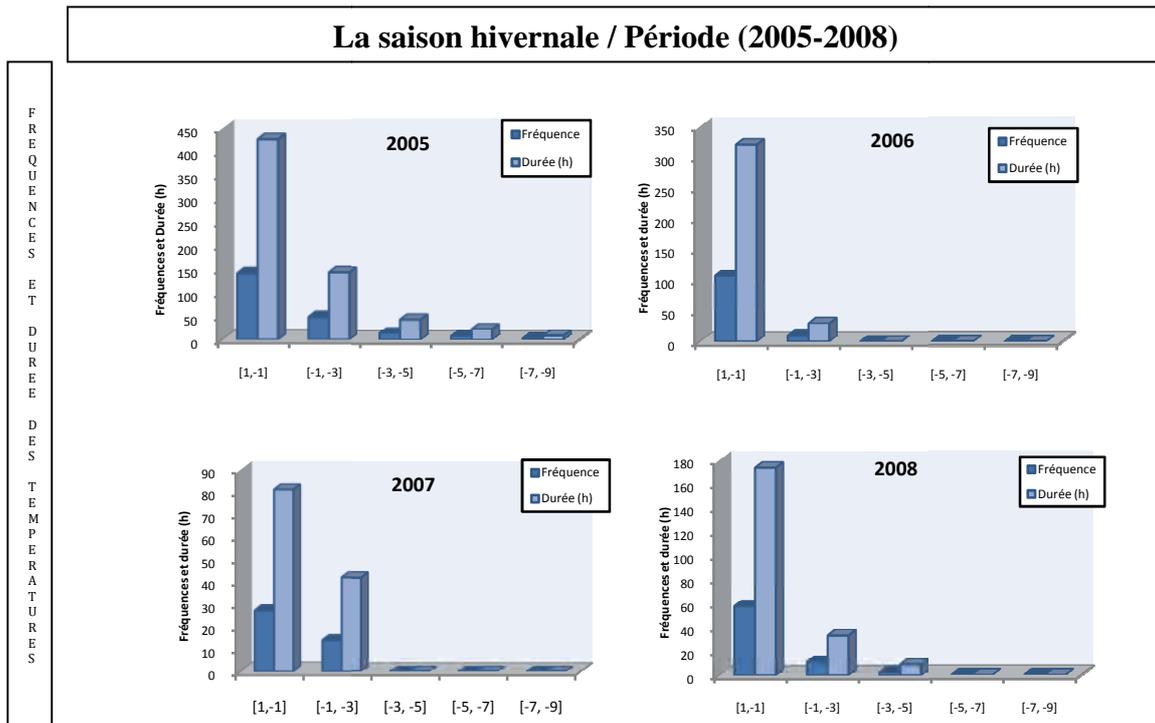
**Tab. 3.3.** Durée et fréquences de températures fraîches inférieures à  $m$  (1,15°C) durant les années 2005-2008

Année	Mois	Classes	[1, -1]	[-1, -3]	[-3, -5]	[-5, -7]	[-7, -9]	TOTAL
2005	Décembre	Fréquence	24	5	1	0	0	30
		<b>Durée (h)</b>	<b>72</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>90</b>
	Janvier	Fréquence	32	12	12	7	3	66
		<b>Durée (h)</b>	<b>96</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>21</b>	<b>9</b>	<b>198</b>
	Février	Fréquence	53	20	2	1	0	76
		<b>Durée (h)</b>	<b>159</b>	<b>60</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>228</b>
	Mars	Fréquence	13	9	0	0	0	22
		<b>Durée (h)</b>	<b>39</b>	<b>27</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>66</b>
	avril	Fréquence	10	0	0	0	0	10
		<b>Durée (h)</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>30</b>
	novembre	Fréquence	10	2	0	0	0	12
		<b>Durée (h)</b>	<b>30</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>36</b>
2006	Décembre	Fréquence	20	3	0	0	0	23
		<b>Durée (h)</b>	<b>60</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>69</b>
	Janvier	Fréquence	53	5	0	0	0	58
		<b>Durée (h)</b>	<b>159</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>174</b>
	Février	Fréquence	20	1	0	0	0	21
		<b>Durée (h)</b>	<b>60</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>63</b>
	Mars	Fréquence	14	1	0	0	0	15
		<b>Durée (h)</b>	<b>42</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>45</b>

	avril	Fréquence	0	0	0	0	0	0
		<b>Durée (h)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	novembre	Fréquence	0	0	0	0	0	0
		<b>Durée (h)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
2007	Décembre	Fréquence	3	0	0	0	0	3
		<b>Durée (h)</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>9</b>
	Janvier	Fréquence	8	0	0	0	0	8
		<b>Durée (h)</b>	<b>24</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>24</b>
	Février	Fréquence	0	0	0	0	0	0
		<b>Durée (h)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	Mars	Fréquence	11	13	0	0	0	24
		<b>Durée (h)</b>	<b>33</b>	<b>39</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>72</b>
	avril	Fréquence	0	0	0	0	0	0
		<b>Durée (h)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
novembre	Fréquence	5	1	0	0	0	6	
	<b>Durée (h)</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>18</b>	
2008	Décembre	Fréquence	16	5	2	0	0	23
		<b>Durée (h)</b>	<b>48</b>	<b>15</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>69</b>
	Janvier	Fréquence	12	1	0	0	0	13
		<b>Durée (h)</b>	<b>36</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>39</b>
	Février	Fréquence	5	0	0	0	0	5
		<b>Durée (h)</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>15</b>
	Mars	Fréquence	25	5	1	0	0	31
		<b>Durée (h)</b>	<b>75</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>93</b>
	avril	Fréquence	0	0	0	0	0	0
		<b>Durée (h)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
novembre	Fréquence	0	0	0	0	0	0	
	<b>Durée (h)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	

La durée totale des températures fraîches inférieures à  $m$  est respectivement de 648h durant l'année 2005, 351h pour l'année 2006, 123h pour l'année 2007 et 216h pour l'année 2008.

- Pour l'année 2005, la durée totale mensuelle maximale des températures fraîches a été enregistrée pendant le mois de février avec un cumul de 228 heures, tandis qu'Avril présente le mois ou on a enregistré le cumul le plus faible de 30 h.
- Pour l'année 2006, la durée totale mensuelle maximale des températures fraîches a été enregistrée pendant le mois de Janvier avec un cumul de 174 heures, les mois de Novembre et Avril ne présentant aucun stress.
- Pour l'année 2007, la durée totale mensuelle maximale des températures fraîches a été enregistrée pendant le mois de Mars avec un cumul de 72 heures, le plus faible cumul est enregistré durant le mois de Décembre (9 heures).
- Pour l'année 2008, la durée totale mensuelle maximale des températures fraîches a été enregistrée pendant le mois de Mars (93 heures), le cumul le plus faible a été enregistré en mois de Février avec un cumul de 15h.



**Fig. 3.1.** Fréquence et durée des températures fraîches pour la période 2005-2008 de la région de Sétif.

La figure 3.1 nous renseigne sur l'intervalle des températures froides enregistrées durant la période froide des quatre ans, elle est dominée par les températures allant de 1°C jusqu'à -3°C, l'année 2005 semble l'année où les basses températures ont atteints -8°C. On a enregistré des cumuls élevés durant la période printanière, ce qui a favorisé les gelées tardives qui peuvent causer le dépérissement puis la mortalité des arbres.

**Tendance des températures.**

Pour mettre en évidence l'évolution des températures nous avons calculé les tendances par la régression linéaire pour un niveau temporel : mois, le but est d'établir une relation de dépendance entre les 2 variables *températures* (y) et *jours*(x). L'équation de régression s'écrit :  $y = a + bx$  ; il suffit que b de l'équation soit différent de zéro. Cette méthode permet de voir si  $b_{yx} \neq 0$  diffère significativement de zéro.

On compare  $t$  observer avec  $t$  théorique (table de  $t$ -student)

$$t_{obs} = |b_{yx}| \sqrt{\frac{SCE_x}{\hat{\sigma}_{yx}^2}}$$

$$\text{si } t_{obs} \geq t_{1-\frac{\alpha}{2}} \Rightarrow RH_0 \Rightarrow \beta_{yx} \neq 0 \quad \begin{cases} \alpha=0,05 \\ (n-2) \text{ ddl} \end{cases}$$

Ce test de conformité avec une valeur nulle, est aussi appelé "test de signification" de l'hypothèse correspondante relative au coefficient de régression, il est strictement équivalent aux tests de l'hypothèse correspondante relative au coefficient de corrélation  $r$ .

De la relation suivante :

$$t_{1-\alpha/2} = \frac{r_{1-\alpha/2} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{1-\alpha/2}^2}}$$

On déduit les valeurs critiques qui correspondent à toute valeur  $r_{1-\alpha/2} \Rightarrow t_{1-\alpha/2}$  et cela quelque soit le

nombre de degré de liberté (ddl) et le niveau de signification  $\alpha$ .

On utilise le test de l'hypothèse correspondante relative au coefficient de corrélation  $r$  pour la signification statistique.

La figure 3.2 représente les courbes de la variation des températures minimales pour chaque mois de la saison hivernale pour les années 2005-2006-2007. La variabilité des températures minimales de ces années montre des tendances vers un refroidissement hivernale, ce qui explique les grands refroidissements de l'année 2005 que la région de Sétif à connu.

- **Saison hivernale 2008**

Durant l'année expérimentale, nous avons remarqué que les températures ont enregistré des variations durant la saison hivernale qui tendant vers un réchauffement (tendance= 0,159° pour le mois de février) (Fig.3.3).

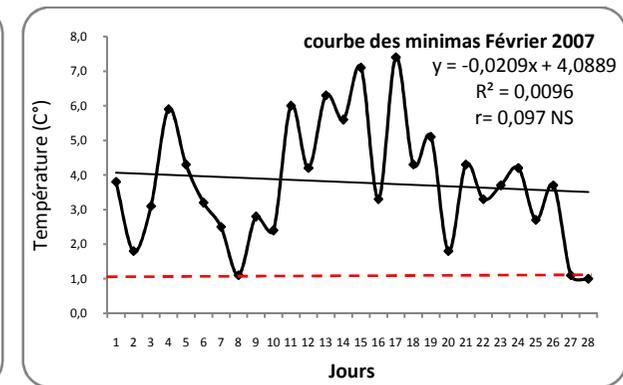
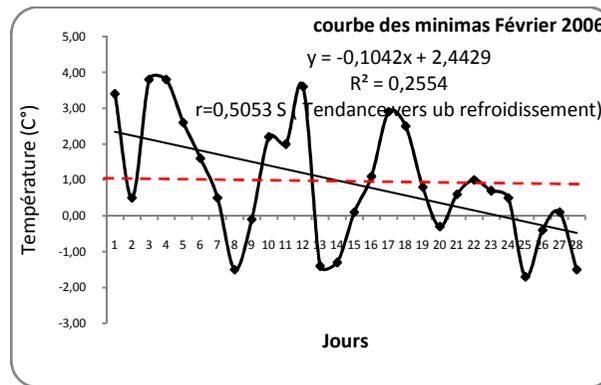
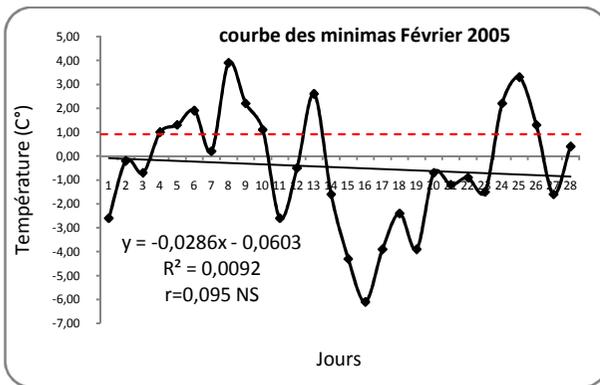
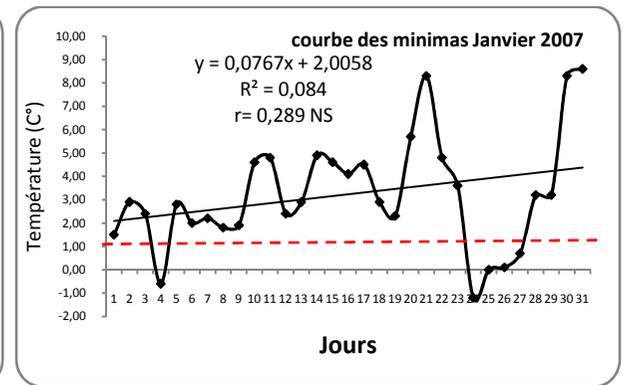
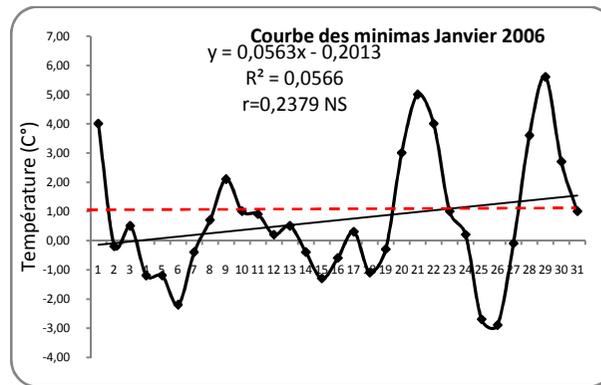
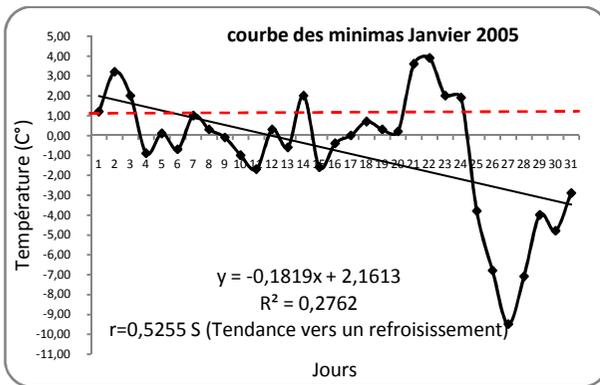
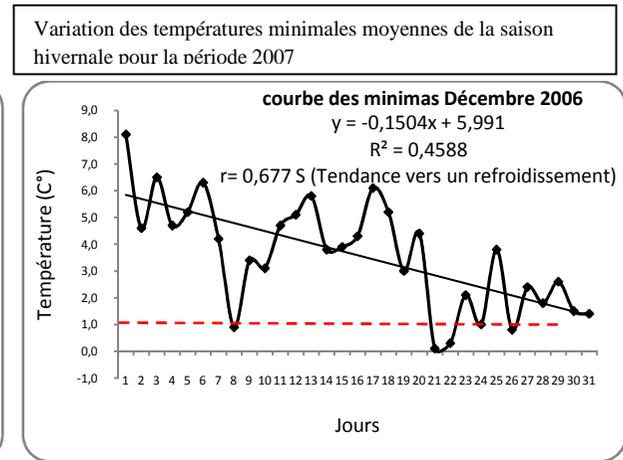
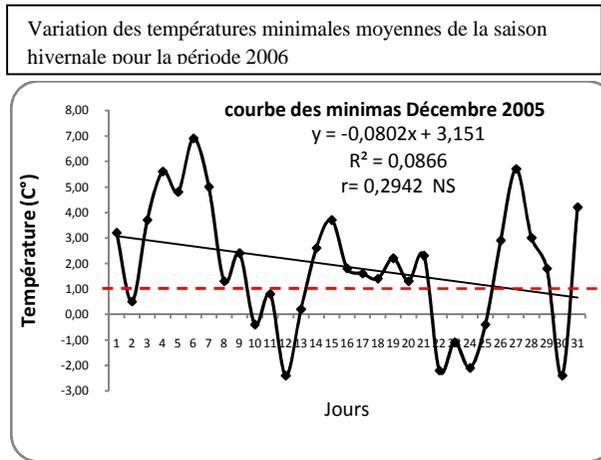
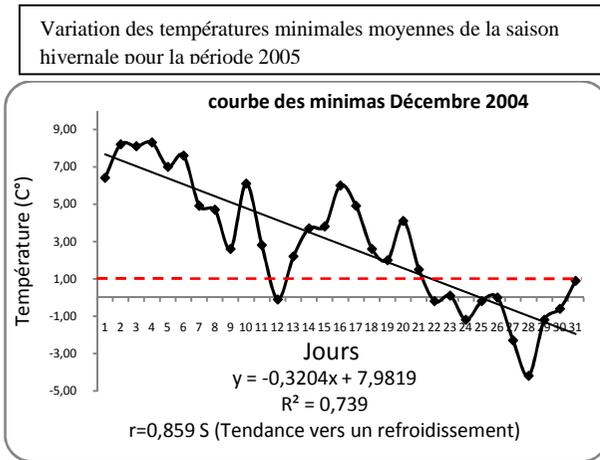
D'après la figure 3.3 nous pouvons extraire les différents stress enregistrés durant la période hivernale de l'année 2008 comme suit :

Deux stress sont enregistrés durant le mois de Décembre, le premier (Fig.3.3-a), avec une fréquence de 7 fois pour une durée de 21h (2 pics), ce stress est compris entre [-0,8°-1 °C] ; le deuxième est plus long d'une durée de 48 h enregistré à la mi- Janvier.

Cependant Janvier a enregistré trois stress, le premier (Fig.3.3-c), ou les températures comprises entre [-0,3°-1,0°C] ont durée 18 heures (2 pics), alors que le deuxième (Fig.3.3-d), ou elles ont été comprises entre [0°- 1,0°C] ont duré 9 heures enregistrées à la deuxième semaine et enfin le troisième stress d'une fréquence de 3 fois avec des températures variant entre -1,70° et 0,1°C (Fig.3.3-e).

Un seul stress a été enregistré durant le mois de Février (Fig.3.3-f), ou les basses températures comprises entre [-0,20° -0,90°C] ont durée 12 h (2 pics).

La plus grande durée enregistrée est observée au début du mois de Mars avec 69 heures, oscillent entre -3,5°C et 1,0°C (Fig.3.4-a), le deuxième stress, plus court à duré 12 heures (Fig.3.4-b).



----- :  $m = 1,15^\circ\text{C}$

**Fig. 3.2.** Courbes de la variation des températures minimales pour chaque mois de la saison hivernale pour les années 2005-2006-2007.

Variation des températures minimales moyennes de la saison hivernale pour la période 2008

Cinétique des températures fraîches

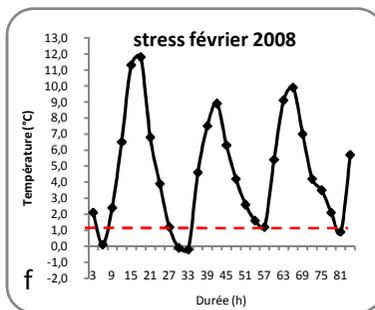
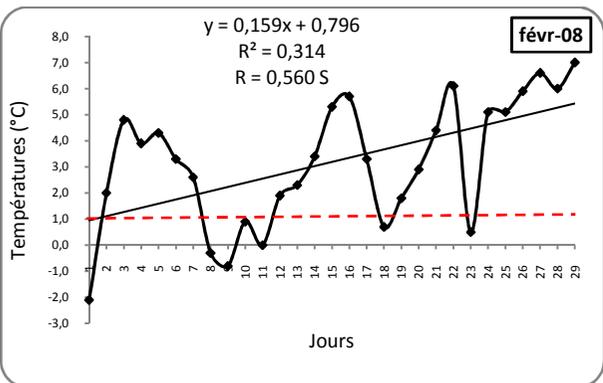
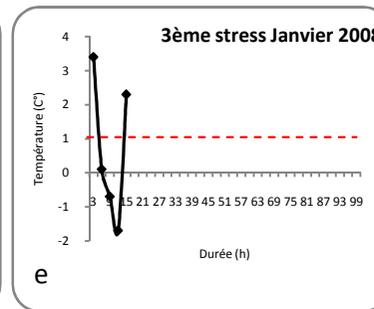
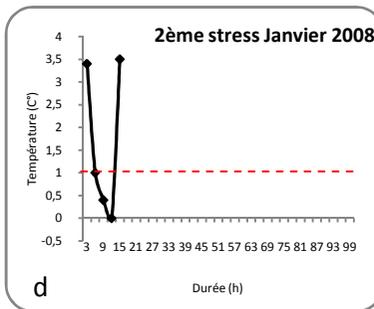
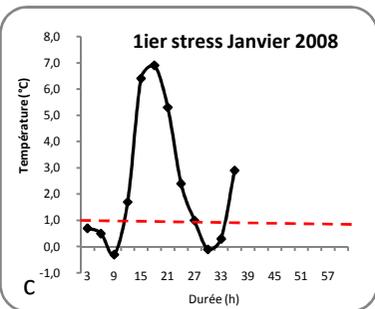
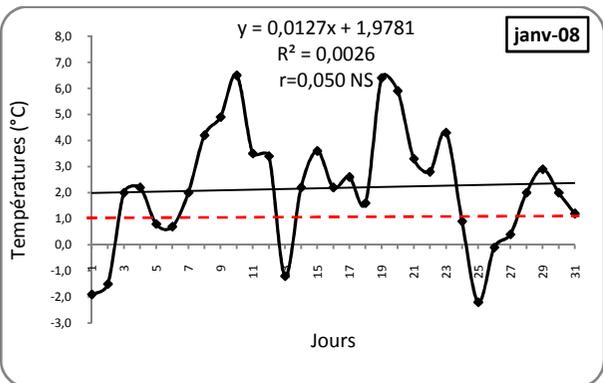
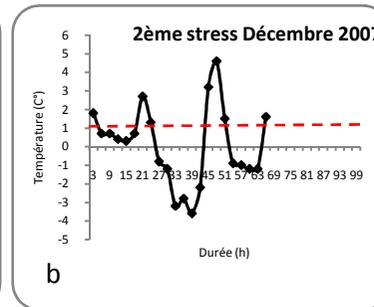
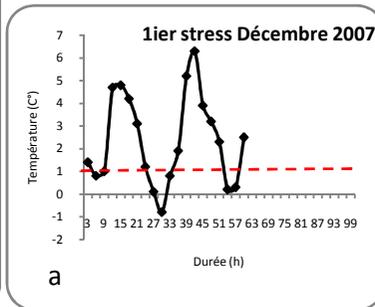
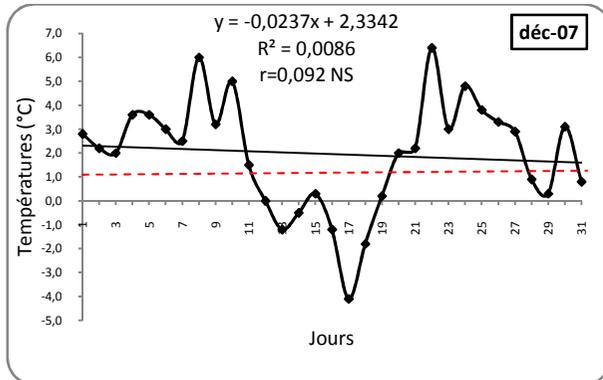
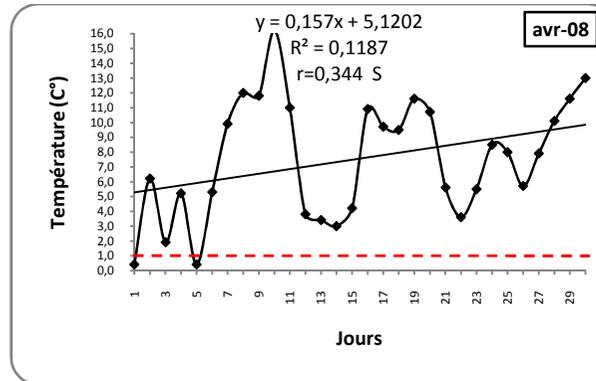
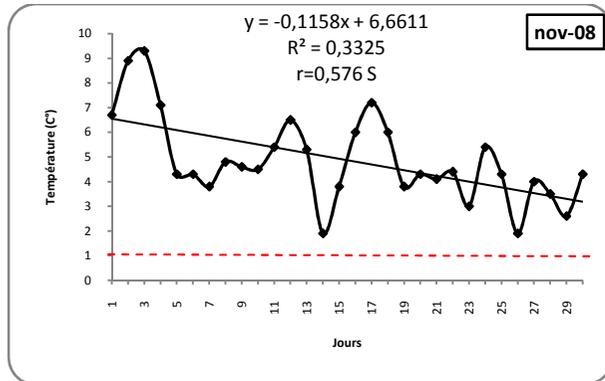
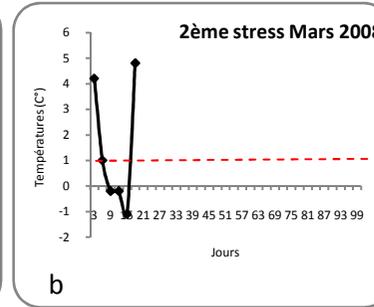
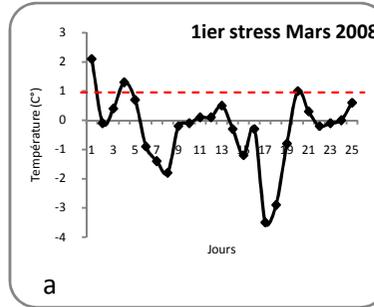
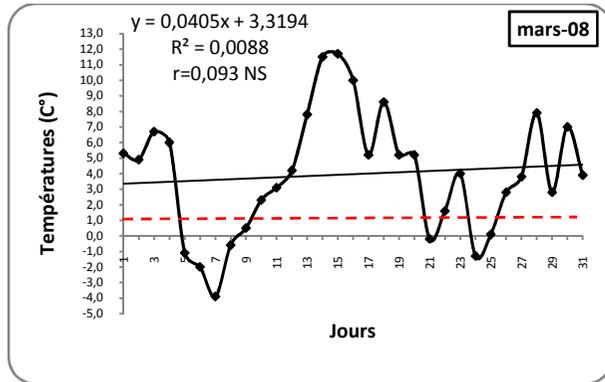


Fig. 3.3. Courbes de la variation des températures minimales pour chaque mois de la saison hivernale pour l'année 2008 et cinétique des T° fraîches.

Variation des températures minimales moyennes de la saison printanière pour la période 2008

Cinétique des températures fraîches



**Fig. 3.4.** Courbes de la variation des températures minimales pour les mois de Mars, Avril et Novembre pour l'année 2008 et cinétique des T° fraîches.

- **Températures chaudes**

Trois classes de températures chaudes dans la gamme de 34 et 40°C ont été enregistrées comme nous présente le tableau 3.4.

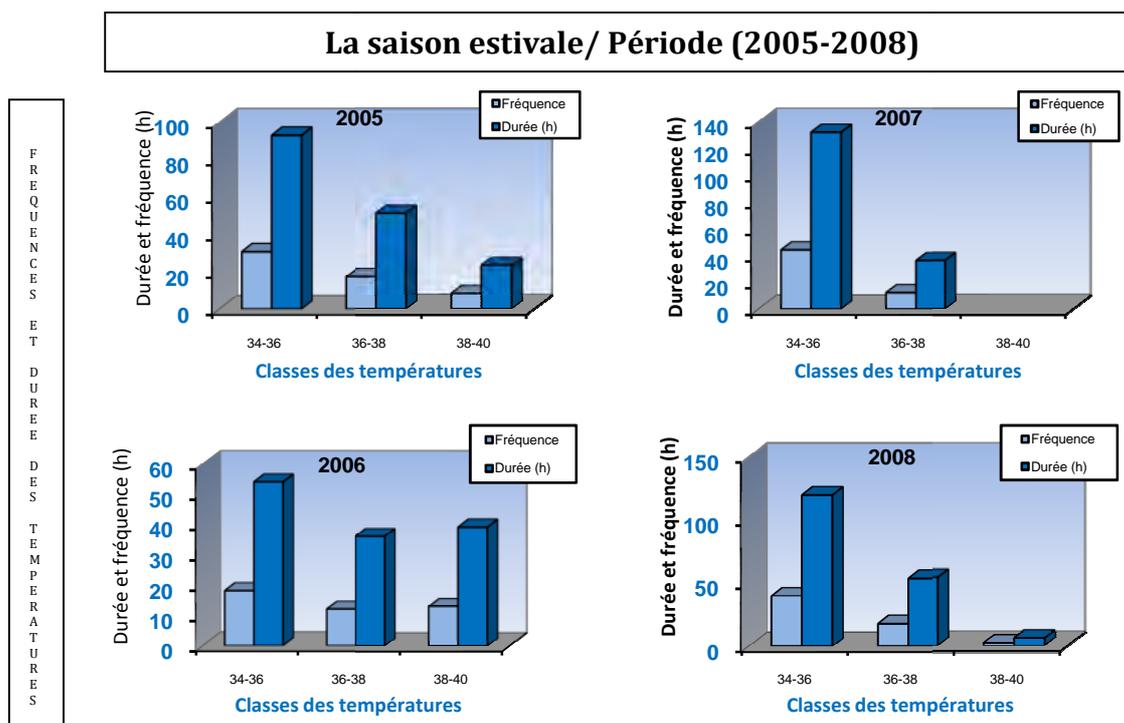
**Tab.3.4.** Durée et fréquences de températures chaudes supérieures à  $M$  (33,83°C) pour la période 2005-2008.

Année	Mois Classe		34-36	36-38	38-40	TOTAL
2005	Juin	Fréquence	5	0	0	5
		<b>Durée (h)</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>15</b>
	Juillet	Fréquence	16	13	8	27
		<b>Durée (h)</b>	<b>48</b>	<b>39</b>	<b>23</b>	<b>110</b>
	Août	Fréquence	10	4	0	14
		<b>Durée (h)</b>	<b>30</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>42</b>
2006	Juin	Fréquence	10	10	11	31
		<b>Durée (h)</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>33</b>	<b>93</b>
	Juillet	Fréquence	8	2	2	12
		<b>Durée (h)</b>	<b>24</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>36</b>
	Août	Fréquence	0	0	0	0
		<b>Durée (h)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
2007	Juin	Fréquence	11	11	0	22
		<b>Durée (h)</b>	<b>33</b>	<b>33</b>	<b>0</b>	<b>66</b>
	Juillet	Fréquence	18	1	0	19
		<b>Durée (h)</b>	<b>54</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>57</b>
	Août	Fréquence	15	0	0	15
		<b>Durée (h)</b>	<b>45</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>45</b>
2008	Juin	Fréquence	6	0	0	6
		<b>Durée (h)</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>18</b>
	Juillet	Fréquence	17	13	1	31
		<b>Durée (h)</b>	<b>51</b>	<b>39</b>	<b>3</b>	<b>93</b>
	Août	Fréquence	17	5	1	23
		<b>Durée (h)</b>	<b>51</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>69</b>

Selon le tableau 3.4, la durée totale des températures chaudes supérieures à  $M= 33,83^{\circ}\text{C}$  est de 167 heures pour l'année 2005, 129 heures pour l'année 2006, 168 heure pour l'année 2007 et 180 pour l'année 2008.

- Pour l'année 2005, le mois de Juillet présente le cumul d'heures le plus grand estimé par 110 heures, suivi par le mois d'août d'une durée de 42 heures, le mois de juin représente le cumul le plus faible.
- Pour l'année 2006, le cumul le plus élevée est enregistrée durant le mois de Juin de 93 heures, alors que le mois d'Août ne présente pas de stress.
- Pour l'année 2007, la durée mensuelle des températures chaudes est de 66 heures en Juin, 57 heures en Juillet et 45 heures en Août.

Pour l'année 2008, le cumul le plus élevé est de 93 heures durant le mois de Juillet, le mois de Juin présente le cumul le plus faible (18 h).



**Fig. 3.5.** Intensité du stress thermique pour la période 2005- 2008 de la région de Sétif.

Concernant les intervalles des températures chaudes, comprises entre 34° et 38°C, l'année 2006 a enregistré des hautes températures allant jusqu'à 40°C, ce qui peut causer des dégâts sur les arbres ligneux.

- **Tendances des températures chaudes**

La figure 3.6 présente les courbes de la variation de la température maximale pour chaque mois de la période estivale pour les années 2005, 2006 et 2007, ces variations présentent des tendances vers un réchauffement estival (Fig.3.6), ces conditions caniculaires agissent sur la croissance et le développement de la végétation.

**L'année 2008**

La figure 3.7 présente les courbes de la variation des températures maximales et l'analyse détaillée du réchauffement quand les températures passent au dessus de 33,83°C durant l'année 2008.

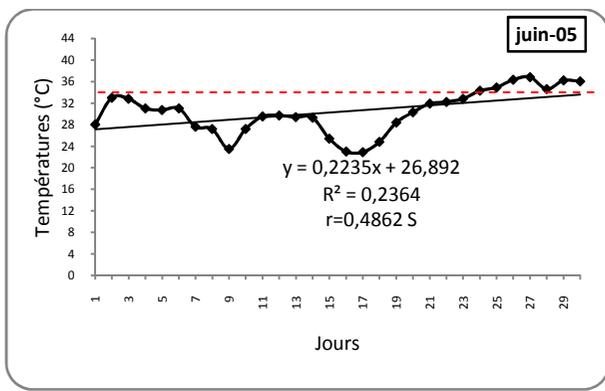
Le mois de juin fait apparaître un stress où les températures oscillent 34,6° et 35,7°C et ont duré 15 heures (2 pics) (Fig.3.7-a).

Pendant le mois de juillet, 3 stress sont enregistrés avec une durée totale de 90 heures, dont le premier (Fig.3.7-b) est noté dans la première décade de juillet où les températures chaudes sont comprises entre [34,80°-38,20°C] avec une durée de 66 heures (8 pics), le deuxième enregistré à mi juillet (Fig.3.7-c) d'une durée de 15 heures appartenant à un intervalle de [34,20°-36,70°C], et le troisième stress à durée 9heures enregistré à la fin de juillet.

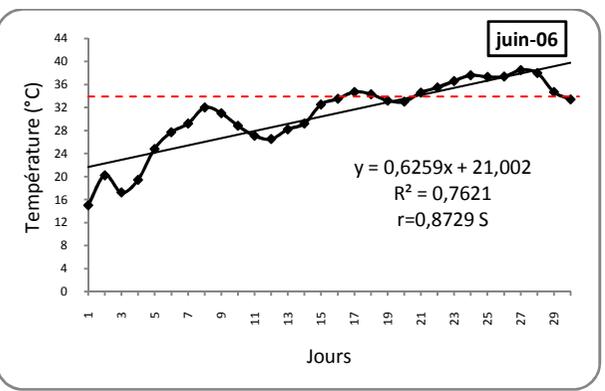
Pour ce qui est du mois d'août, deux stress enregistrés (Fig.3.7-e), le premier d'une durée de 27 heures, alors que le deuxième a duré 24 heures (Fig.3.7-f).

S  
T  
R  
E  
S

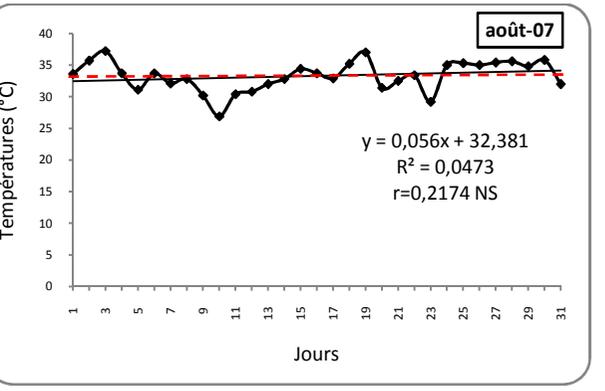
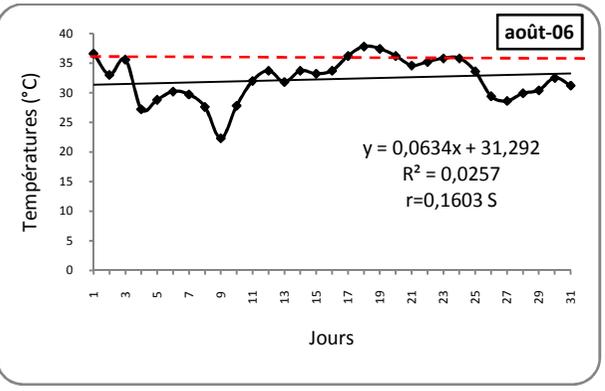
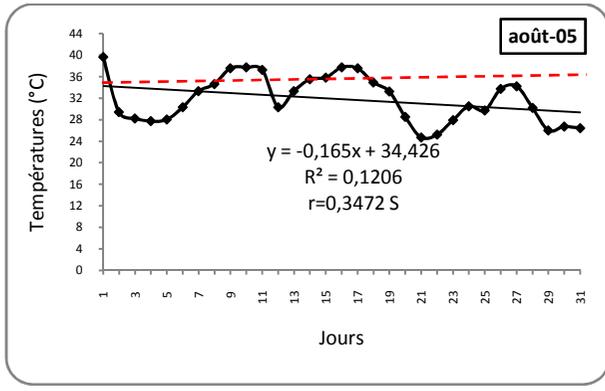
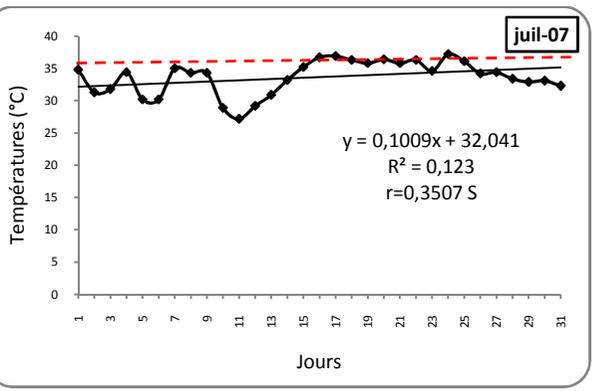
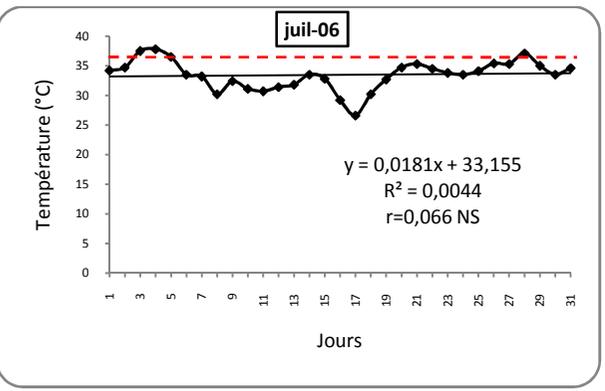
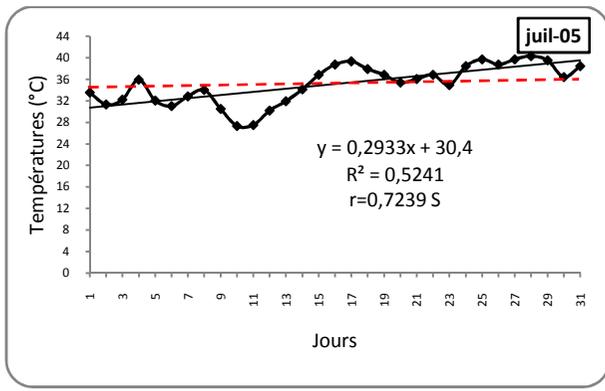
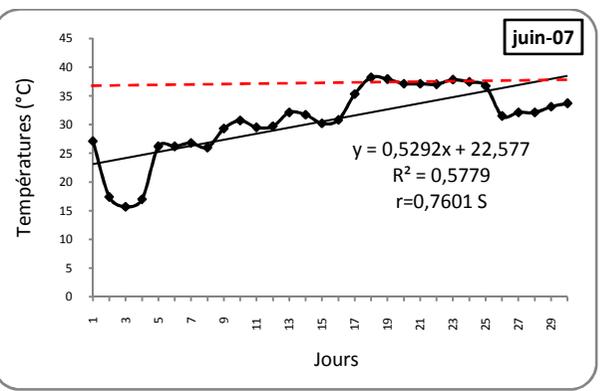
Variation des températures maximales moyennes de la saison estivale pour la période 2005



Variation des températures maximales moyennes de la saison estivale pour la période 2006



Variation des températures maximales moyennes de la saison estivale pour la période 2007



-----:M=33,84°C

**Fig.3.6.** Courbes de la variation des températures maximales pour chaque mois de la saison estivale pour les années 2005-2006-2007.

Variation des températures maximales moyennes de la saison estivale pour la période 2008

Cinétique des températures chaudes

S  
T  
R  
E  
S  
S

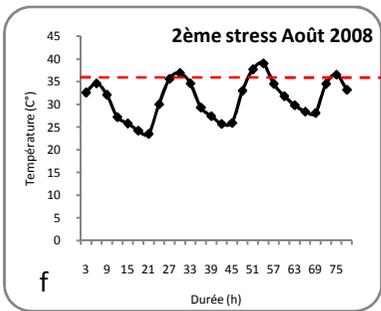
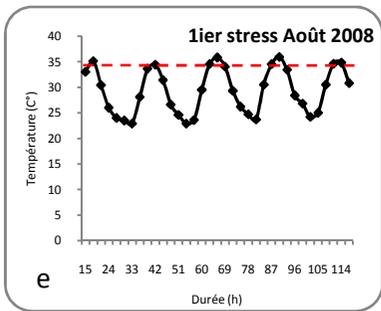
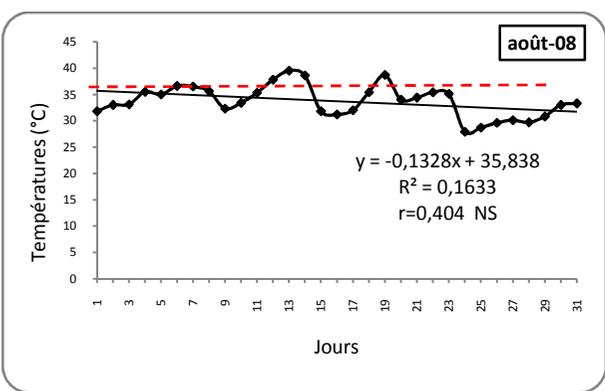
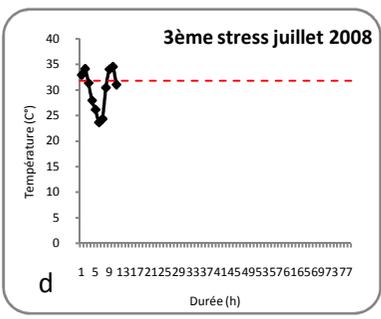
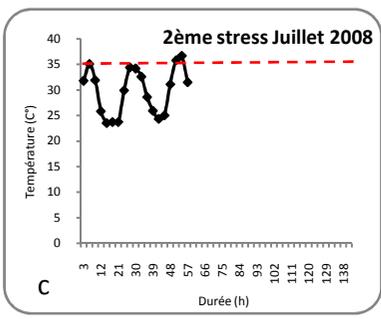
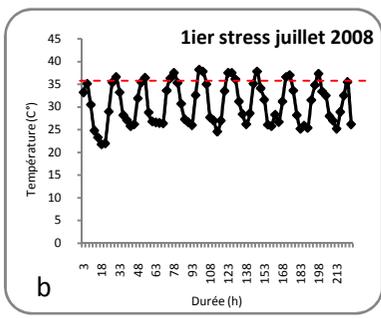
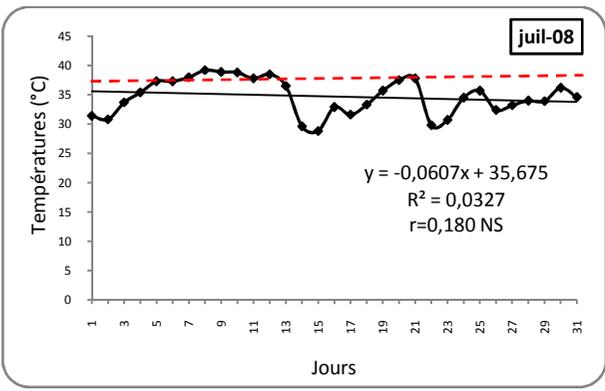
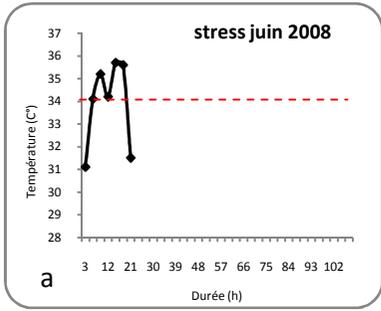
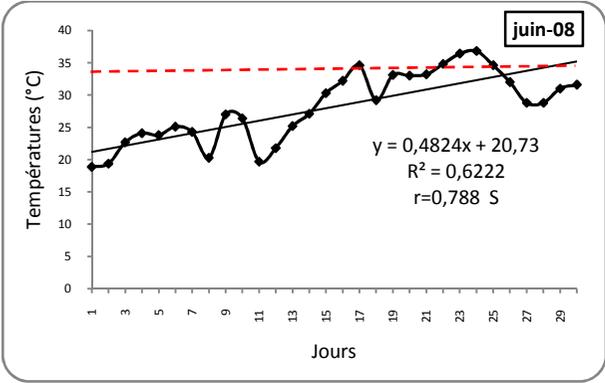


Fig. 3.7. Courbes de la variation des températures minimales pour chaque mois de la saison estivale pour l'année 2008 et cinétique des T° chaudes.

### III.3. COMPARAISON DES MOYENNES RELATIVES AUX TEMPERATURES

Le test d'analyse de la variance à un critère de classification ( $AV_1$ ) à été utilisé pour comparer les moyennes des températures minimales et maximales mensuelles, saisonnières et annuelles de l'ensemble des pour les 27 années (1981-2007). Nous avons aussi utilisé ce test pour comparer les moyennes des températures des répartitions mensuelles et annuelles pour la période 2005-2008.

Pour comparer les moyennes des températures, nous avons utilisé le test d'analyse de la variance à un critère de classification modèle fixe ( $AV_1$ ) et nous avons considéré les quatre possibilités suivantes en fonction des valeurs de la probabilité  $p$  :

- ✓ Si  $p > \alpha = 0,05$  ; il n'existe pas de différences significatives entre les moyennes (N.S).
- ✓ Si  $p \leq \alpha = 0,05$  ; il existe des différences significatives entre les moyennes (\*).
- ✓ Si  $p \leq \alpha = 0,01$  ; il existe des différences hautement significatives entre les moyennes (\*\*).
- ✓ Si  $p \leq \alpha = 0,001$  ; il existe des différences très hautement significatives entre les moyennes (\*\*\*)).

Les résultats du test d'analyse de la variance à un critère de classification modèle fixe ( $AV_1$ ) relatifs aux températures ont été regroupés dans les tableaux 3.5, 3.6, 3.7, 3.8.

**Tab.3.5.** Comparaison des moyennes mensuelles des ( $T_n$  et  $T_x$ ) pour chaque saison des 04 ans à l'aide de l'analyse de la variance à un caractère de classification.

	Températures minimales ( $T_n$ )				Températures maximales ( $T_x$ )			
	moyenne	Ecart-type	F obs	P	moyenne	Ecart-type	Fobs	P
Décembre 04	1,955	2,330	1,65	0,197 NS	9,252	3,941	4,19	0,018 *
Janvier 05	2,987	2,477			8,203	4,973		
Février 05	2,181	2,237			6,097	4,130		
Juin 05	16,490	4,759	103,95	0,000 ***	29,377	6,750	40,02	0,000 ***
Juillet 05	20,719	3,810			20,719	3,810		
Août 05	31,787	4,319			31,787	4,319		
Décembre 05	1,868	2,478	2,81	0,066 NS	8,623	2,603	1,00	0,371 NS
Janvier 06	0,700	2,152			7,590	2,192		
Février 06	0,842	1,633			8,413	4,003		
Juin 06	17,242	7,370	3,36	0,039 *	29,713	8,302	3,86	0,025 *
Juillet 06	20,316	2,160			33,445	2,490		
Août 06	18,394	2,800			32,306	3,596		
Décembre 06	3,584	2,019	0,21	0,814 NS	10,555	2,649	4,96	0,009 **
Janvier 07	3,232	2,404			13,490	3,460		
Février 07	3,419	2,015			11,294	4,973		
Juin 07	16,845	5,975	6,14	0,003 **	29,787	8,177	5,34	0,006 **
Juillet 07	19,719	2,781			33,655	2,616		
Août 07	20,187	2,478			33,277	2,343		
Décembre 07	1,955	2,330	1,65	0,197 NS	9,823	3,403	4,18	0,018 *
Janvier 08	2,181	2,237			11,935	3,542		
Février 08	2,987	2,477			12,355	4,104		
Juin 08	14,868	4,627	25,23	0,000 ***	29,787	8,177	5,34	0,006 **
Juillet 08	20,748	3,032			33,655	2,616		
Août 08	20,171	2,850			33,277	2,343		

- NB :** N.S. : différences non significatives.  
 \* : différences significatives.  
 \*\* : différences hautement significatives.  
 \*\*\* : différences très hautement significatives.

L'analyse de la variance à un critère de classification montre, qu'il existe généralement des variations hautement significatives entre les moyennes journalières des températures minimales et maximales pour chaque saison des 04 ans.

**Tab.3.6.** Comparaison des températures moyennes mensuelles (Tn et Tx) du même mois pour la saison hivernale pour les 04 ans à l'aide de la variance à un caractère de classification.

	Températures minimales (Tn)				Températures maximales (Tx)			
	Moyenne	Ecart type	Fobs	P	Moyenne	Ecart type	Fobs	P
Décembre 04	2,855	3,389	<b>3,02</b>	<b>0,033</b> *	9,252	3,941	<b>2,05</b>	<b>0,110</b> <b>NS</b>
Décembre 05	1,868	2,478			8,623	2,603		
Décembre 06	3,584	2,019			10,555	2,649		
Décembre 07	1,955	2,330			9,823	3,403		
Janvier 05	-0,748	3,146	<b>14,79</b>	<b>0,000</b> ***	8,203	4,973	<b>18,81</b>	<b>0,000</b> ***
Janvier 06	0,700	2,152			7,590	2,192		
Janvier 07	3,232	2,404			13,490	3,460		
Janvier 08	2,181	2,237			11,935	3,542		
Février 05	-0,459	2,406	<b>24,33</b>	<b>0,000</b> ***	6,517	3,929	<b>21,17</b>	<b>0,000</b> ***
Février 06	0,900	1,674			8,993	3,430		
Février 07	3,655	1,860			12,072	4,093		
Février 08	3,193	2,427			13,207	2,528		

L'analyse de la variance à un critère de classification pour les températures journalières minimales (Tn) et maximales (Tx) pour chaque mois de la saison hivernale durant la période 2005-2008 montres en générale qu'il existe des différences très hautement significative entre les moyennes pour tous les mois sauf pour le mois de Décembre («S» pour Tn et «NS» pour Tx).

**Tab. 3.7.** Comparaison des températures moyennes mensuelles (Tn et Tx) du même mois pour Mars, Avril et Novembre pour les 04 ans à l'aide de la variance à un caractère de classification.

	Températures minimales (Tn)				Températures maximales (Tx)			
	Moyenne	Ecart type	Fobs	P	Moyenne	Ecart type	Fobs	P
Mars 05	5,587	4,984	<b>1,81</b>	<b>0,150</b> <b>NS</b>	15,239	5,987	<b>3,58</b>	<b>0,016</b> *
Mars 06	5,039	3,946			15,861	5,360		
Mars 07	3,352	3,823			11,287	6,687		
Mars 08	3,968	3,918			14,042	5,743		
Avril 05	7,593	4,491	<b>2,31</b>	<b>0,080</b> *	17,597	5,859	<b>5,44</b>	<b>0,002</b> **
Avril 06	9,807	3,750			20,910	4,138		
Avril 07	8,367	2,698			16,417	2,938		
Avril 08	7,553	4,012			19,250	4,965		
Novembre 05	5,730	3,993	<b>4,52</b>	<b>0,005</b> **	14,510	5,570	<b>6,42</b>	<b>0,000</b> ***
Novembre 06	7,067	2,268			16,527	2,713		
Novembre 07	4,687	2,664			13,703	3,209		
Novembre 08	4,867	1,767			12,387	2,732		

Pour les mois de la saison printanière, et d'après l'analyse de la variance à un critère de classification, des différences significatives ont été enregistrés en fonction des mois.

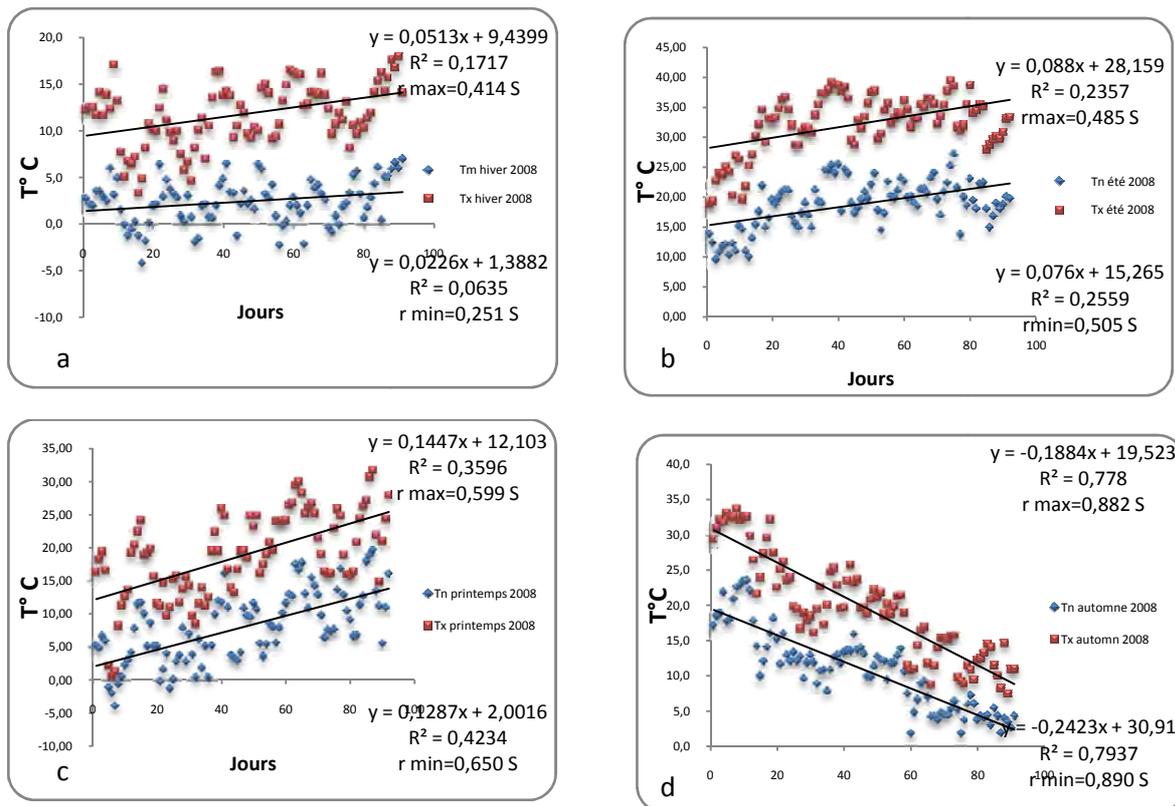
**Tab. 3.8.** Comparaison des températures moyennes mensuelles (Tn et Tx) du même mois pour la saison estivale pour les 04 ans à l'aide de la variance à un caractère de classification.

	Températures minimales (Tn)				Températures maximales (Tx)			
	Moyenne	Ecart type	Fobs	P	Moyenne	Ecart type	Fobs	P
Juin 05	17,040	3,707	0,79	<b>0,501</b> <b>NS</b>	30,357	4,047	1,45	0,232 <b>NS</b>
Juin 06	17,817	6,752			30,703	6,312		
Juin 07	17,407	5,179			30,780	6,129		
Juin 08	15,363	3,778			28,207	5,383		
Juillet 05	20,719	3,810	0,79	<b>0,501</b> <b>NS</b>	20,719	3,810	147,75	<b>0,000</b> ***
Juillet 06	20,316	2,160			33,445	2,490		
Juillet 07	19,719	2,781			33,655	2,616		
Juillet 08	20,748	3,032			34,703	3,055		

Aout 05	31,787	4,319	115,42	0,000 ***	31,787	4,319	2,09	0,105 NS
Aout 06	18,394	2,800			32,306	3,596		
Aout 07	20,187	2,478			33,277	2,343		
Aout 08	20,171	2,850			33,713	2,988		

Pour la saison estivale, on n'a pas enregistré des différences significatives entre les températures minimales et maximales du même mois des quatre années sauf pour le mois de juillet où la moyenne des températures maximales change d'une façon hautement significative d'une année à l'autre.

### III.4. TENDANCES THERMIQUES DES SAISONS DE L'ANNEE 2008



**Fig. 3.8.** Courbes de régression des températures maximales et minimales en fonction des saisons de l'année 2008.

(a) Saison hivernale, (b) Saison estivale, (c) Saison printanière, (d) Saison automnale

Les courbes de tendances des températures minimales et maximales de l'année 2008 suivent la même allure et présentent des corrélations comme suit :

**Pour la saison hivernale :** on a pour Tn ( $r=0,252$ ,  $p=0,016$ ) et pour Tx ( $r=0,414$   $p<0,001$ ), une corrélation positive significative pour Tn et très hautement significative pour Tx ce qui suppose que les températures minimales et maximales de l'hiver augmentent en fonction des mois (Fig. 3.8- a) (tendance vers un réchauffement de l'ordre de  $0,144^{\circ}\text{C}$  pour les températures maximales et  $0,128^{\circ}\text{C}$  pour les températures minimales).

**Pour la saison estivale :** on enregistre une corrélation positive très hautement significative pour Tn ( $r=0,506$   $p<0,001$ ) et Tx ( $r=0,485$   $p<0,001$ ) (Fig.3.8-b) (tendance vers un réchauffement de l'ordre de  $0,088^{\circ}\text{C}$  pour les Tx et  $0,076^{\circ}\text{C}$  pour Tn).

**Pour la saison printanière :** on enregistre une corrélation positive très hautement significative pour Tn ( $r= 0.651$   $p<0,001$ ) et Tx ( $r= 0.600$   $p<0,001$ ) (Fig.3.8-c) (Tendance vers un réchauffement de l'ordre de  $0,144^{\circ}\text{C}$  pour Tx et  $0,128^{\circ}\text{C}$  pour Tn).

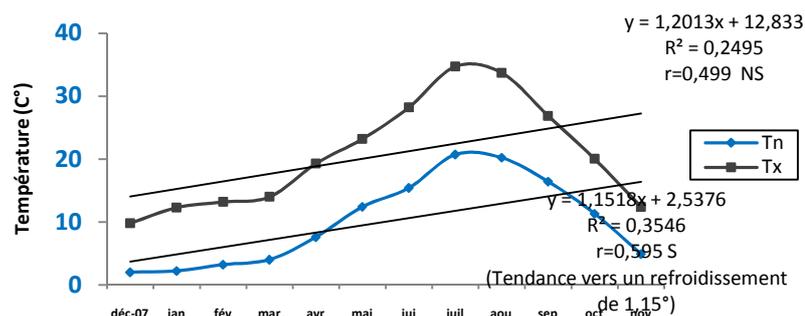
**Pour la saison automnale :** on a enregistré une corrélation négative très hautement significatives pour Tn ( $r= -0,882$   $p<0,001$ ) et Tx ( $r= -0,891$   $p<0,001$ ) ce qui suppose que la température diminue en fonction des mois (Fig.3.8-d) (Tendance vers un refroidissement de l'ordre de  $-0,188^{\circ}\text{C}$  pour Tx et  $-0.242^{\circ}\text{C}$  pour Tn).

D'une manière générale, et d'après les résultats, nous remarquons que pour les saisons estivale, hivernale et printanière, les courbes tendent vers un réchauffement plus marqué durant la saison printanière. Tandis que pour la saison automnale on observe une tendance vers un refroidissement.

**Tab.3.9.** L'amplitude thermique de l'année 2008.

	Déc. 2007	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Août.	Sep.	Oct.	Nov.	Moy.	Ecart-type
<i>m</i> (°C)	2	2,2	3,2	4	7,6	12,4	15,4	20,7	20,2	16,4	11,3	4,9	4,9	6,97
<i>M</i> (°C)	9,8	12,3	13,2	14	19,3	23,2	28,2	34,7	33,7	26,8	20	12,4	12,4	8,67
Moy (°C)	5,9	7,25	8,2	9	13,5	17,8	21,8	27,7	26,95	21,6	15,7	8,7	8,65	7,80
Amp. Ther (°C)	7,8	10,1	10	10	11,7	10,8	12,8	14	13,5	10,5	8,75	7,5	7,5	2,09

Selon le (Tab.3.9), on remarque que l'amplitude thermique s'accroît pendant la saison estivale (Juin, Juillet et Août), par contre, elle reste constante pour le reste des mois.



**Fig.3.9.** Températures minimale et maximale de l'année 2008.

La saison chaude de l'année 2008 est comprise entre le mois de Mai et Septembre où les températures moyennes mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle ( $12,4^{\circ}\text{C}$ ), alors que la saison froide s'étale du mois d'Octobre à Avril où les températures froides se situent autour de  $2^{\circ}\text{C}$  en moyenne (tendance vers un refroidissement de  $1,15^{\circ}$ ) (Fig.3.9). On peut penser donc à l'accroissement du risque de gelées tardives qui pourrait être un facteur limitant pour certaines espèces comme le chêne vert, et les dégâts qui peuvent être causés par le réchauffement.

#### IV. ANALYSE DES PARAMETRES DE CROISSANCE DE JEUNES PLANTS DE CHENE VERT (*QUERCUS ILEX L.*) AU COURS DE L'ANNEE EXPERIMENTALE DANS LA REGION DE SETIF.

L'une des caractéristiques qui pourrait être le fait d'une mauvaise adaptation du *chêne vert* (*Quercus ilex L.*), repose sur les fortes variations climatiques interannuelles caractéristiques du climat méditerranéen, c'est cet aspect qui sera analysé ici au travers l'étude des variations de la croissance. L'effet du cumul des températures extrêmes froides et chaudes induit une réduction significative de la production de biomasse totale concomitante à une réduction de la croissance des tiges et des racines. L'étude de l'influence des températures extrêmes, pendant quatre saisons, sur certains paramètres de croissance de *Quercus ilex L* pourrait apporter quelques éléments de réponse permettant son développement dans les zones semi-arides.

##### IV.1. Evolution de la hauteur aérienne et la longueur racinaire des jeunes plants de *chêne vert*.

Les résultats de mesure de la croissance des parties aérienne et souterraine effectuée durant les différentes saisons de l'année sont représentés par leurs paramètres statistiques dans le tableau 4.1.

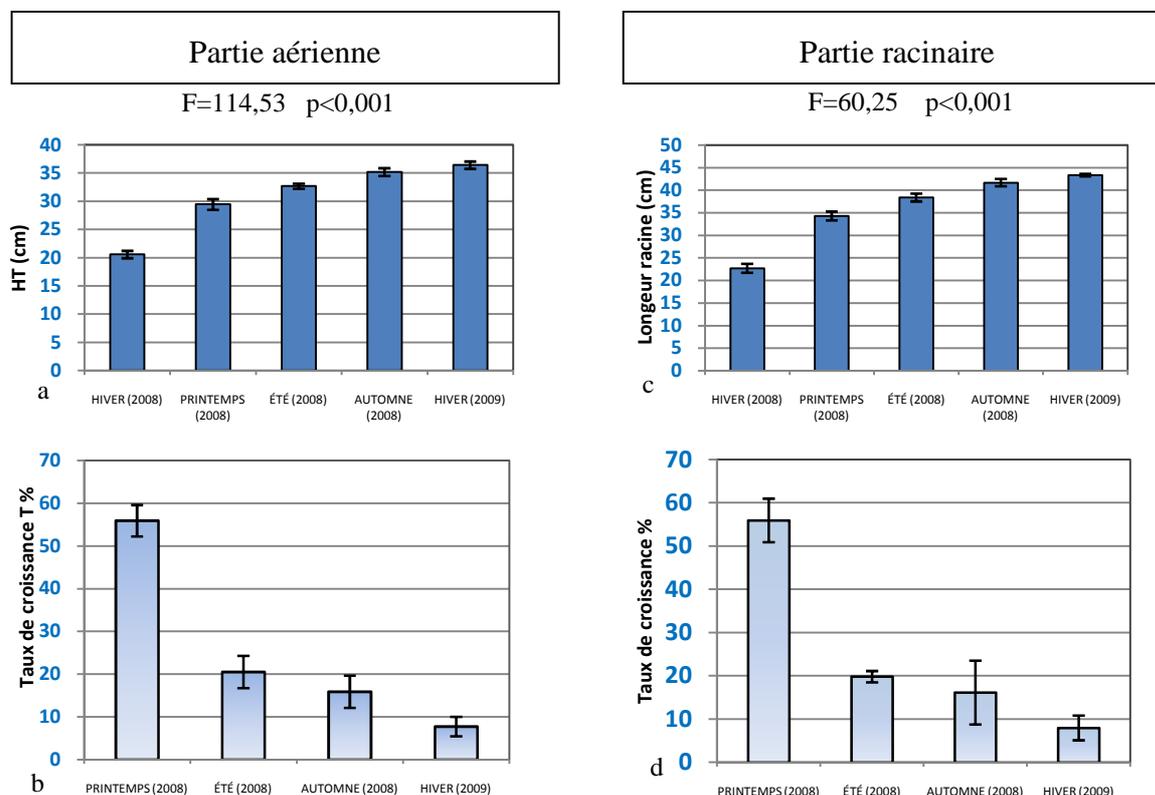
**Tab. 4.1.** Résultats descriptifs de la hauteur aérienne, la longueur racinaire et le rapport longueur racine et hauteur tige des jeunes plants durant l'année expérimentale.

	Saisons	N	Moyenne	Ecart-type	Maximum	Minimum
<b>HT</b> <b>(cm)</b>	HIVER (2008)	3	20,6	0,655	21,2	19,9
	Printemps(2008)	3	29,466	0,950	30,4	28,5
	Eté (2008)	3	32,7	0,458	33,1	32,2
	Automne (2008)	3	35,2	0,7	36	34,7
	Hiver (2009)	3	36,433	0,650	37,1	35,8
<b>LR</b> <b>(cm)</b>	HIVER (2008)	3	22,7	0,984	21,9	23,8
	Printemps(2008)	3	34,266	0,971	33,2	35,1
	Eté (2008)	3	38,366	0,862	37,6	39,3
	Automne (2008)	3	41,666	0,832	41	42,6
	Hiver (2009)	3	43,333	0,251	43,1	43,6
<b>LR/HT</b> <b>(cm)</b>	HIVER (2008)	3	1,102	0,061	1,149	1,033
	Printemps(2008)	3	1,163	0,043	1,210	1,125
	Eté (2008)	3	1,173	0,023	1,187	1,146
	Automne (2008)	3	1,184	0,041	1,220	1,138
	Hiver (2009)	3	1,189	0,025	1,217	1,167

L'analyse de la variance des mesures, relatives à l'évolution de la hauteur aérienne et la longueur racinaire des jeunes plants, indique des effets saisons (ANNEXE II). L'évolution de la hauteur de la végétation varie en fonction du temps. Elle passe de 20,6 cm, valeur moyenne mesuré en hiver 2008, et à 29,46 cm au printemps 2008, pour atteindre 36,43 cm en hiver 2009.

L'élongation de la tige est très rapide durant la période printanière, elle est estimée à  $(29,46 \pm 0,95)$  cm qui correspond au taux de croissance le plus élevé 55,89% (Fig. 4.1-a,b). Cette croissance

exprime une meilleure réponse aux conditions environnementales. L'élongation devient plus lente en période hivernale, elle est estimée de  $(36,43 \pm 0,65)$  cm et un taux de croissance de l'ordre de 7,72%. Le test de Newman et Keuls à 5%, fait ressortir trois groupes où le premier groupe (A) est destiné à la saison printanière qui présente le taux de croissance le plus élevé, le groupe (B) regroupe les deux saisons estivale et automnale avec un taux de croissance modéré, enfin la saison estivale qui représente le plus faible taux de croissance appartenant au groupe (C) (Tab.4.2).



**Fig. 4.1.** Moyenne  $\pm$  S de l'évolution de la hauteur aérienne et la longueur racinaire des jeunes plants de chêne vert en cm et taux de croissance en % en fonction des saisons. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p).

Au cours des saisons, l'évolution de la longueur racinaire des jeunes plants représente une croissance continue qui varie entre les différentes saisons, la figure (4.1-c) illustre la cinétique d'évolution de la croissance racinaire des jeunes plants de chêne vert.

La croissance racinaire a été affectée par la température hivernale et estivale d'une manière significative et proportionnelle aux différentes saisons, les jeunes plants présentent une forte croissance racinaire durant la saison printanière ( $34,26 \pm 0,97$ ) cm et un taux de croissance de 56% (Fig. 4.1-c,d), la saison hivernale présente le taux de croissance le plus faible 8% tandis que les deux saisons estivale et automnale accusent respectivement des taux de croissance plus ou moins moyens (19,85 et 16,17%) respectivement. Ces résultats sont confirmés par l'analyse de la variance à un critère de classification en fonction des saisons (ANNEXE II).

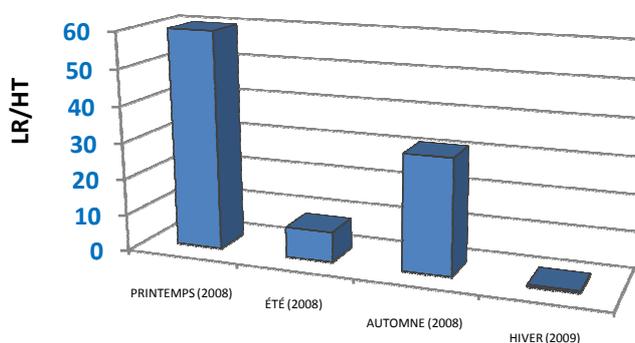
Le test de Newman et Keuls au seuil  $\alpha = 5\%$  fait ressortir 04 groupes homogènes où le printemps occupe le premier groupe (A), la saison automnale occupe le deuxième groupe avec la saison

estivale, l'hivernale, occupant le dernier groupe avec un taux de croissance le plus faible (Tab.4.2).

**Tab.4.2.** Groupes homogènes de la hauteur aérienne et la longueur racinaire donnée par le biais du test de Newman et Keuls.

Saisons	HT%		LR%	
	Moyenne	Groupes	Moyenne	Groupes
<b>Printemps 2008</b>	55,900	A	55,966	A
<b>Été 2008</b>	20,495	B	19,856	B
<b>Automne 2008</b>	15,878	B	16,175	BC
<b>Hiver 2009</b>	7,727	C	8,004	C

#### IV.2. Le rapport longueur racinaire sur hauteur aérienne



**Fig.4.2.** variation du rapport longueur des racines / hauteur des tiges des jeunes plants de chêne vert en conditions naturelles.

Durant les différentes saisons, on a enregistré une augmentation du rapport longueur de la partie racinaire et la partie aérienne de l'ordre de  $(1,16 \pm 0,004)$  ;  $(1,17 \pm 0,02)$  ;  $(1,18 \pm 0,04)$  et  $(1,19 \pm 0,02)$  respectivement pour la saison printanière, estivale, automnale et hivernale. Le développement de la racine pivotante est plus important que la partie aérienne qui est exposé aux différents changements climatiques notamment la température.

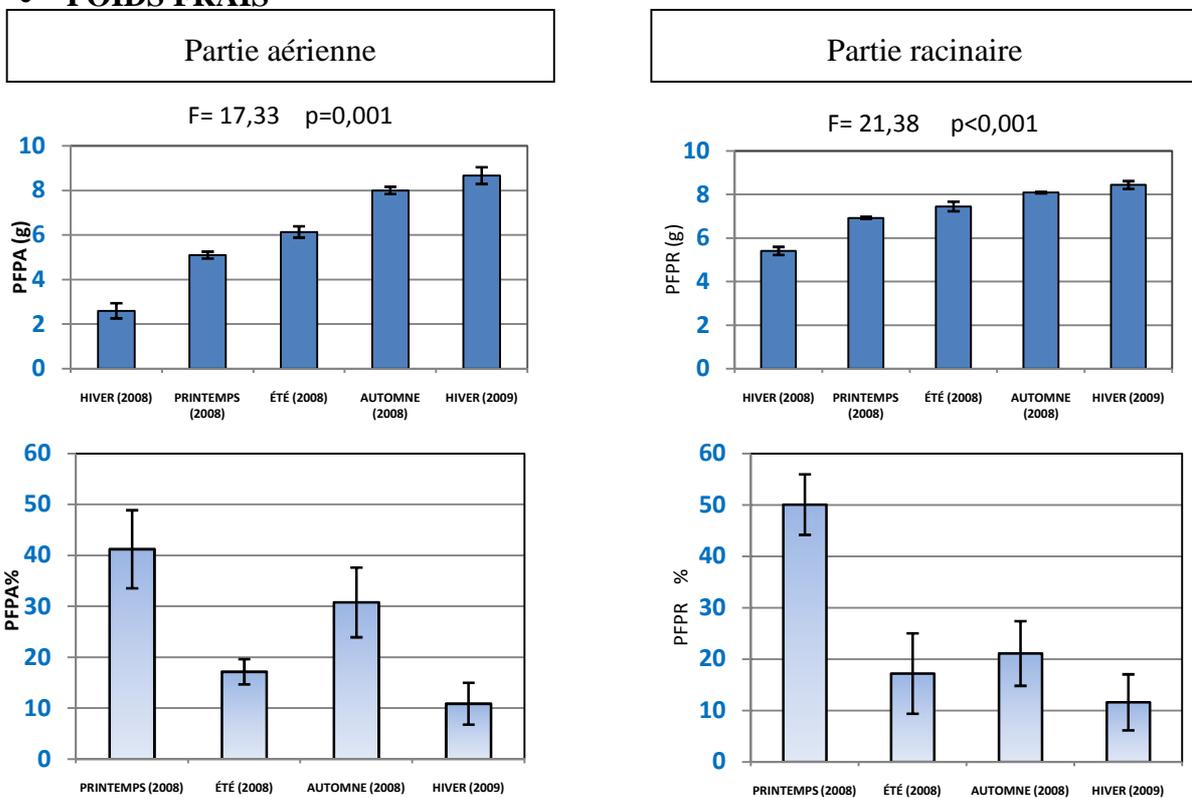
#### IV.3 Poids frais et poids sec de la partie aérienne et souterraine.

Les résultats des paramètres statistiques relatifs au poids frais et sec de la partie aérienne et racinaire sont représentés dans le tableau 4.3.

**Tab.4.3.** Paramètres statistiques du poids frais et sec de la partie aérienne et racinaire.

	Saisons	N	Moyenne	Ecart-type	Maximum	Minimum
<b>PFA</b> <b>(g)</b>	Hiver (2008)	3	2,597	0,342	2,971	2,299
	Printemps (2008)	3	5,096	0,153	5,215	4,923
	Été (2008)	3	6,131	0,253	6,360	5,859
	Automne (2008)	3	7,995	0,159	8,178	7,889
	Hiver (2009)	3	8,662	0,377	8,966	8,240
<b>PSA</b> <b>(g)</b>	Hiver (2008)	3	1,013	0,097	1,120	0,930
	Printemps (2008)	3	2,167	0,195	2,360	1,971
	Été (2008)	3	2,685	0,096	2,795	2,623
	Automne (2008)	3	3,466	0,077	3,536	3,383
	Hiver (2009)	3	3,810	0,050	3,854	3,756
<b>PFR</b> <b>(g)</b>	Hiver (2008)	3	5,410	0,187	5,580	5,210
	Printemps (2008)	3	6,927	0,050	6,974	6,874
	Été (2008)	3	7,449	0,218	7,633	7,208
	Automne (2008)	3	8,088	0,035	8,128	8,062
	Hiver (2009)	3	8,439	0,177	8,573	8,239
<b>PSR</b> <b>(g)</b>	Hiver (2008)	3	2,996	0,407	3,326	2,542
	Printemps (2008)	3	4,281	0,018	4,295	4,261
	Été (2008)	3	4,763	0,213	4,965	4,541
	Automne (2008)	3	5,733	0,253	5,953	5,456
	Hiver (2009)	3	6,387	0,076	6,471	6,324
<b>PSPR/PSA</b>	Hiver (2008)	3	2,978	0,530	3,576	2,570
	Printemps (2008)	3	1,986	0,185	2,175	1,806
	Été (2008)	3	1,776	0,102	1,760	1,712
	Automne (2008)	3	1,655	0,097	1,760	1,568
	Hiver (2009)	3	1,677	0,040	1,655	1,652

• **POIDS FRAIS**



**Fig.4.3.** Moyenne ± S de la variation du poids frais de la partie aérienne et souterraine des jeunes plants de chêne vert et taux d'évolution de la biomasse en % en fonction des saisons. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p).

D'après la figure 4.3, le poids frais de la partie aérienne et souterraine des jeunes plants possède une augmentation remarquable au cours des saisons.

La biomasse aérienne des jeunes plants de chêne vert durant la période printanière possède une augmentation maximale estimée à  $(41,21 \pm 7,65)$  soit un taux de croissance plus élevé (56%) par rapport à la croissance totale estimée à la fin d'expérimentation qui correspond à la période hivernale  $(10,86 \pm 4,09)$ , ces valeurs représentent la moyenne de 03 plants. Alors que la période estivale et automnale présente des biomasses respectivement de l'ordre de 17,14 % et 30,76% (Fig.4.3).

Concernant la partie souterraine, l'évolution est toujours remarquable en fonction des saisons, maximale durant la période printanière de l'ordre de 50,06% et minimale en période hivernale (11,61%).

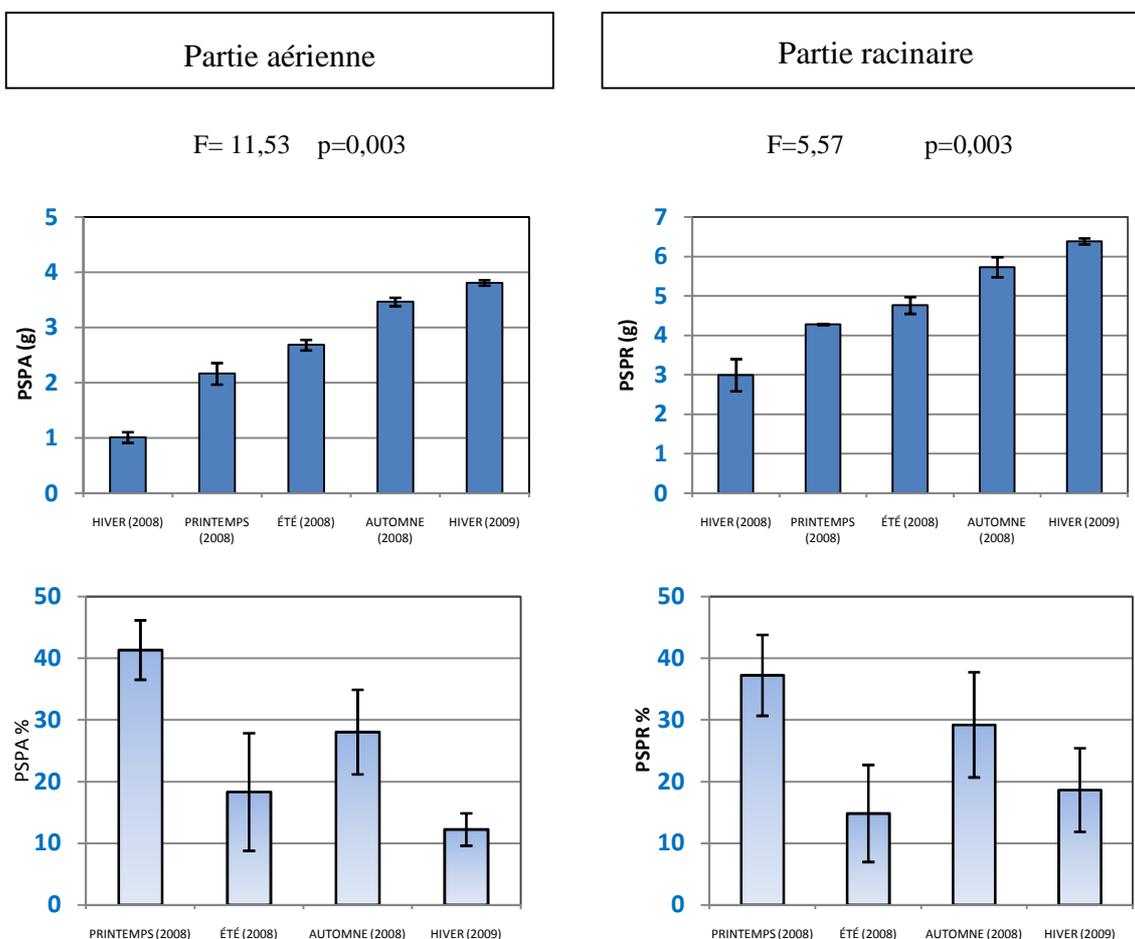
En effet, l'analyse de la variance à un critère signale une différence très hautement significative en fonction des saisons ( $p < 0.001$ ) (ANNEXE II). Le test de Newman et Keuls à 5%, fait ressortir 2 groupes différents, où on note que le taux de biomasse le plus élevé est observé pour la saison printanière affectée au groupe (A), les saisons automnale et estivale et hivernale avec un taux de biomasse, appartiennent aux groupes (B).

**Tab.4.4.** Groupes homogènes du poids frais de la partie aérienne et racinaire donné par le biais du test de Newman et Keuls.

Saisons	Poids frais partie aérienne		Poids frais partie racinaire	
	Moyenne	Groupes	Moyenne	Groupes
<b>Printemps 08</b>	41,219	A	50,066	A
<b>Automne 08</b>	30,765	A	21,117	B
<b>Eté 08</b>	17,150	B	17,203	B
<b>Hiver 09</b>	10,866	B	11,615	B

#### IV.4. Matière sèche accumulée de la partie aérienne et souterraine

L'analyse de la variance, des quantités de matière sèche accumulées lors des saisons printanière, estivale, automnale et hivernale, indique un effet saison. L'analyse de la matière sèche totale accumulée de la partie aérienne et souterraine au cours des 04 saisons montre un effet hautement significatif pour la partie aérienne et pour la partie souterraine (ANNEXE II). La matière sèche produite varie donc en fonction des saisons.



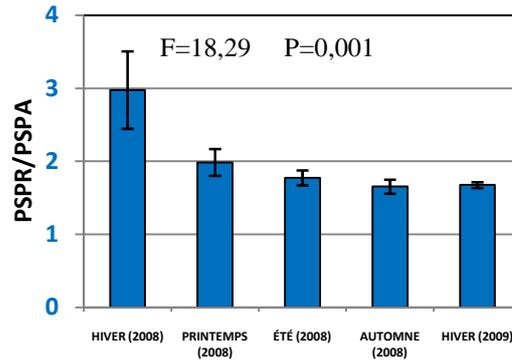
**Fig.4.4.** Moyenne  $\pm$  S de la variation de la matière sèche accumulé de la partie aérienne et souterraine des jeunes plants de chêne vert et taux d'évolution de la biomasse en % en fonction des saisons. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

Par saison, le taux de biomasse en matière sèche de la partie aérienne varie de 28,05% en automne, a 18,33% en été et 12,26% pour la saison hivernale, alors qu'enregistre la plus grande biomasse avec une moyenne de 41,34 % en saison printanière qui correspond a la moyenne de rendement en matière fraîche pour la saison de 41,21% (Tab.4.3). La différence est hautement significative entre les moyennes de production de matière sèche automnale et estivale (ANNEXE II). La production printanière est significativement la plus importante.

**Tab.4.5.** Groupes homogènes du poids secs de la partie aérienne et racinaire donnés par le biais du test de Newman et Keuls.

Saisons	Poids sec partie aérienne %		Poids sec partie racinaire %	
	Moyenne	Groupes	Moyenne	Groupes
<b>Printemps 08</b>	41,348	A	37,256	A
<b>Automne 08</b>	28,054	B	29,225	AB
<b>Été 08</b>	18,333	BC	18,663	B
<b>Hiver 09</b>	12,264	C	14,856	B

**IV.5. Le rapport matière sèche partie racinaire et matière sèche partie aérienne.**



**Fig.4.5.** Moyenne  $\pm$  S de la variation du rapport de la matière sèche racinaire et la matière sèche aérienne accumulé des jeunes plants de chêne vert en fonction des saisons. Les résultats de l’ANOVA (valeur de F et de p).

L’analyse de la variance à un critère de classification montre qu’il existe des différences hautement significatives entre le rapport de biomasse sèche de la partie aérienne et souterrain en fonction des saisons ( $p=0,001$ ). Le rapport de biomasse sèche des jeunes plants de chêne vert, possèdent le taux d’évolution le plus élevé durant la saison printanière (76,38%). Cependant, les taux les plus faibles sont signalés durant la saison estivale, automnale et hivernale avec des valeurs respectivement de l’ordre de 15,583% et 12,726% et 4,695.

**Tab.4.6.** Groupes homogènes du rapport matière sèche partie racinaire et matière sèche partie aérienne.

MSPR/MSPA		
Saison	Moyenne	Groupes
<b>Printemps 08</b>	76,386	A
<b>Été 08</b>	15,583	B
<b>Automne 08</b>	12,726	B
<b>Hiver 09</b>	4,695	B

**2.6. Taux de mortalité.**

Sur 50 plants cultivés en conditions naturelles, on a observé 22% du taux de mortalité durant la saison hivernale, et 9% pour la saison estivale.

## DISCUSSION

L'un des caractères essentiels du climat méditerranéen auquel est soumise la station dans laquelle nos observations ont été faites est bien évidemment sa sécheresse estivale suite aux températures élevées qui dépassent la température moyenne annuelle (Tab. 2.3 chapitre II). Durant cette période estivale, l'eau et la température sont les deux principaux facteurs limitant la croissance de la végétation. Dans la nature, la croissance du chêne se réalise par des « flush » répartis en trois pousses entre le mois d'Avril et Novembre. Au-delà s'installe une dormance automno-hivernale (Alatou, 1990).

On a noté des variations des paramètres liés au phénomène de croissance chez les jeunes plants de chêne vert, on a enregistré le dégagement de quatre périodes de croissance ; Une période hivernale à croissance très faible (la dormance automno-hivernale) due aux basses températures au niveau du sol. Une deuxième période printanière caractérisée par une croissance maximale des jeunes plants à cause des conditions du milieu (température très favorable et disponibilité de l'eau), une troisième période estivale caractérisée par une croissance très faible due à l'insuffisance de la disponibilité de l'eau qui limite la croissance des racines. Et une période automnale, où la croissance est relativement importante à cause de la disponibilité de l'eau.

Bien que *Quercus ilex* puisse continuer les processus de transpiration et de photosynthèse dans un état de chaleur, il n'en demeure pas moins que lorsque la plante a de la difficulté à absorber de l'eau presque épuisée du sol, la photosynthèse peut s'arrêter à cause de la fermeture des stomates. Une étude réalisée par (Zhang, 1987) a montré qu'il y a une corrélation positive très significative entre la croissance de chêne vert et les moyennes de précipitations et températures de la même semaine. Dans ces conditions, la croissance printanière est la plus forte grâce aux conditions favorables de températures et plus ou moins fortes précipitations, par contre un ralentissement très remarquable a été enregistré durant la période hivernale. L'analyse de la matrice de corrélation confirme nos résultats, car une corrélation positive très hautement significative a été tirée entre la hauteur de la partie aérienne et la longueur de la partie souterraine ( $r=0,965$  et  $p>0,001$ ), de même que pour le poids frais de la partie aérienne et souterraine ( $r=0,807$  et  $p=0,001$ ) (Tab.4.7).

La liaison négative avec les températures de la période automnale, la saison des températures ambiantes et la saison arrosée après le printemps dans la région de Sétif, peuvent s'interpréter ainsi : une saison chaude l'année t-1 permettrait à la croissance aérienne et souterraine de se poursuivre entraînant ainsi l'utilisation de réserves qui ne seraient alors disponibles l'année t, d'où l'effet dépressif sur la croissance dans cette saison.

Une température élevée en été favorise l'évapotranspiration, ce qui entraîne un épuisement plus rapide de l'eau. Une étude indépendante a montré aussi qu'il y a une corrélation négative très significative entre la croissance du chêne vert et celle de la température maximale de la même

saison.

Quand la température diminue, le nombre de racines adventives et leur longueur diminuent tandis que leur diamètre augmente. Les racines sont chargées de l'absorption d'eau et de la nutrition azotée. La croissance des racines et la croissance des parties aériennes dépendent l'une de l'autre par le biais des régulations source-puits: les racines reçoivent et régulent la synthèse des composés carbonés provenant des feuilles et les feuilles reçoivent et régulent la synthèse des composés azotés provenant des racines.

Le déficit de biomasse enregistré chez les plants de chêne vert n'a pas affecté de façon similaire les deux parties de la plante. En effet, la croissance des racines des plants a été moins affectée par les températures que celle des parties aériennes au cours des différentes saisons.

L'allocation de biomasse vers les racines s'est traduite aussi par des valeurs du rapport PR/PA toujours supérieures chez les plantes dans des conditions sévères (Fig.4.2) comme cela a été observé chez diverses espèces végétales comme *Quercus robur* L et *Fagus sylvatica* (Van, 1997). Le développement de la partie racinaire aux dépens de la partie aérienne est considéré par plusieurs auteurs comme un critère de résistance à la sécheresse. Il permettrait une meilleure utilisation de l'eau disponible qui devient plus accessible. Ainsi, de nombreux travaux ont montré qu'un préconditionnement à la sécheresse, appliqué au niveau de la pépinière, favorisait la réussite des reboisements en conditions hydriques sévères suite au développement préalable du système racinaire des plants à transplanter.

De même la variation de la température affecte la distribution de la biomasse chez les plantes, liée à la complémentarité des fonctions de croissance des parties racinaires. Souvent la réponse d'une plante soumise à la chaleur se traduit par une augmentation du rapport en matière sèche entre la partie souterraine et la partie aérienne.

Des résultats analogues ont été rapportés chez certaines espèces forestières telles que *Pinus radiata*, *Cedrus atlantica* et *Pinus nigra*, *Pinus ponderosa* (Mc Millin et al, 1995), *Quercus robur* et *Fagus sylvatica* et le cyprès jaune pour la production de biomasse totale (Arnott JT et al, 1993).

Tandis que les poids de matière sèche aérienne, racinaire et la surface foliaire diminuent quand la température diminue, les rapports poids de matière sèche racinaire sur poids de matière sèche aérienne (PSR/PSA) et surface racinaire sur surface foliaire (SR/SA) augmentent (Girardin, 1998). L'augmentation du rapport PSR/PSA serait due à une répartition des assimilats carbonés qui profiterait plus aux racines qu'aux parties aériennes (Miedema, 1982). Une surface foliaire et une interception des rayonnements incidents plus faibles pourraient être à l'origine de la diminution de la partition des assimilats vers les feuilles. Cependant, pour observer l'augmentation du rapport PSR/PSA, il semblerait que le stress doit durer assez longtemps (Lee et al, 2002).

Les basses températures entraînent un ralentissement du transport des assimilats. L'eau joue un rôle

fondamental dans le transport des solutés minéraux et des assimilats photosynthétiques via le phloème et le xylème. Or, les températures basses entraînent: une augmentation de la viscosité de la sève, une diminution de la perméabilité des racines et une diminution du flux de l'eau à cause d'une baisse de la transpiration (due elle-même à une diminution du nombre de stomates ouverts) (Girardin, 1998; Miedema, 1982).

La chute des rapports PR/PA, observée chez les plants après la première saison hivernale, peut s'expliquer par le fait que le système racinaire des plants stressés, ayant bénéficié de l'allocation de biomasse durant cette première période, est devenu capable de favoriser une production de biomasse aérienne plus soutenue qu'au préalable. Ces résultats concordent avec ceux rapportés par Monroy-Ata *et al.* et Mc Millin et Wagner, 1995 qui ont suggéré que le manque d'eau modulerait la biomasse racinaire afin de maintenir un taux maximal de croissance aérienne. Cette réduction pourrait aussi résulter, en partie, de l'effet des restrictions imposées au système racinaire par le volume limité des pots. En effet, un enroulement des racines touchant les bords et particulièrement le fond des pots a été observé lors de la détermination des biomasses des différents plants.

Le bilan entre la photosynthèse (dont l'optimum thermique compris entre 10°C et 35°C pour les plantes des régions tempérées) et la respiration (qui ne cesse de croître au-delà de 35°C pour s'arrêter entre 55°C et 60°C), doit être normalement positif. Dès que la température atteint des valeurs inhibant la photosynthèse, la plante consomme plus de glucides qu'elle ne produit, avec pour résultat un arrêt de croissance.

Une étude a montré que, les chênes méditerranéens et plus précisément le chêne vert ont paru relativement affectés par l'épisode caniculaire avec des dommages plus marqués (allant localement jusqu'à des mortalités) (Belrose, 2003). Ce qui confirme nos résultats qui ont attribué un taux de mortalité de l'ordre de 22 % pendant la période hivernale et 9% pendant la période estivale.

**Tab. 4.7.** Matrice de corrélation des paramètres morphologiques

Variables	HT%	LR%	LR/HT	PFT%	PFR%	PSR/PST
HT%	1					
LR%	0,965 *** < 0,0001	1				
LR/HT	0,382 0,220	0,596 * 0,041	1			
PFT%	0,742 ** 0,006	0,791 ** 0,002	0,683 * 0,014	1		
PFR%	0,897 *** < 0,0001	0,935 *** < 0,0001	0,613 * 0,034	0,807 ** 0,002	1	
PSR/PST	0,800 ** 0,002	0,810 ** 0,001	0,570 0,053	0,822 ** 0,001	0,879 *** 0,000	1

Corrélations entre les variables morphologiques mesurées dans la nature. En rouge, les variables pour lesquelles une corrélation est non significative au seuil de 5%.

Enfin, nous avons constaté que le *chêne vert* est adapté aux conditions thermiques sévères du climat semi arides.

**V.1. EFFET DE LA CONTRAINTE THERMIQUE SUR LA VARIATION DES TENEURS EN PROLINE DANS LES DIFFERENTS ORGANES DES JEUNES PLANTS DU CHENE VERT.**

La proline, marqueur de la résistance aux contraintes abiotiques, est étudiée dans les différents organes des jeunes plants du chêne vert stressés à des températures différentes chaudes et froides. Les résultats obtenus du dosage effectué sur les feuilles de la première et deuxième vague de croissance, les tiges et les racines montrent une augmentation notable des teneurs en proline, qui varient selon l'organe et le degré thermique. Les résultats sont représentés par leurs éléments statistiques dans le tableau 5.1.

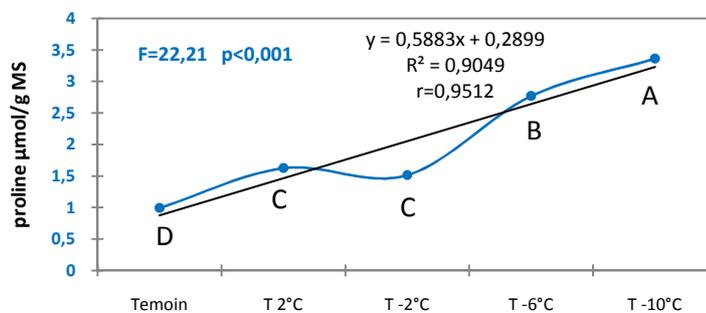
**Tab.5.1.** Paramètres statistiques des teneurs en proline dans les différents organes pour les différentes basses et hautes températures (µmol/g MS).

	Témoin	Basses Températures				Hautes Températures			
	25°C±2°C	2°C	-2°C	-6°C	-10°C	38°C	40°C	42°C	44°C
N	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Moyenne	0,994	1,627	1,516	2,771	3,364	1,139	1,927	2,621	3,047
Ecart-type	0,387	0,636	0,755	0,845	0,861	0,445	0,816	0,736	0,856
Max	1,722	2,842	3,158	4,641	4,698	1,974	3,064	3,569	4,733
Min	0,506	0,563	0,763	1,622	2,409	0,639	0,675	1,170	2,195

**V.1.1. Effet des variations des basses températures sur les teneurs en proline.**

**Tab.5.2.** Taux de variation thermique de la proline en fonction des basses températures dans les différents organes des semis du chêne vert.

	25°C±2°C	2°C	-2°C	-6°C	-10°C
V1	/	95%	66%	259%	333%
V2	/	63%	34%	173%	245%
T	/	70%	27%	175%	245%
R	/	46%	72%	152%	193%

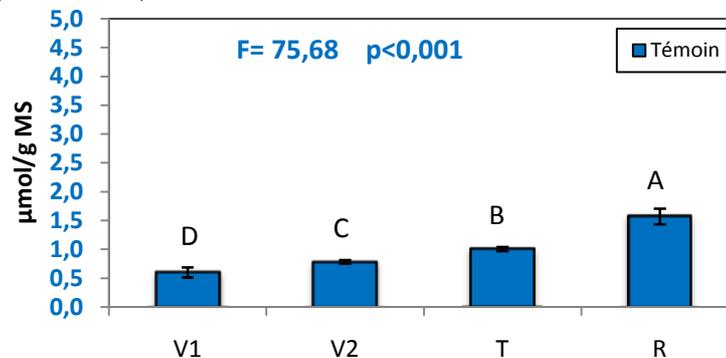


**Fig.5.1.** Taux d'accumulation de la proline selon les différents niveaux de stress thermique par le froid. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

L'exposition des jeunes plants de chêne vert aux basses températures a induit en générale une augmentation importante de la teneur en proline dans les organes (Fig.5.1, Tab.5.2). Au fur et à mesure que la température diminue, l'accumulation de la proline augmente. L'analyse de la variance à un critère de classification signale une différence très hautement significative en fonction des basses températures ( $p < 0.001$ ) (ANNEXE III-I). Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% relève l'existence de quatre groupes homogènes, le groupe (A) comprend la température  $-10^{\circ}\text{C}$  avec la moyenne la plus élevée  $3,365 \mu\text{mol/g MS}$  alors que groupe (D) correspond à la température du témoin avec la plus faible moyenne  $0,995 \mu\text{mol/g MS}$  (ANNEXE III-III).

L'effet des basses températures sur l'accumulation de la proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert montre que celle-ci est toujours plus importante au niveau des racines (Tab.5.2).

- **Témoin ( $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ )**

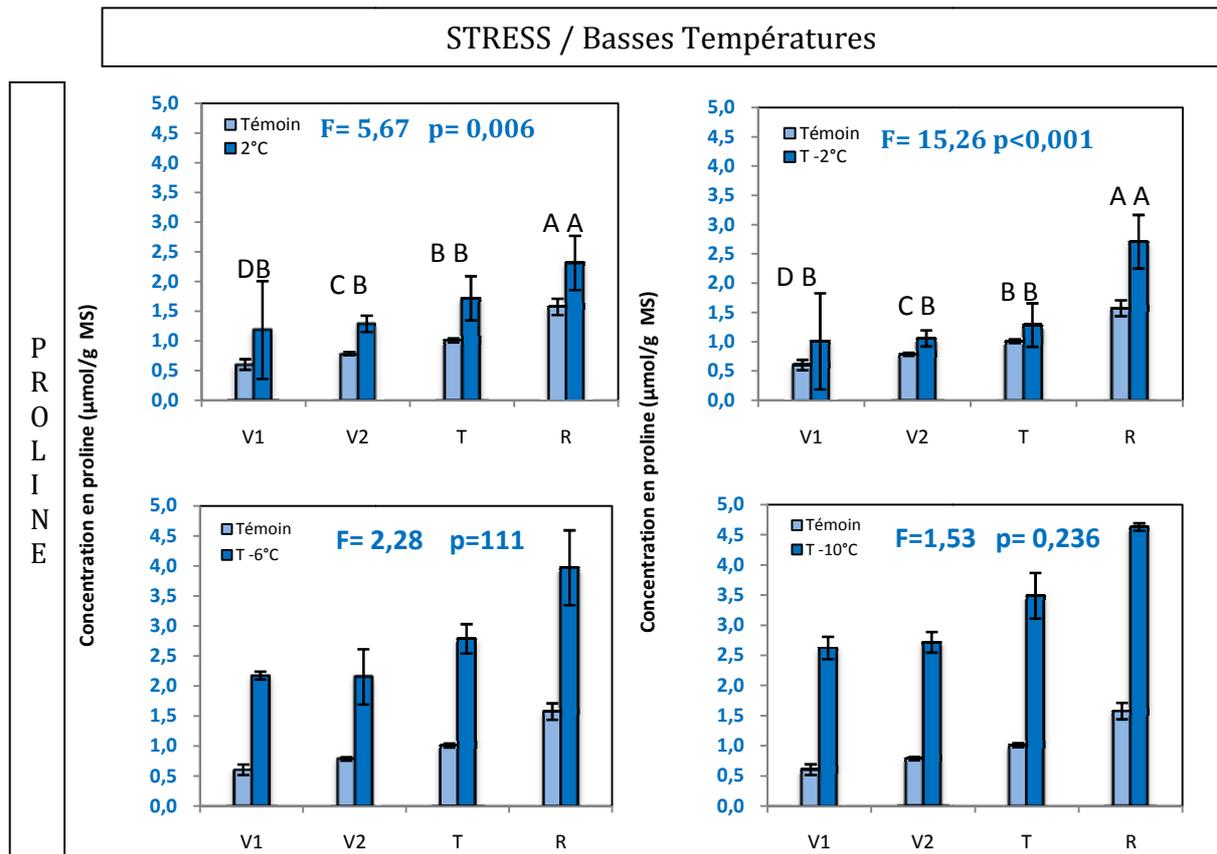


**Fig.5.2.** Taux d'accumulation de la proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert à la température du témoin  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

Les résultats obtenus du dosage de la proline effectué sur les différents organes des jeunes plants au niveau du témoin montre une nette variation entre les différents organes, ces variations sont confirmées par l'analyse de la variance à un critère de classification qui montre une différence très hautement significative ( $p < 0,001$ ) (ANNEXE III-I).

La comparaison de moyenne réalisée par le test de Newman et Keuls montre l'existence de 4 groupes ou le premier correspond aux racines avec une moyenne de  $1,575 \mu\text{mol/g MS}$ , le dernier groupe (D) correspond aux feuilles de la première vague de croissance avec la plus forte moyenne de  $0,605 \mu\text{mol/g MS}$  (Fig.5.2, ANNEXE III-III).

- **Les températures froides**



**Fig.5.3.** Taux d'accumulation de la proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert aux basses températures par rapport au témoin  $\pm$  S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

Les taux de la proline obtenus des jeunes plants de chêne vert aux basses températures comprise entre 2°C et -10°C sont résumés sur la figure 5.3. La température -10°C est la condition la plus froide et la plus stressante car une augmentation bien marquée est enregistrée dans les différents organes par rapport aux autres températures.

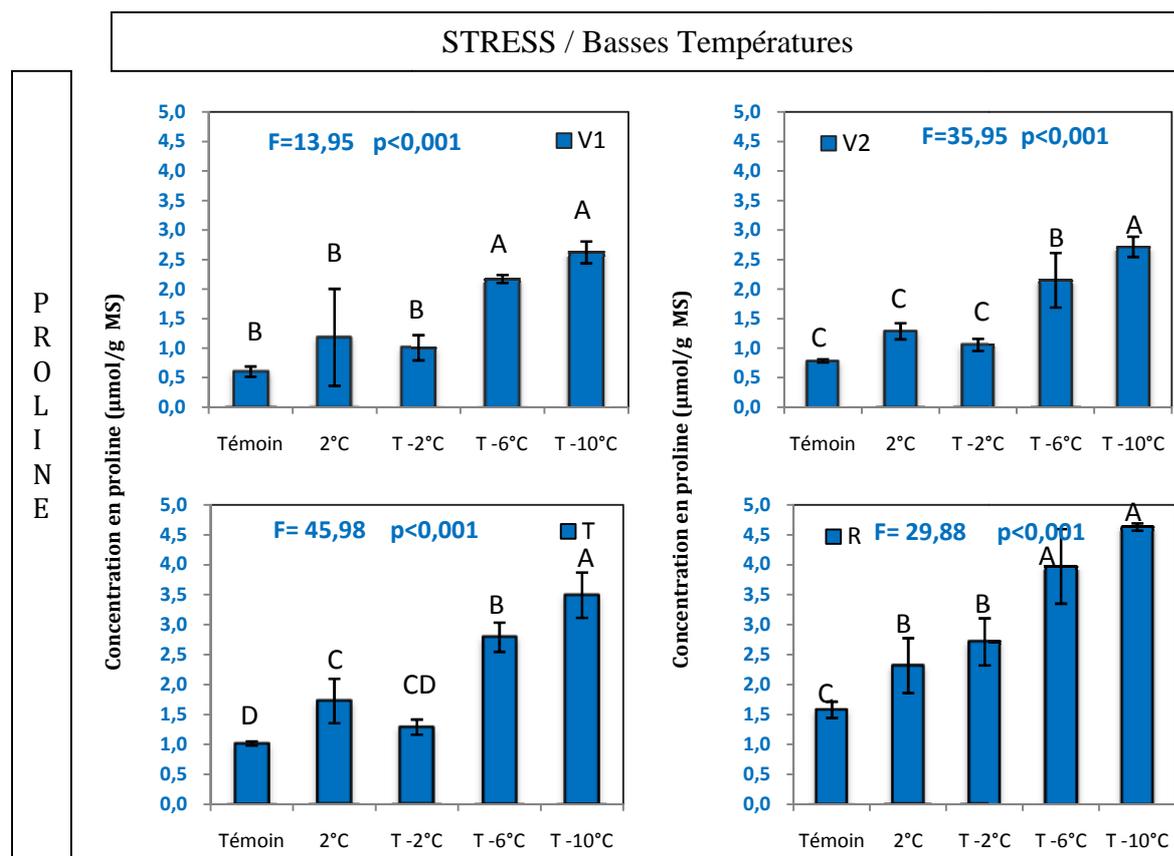
La valeur la plus élevée est enregistrée au niveau des racines à la température -10°C en accusant une augmentation de l'ordre de 193% par contre la plus faible moyenne est observée au niveau des feuilles de la première vague de croissance à la température -2°C avec une moyenne de 0.807  $\mu\text{mol/g MS}$  et un taux de grandeur de 95%.

L'analyse de la variance à un critère de classification montre qu'il existe des différences hautement significatives en fonction des organes pour les deux températures 2°C et -2°C (ANNEXE III-I) alors que les températures -6°C et -10°C représentent des différences non significatives (ANNEXE III-I).

Le test de Newman et Keuls fait ressortir 02 groupes homogènes pour les deux températures 2°C et -2°C ou le premier groupe (A) comprend les racines avec une moyenne de (2,143  $\mu\text{mol/g MS}$  pour la température -2°C et 1,945  $\mu\text{mol/g MS}$  pour la température 2°C), le dernier groupe (B) constitué par les autres organes (tige, première et deuxième vague de croissance) (ANNEXE III-III).

• Les organes

La variation, de l'accumulation de la proline dans chaque organe des jeunes plants de chêne vert montre une augmentation continue d'importance variable selon l'intensité du stress thermique appliqué (Fig.5.4), par rapport aux plants témoins, la proline a augmenté de manière très hautement significative entre les quatre basses températures du traitement dans chaque organe (ANNEXE III-D). A partir de la température -2°C, une forte augmentation significative de (259% à 333% est observée pour les feuilles de la première vague de croissance, 173% à 245% pour les feuilles de la deuxième vague de croissance, 175% à 245% pour les tiges et 152% à 193% pour les racines).

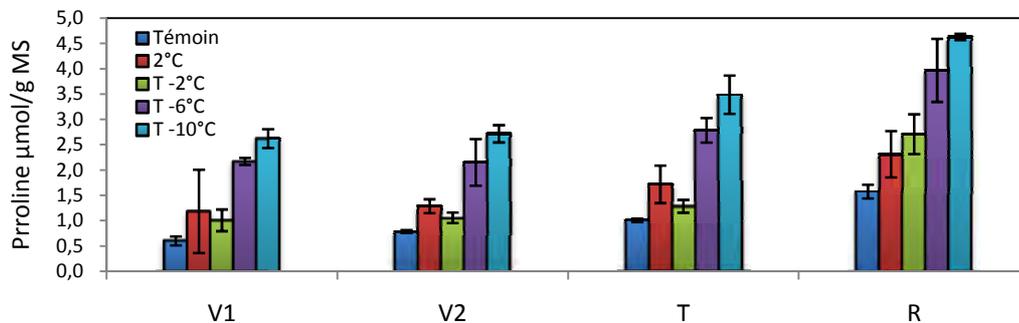


**Fig.5.4.** Taux d'accumulation de la proline dans les différents organes des semis de chêne vert soumises à des basses températures ± S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

La comparaison des moyennes relatives aux quatre traitements au seuil de 5% montre l'existence de 02 groupes homogènes où le premier groupe (A) comprend les températures -10 et -6°C avec les moyennes de 2,624 et 2,173 µmol/g MS respectivement pour les feuilles de la première vague de croissance, 03 groupes homogènes pour les feuilles de la deuxième vague de croissance où le premier groupe correspond toujours à la température -10°C avec la plus forte moyenne de 2,718 µmol/g MS, le groupe (B) avec la moyenne de 2,153 µmol/g MS, le troisième groupe rassemble les températures 2°C, -2°C et témoin, pour les tiges, 05 groupes homogènes ont été enregistrés et enfin pour les racines, 03 groupes homogènes dont les températures -10°C, et -6°C constituent le premier

groupe, les températures 2°C et -2°C appartiennent au deuxième groupe (B) et la température du témoin constitue le dernier groupe ( ANNEXE III-III).

- **Taux d'accumulation de la proline selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis aux basses températures.**



**Fig.5.5.** La variation de la concentration en proline selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis aux basses températures  $\pm S$ .

Les résultats des teneurs en proline selon les différents organes de jeunes plants de chêne vert soumis à des différentes températures (Fig.5.5) montrent une nette augmentation par rapport au témoin selon l'organe et le degré de la température.

Ces variations sont confirmées par l'analyse de la variance à deux critères de classification qui montre des différences très hautement significatives en fonction des températures ( $p < 0,001$ ) et en fonction des organes ( $p < 0,001$ ) (ANNEXE III-II). On enregistre les valeurs les plus élevées au niveau des racines et à -10°C .

Le test de Newman et Keuls fait ressortir trois groupes homogènes dont les racines occupent le premier groupe (A) par la moyenne la plus élevée de 3,040  $\mu\text{mol/g MS}$ , le dernier groupe (C) comprend les feuilles de la première et la deuxième vague de croissance (Tab.5.3).

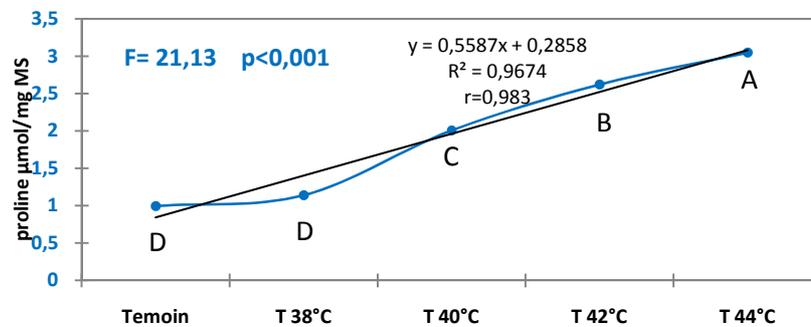
**Tab.5.3.** Tableau des groupes homogènes, pour les teneurs en proline à des basses températures, obtenus par le test de Newman et Keuls.

Organes	Moyenne ( $\mu\text{mol/g MS}$ )	Groupes		
R	3,040	A		
T	2,059		B	
V <sub>2</sub>	1,601			C
V <sub>1</sub>	1,519			C

#### V.1.2. Effet des variations des hautes températures sur les teneurs en proline

**Tab.5.4.** Taux de variation thermique de la proline en fonction des températures chaudes dans les différents organes des semis du chêne vert par rapport au témoin.

	25°C±2°C	38°C	40°C	42°C	44°C
V1	/	37%	73%	269%	292%
V2	/	4%	143%	204%	233%
T	/	9%	102%	143%	188%
R	/	13%	70%	115%	170%



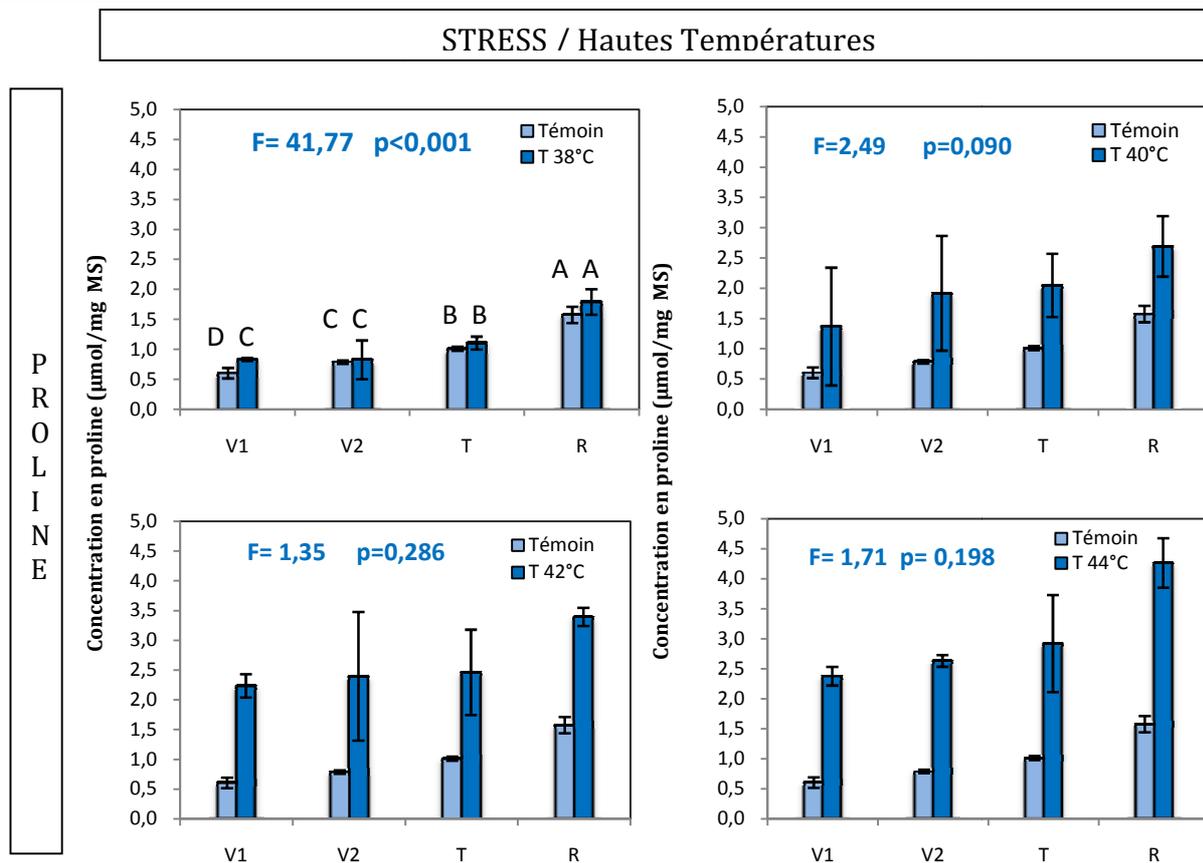
**Fig.5.6.** Taux d'accumulation de la proline selon les différents niveaux de stress thermique par la chaleur  $\pm$  S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

Comme pour les basses températures, l'exposition des jeunes plants de chêne vert à une gamme de températures chaudes entre 38°C et 44°C a induit l'augmentation de l'accumulation en proline au fur et à mesure que la température augmente (Fig.5.6, Tab.5.4). L'analyse de la variance à un critère signale des différences très hautement significatives ( $p < 0.001$ ) en fonction des hautes températures (ANNEXE III-I).

La comparaison des moyennes par le biais du test de Newman et Keuls fait ressortir 05 groupes homogènes où le premier groupe (A) correspond à la température 44°C avec la moyenne la plus élevée de 3,047  $\mu\text{mol/g MS}$  alors que le dernier groupe correspond aux températures de 38°C et au témoin.

- **Les hautes températures**

L'accumulation de la proline en fonction des hautes températures dans les différents organes de chêne vert est illustrée par la figure 5.7. Les résultats obtenus au cours du dosage de la teneur en proline effectué sur les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des températures de 38°C, 40°C, 42°C et 44°C montrent une différence très hautement significative d'accumulation de proline en fonction des organes pour la température 38°C, alors qu'il n'existe pas de différences significatives pour les températures 40°C, 42°C et 44°C selon l'analyse de la variance à un critère de classification (ANNEXE III-I).

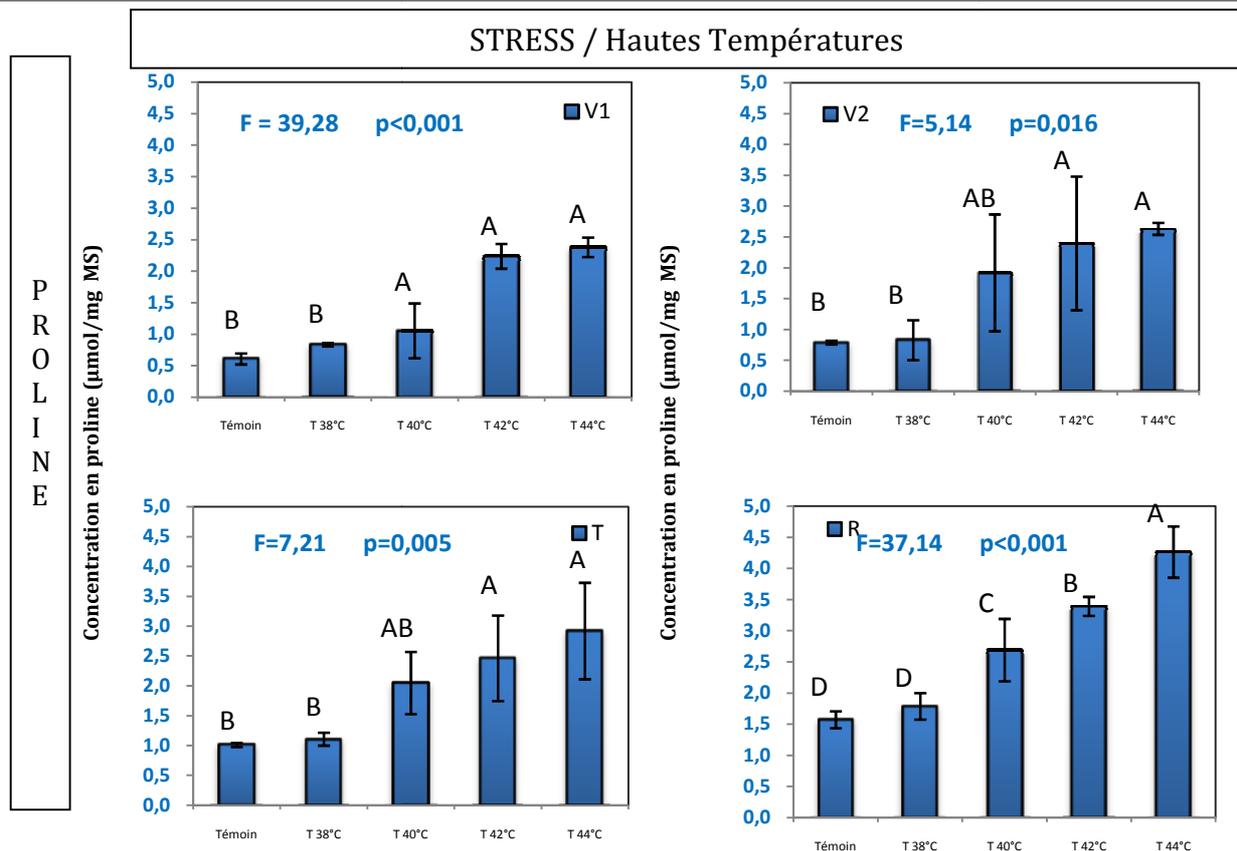


**Fig.5.7.** Taux d'accumulation de la proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert aux hautes températures par rapport au témoin  $\pm$  S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

L'exposition des jeunes plants de chêne vert aux hautes températures a induit une forte augmentation en proline au niveau des organes, cette augmentation est la plus forte à la température 44°C de l'ordre de  $(4,262 \pm 0,410)$   $\mu\text{mol/g MS}$  et un taux de grandeur de 170% par rapport au témoin au niveau des racines.

- **Les organes**

La variation de l'accumulation de la proline dans chaque organe en fonction des hautes températures montre que les teneurs les plus élevées sont enregistrées dans les racines pour toute la gamme de hautes températures avec un ordre de grandeur de 13%, 70%, 115% et 170% respectivement pour les températures 38°C, 40°C, 42°C et 44°C par rapport au témoin, alors que les teneurs les plus faibles sont affichées dans les feuilles de la première vague de croissance.

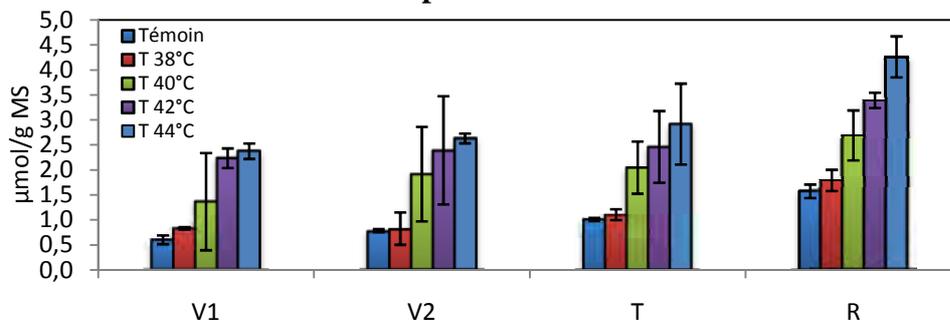


**Fig.5.8.** Taux d'accumulation de la proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert en fonction des hautes températures ± S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

Les mesures obtenus indiquent une différence très hautement significative ( $p < 0.001$ ) (ANNEXE III-I) d'accumulation de la proline en fonction des hautes températures selon l'analyse de la variance pour tous les organes.

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% donne en générale 04 groupes homogènes où le premier groupe est occupé par les températures 44°C et 42°C avec les moyennes les plus élevées (2,919 et 2,462) µmol/g MS, alors que le dernier groupe est occupé par la température 38°C et le témoin (ANNEXE III-III).

- **Taux d'accumulation de la proline selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des hautes températures**



**Fig.5.9.** La variation de la teneur en proline selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des hautes températures ± S.

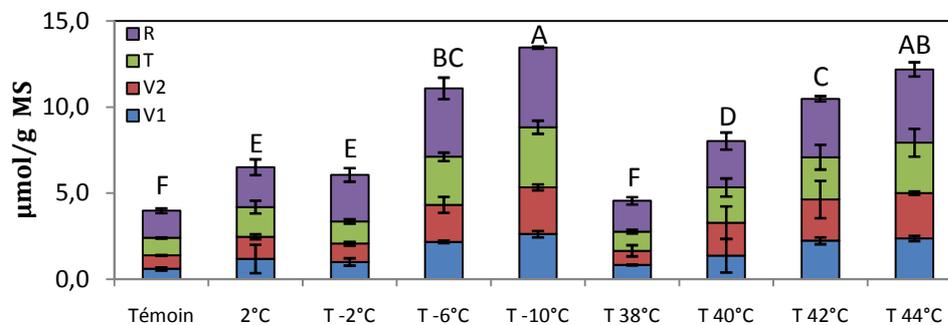
La figure 5.9 nous montre qu'il existe des différences de la teneur en proline selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert, ces variations sont confirmées par l'analyse de la variance à deux critères de classification qui montre des différences très hautement significatives entre les températures ( $p < 0,001$ ) et entre les organes ( $p < 0,001$ ) (ANNEXE III-II).

On enregistre les valeurs les plus élevées au niveau des racines pour toute la gamme de températures chaudes, et à la température 44°C pour l'ensemble des organes. La comparaison des moyennes par le biais du test de Newman et Keuls fait ressortir 04 groupes homogènes ou le premier groupe (A) concerne les racines, alors que le dernier groupe (C) correspond aux feuilles de la première vague de croissance (Tab.5.5).

**Tab.5.5.** Groupes homogènes de la teneur en proline selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des hautes températures obtenus par le test de Newman et Keuls.

Organes	Moyenne ( $\mu\text{mol/g MS}$ )	Groupes		
R	2,743	A		
T	1,909		B	
V <sub>2</sub>	1,711		B	C
V <sub>1</sub>	1,484			C

**V.1.3. Le cumule du taux de la proline chez la plante entière en fonction des fluctuations thermiques.**



**Fig.5.10.** Accumulation de la proline chez la plante entière en fonction des basses températures  $\pm$  S. Les résultats du test de Newman et keuls.

Des résultats que nous venons de décrire, il convient de retenir les points essentiels :

- La teneur de la proline varie selon l'organe et le niveau du stress thermique.
- L'accumulation de la proline varie dans le sens racines, tiges, feuilles (deuxième vague de croissance, première vague de croissance) pour toutes les températures.
- En fonction des températures, les teneurs en proline varient dans le sens :

$$[-10^{\circ}\text{C}] > [44^{\circ}\text{C}] > [-6^{\circ}\text{C}] > [42^{\circ}\text{C}] > [40^{\circ}\text{C}] > [2^{\circ}\text{C}] > [-2^{\circ}\text{C}] > [38^{\circ}\text{C}]$$

- Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des racines par rapport aux autres organes, et à la température -10°C par rapport aux autres températures.

#### V.1.4. EFFET DES VARIATIONS THERMIQUES SAISONNIÈRES SUR LES TENEURS EN PROLINE DANS LES JEUNES PLANTS DE *CHÊNE VERT* (*QUERCUS ILEX L.*)

**Tab.5.6.** Paramètres statistiques des teneurs en proline dans les différents organes pour les quatre saisons ( $\mu\text{mol/g MS}$ ).

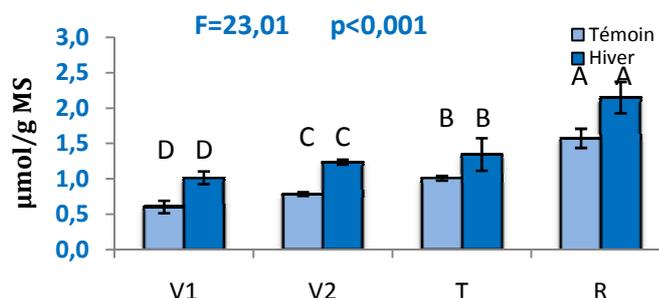
	25°C±2°C	Hiver	Printemps	Été	Automne
<b>N</b>	12	16	16	16	16
<b>Moyenne</b>	0,994	1,4387	0,9131	1,3919	0,6773
<b>Ecart-type</b>	0,387	0,4669	0,1901	0,4595	0,1965
<b>Max</b>	1,722	2,4700	1,1804	2,1700	1,0492
<b>Min</b>	0,506	0,9300	0,6200	0,8342	0,4539

##### V.1.4.1 Effet des variations saisonnières sur les teneurs en proline

**Tab.5.7.** Taux de variation saisonnière des teneurs en proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert par rapport au témoin.

	25°C±2°C	Hiver	Printemps	Été	Automne
<b>V1</b>	/	68%	9%	54%	-18%
<b>V2</b>	/	57%	28%	42%	-31%
<b>T</b>	/	33%	-16%	43%	-29%
<b>R</b>	/	36%	-28%	30%	-38%

- La saison hivernale

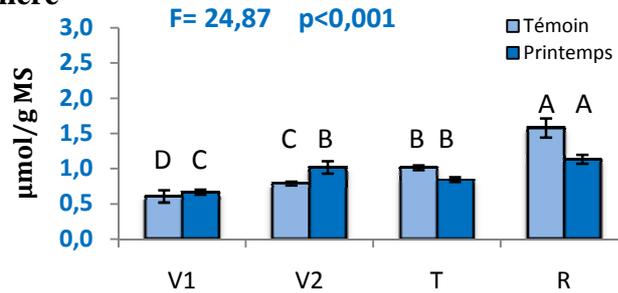


**Fig.5.11.** Taux d'accumulation de la proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert durant la saison hivernale  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls ( $n=4$ ).

Le froid hivernal a provoqué une augmentation de la teneur en proline dans les différents organes des semis du chêne vert par rapport au témoin. Les teneurs en proline sont relativement plus importantes dans les racines, le taux d'accumulation par rapport au témoin est de 36%. Les feuilles de la première vague de croissance enregistrent les teneurs les plus faibles avec une moyenne de  $(1,018 \pm 0,090) \mu\text{mol/g MS}$  et un taux d'augmentation de 68% par rapport au témoin. L'analyse de la variance a un critère de classification montre une différence très hautement significative pour le paramètre organe ( $p < 0,001$ ) (ANNEXE III-I). Le test de Newman et Keuls fait ressortir quatre groupes homogènes. Le groupe (A) représentés par les racines alors que les feuilles de la première

vague de croissance occupent le dernier groupe (D) avec les plus faibles moyennes (ANNEXE III-III).

- **La saison printanière**

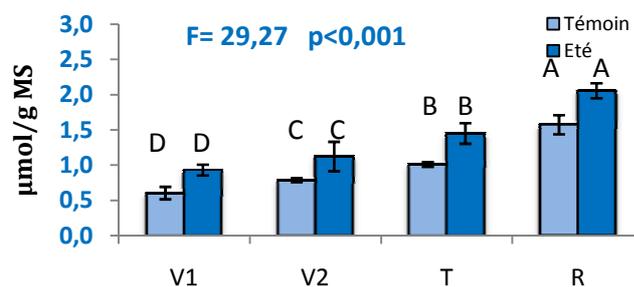


**Fig.5.12.** Taux d'accumulation de la proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert durant la saison printanière  $\pm$  S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls (n=4).

Chez les jeunes plants de chêne vert, l'accumulation de la proline durant la saison printanière est illustrée par la figure 5.12, les taux d'augmentation ont atteint 9% et 28% respectivement au niveau des anciennes vagues et les jeunes vagues par rapport au témoin. Par contre au niveau des tiges et des racines, une diminution de l'ordre de -16% et -28% respectivement a été observée. L'analyse de la variance à un critère de classification est très hautement significative en fonction des organes ( $p < 0,001$ ) (ANNEXE III-I).

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% fait ressortir trois groupes homogènes où racines occupent le premier groupe avec la moyenne la plus élevée 1,13  $\mu\text{mol/g MS}$ . Les feuilles de la 1<sup>ère</sup> vague de croissance occupent le dernier groupe avec la plus petite moyenne 0,66  $\mu\text{mol/g MS}$  (ANNEXE III-III).

- **La saison estivale**



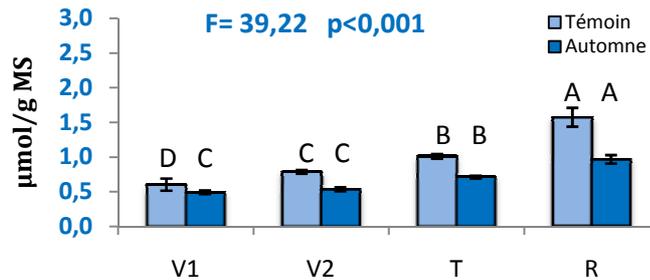
**Fig.5.13.** Taux d'accumulation de la proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert durant la saison estivale  $\pm$  S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls (n=4).

Durant la saison estivale, l'accumulation de la proline est variable au niveau des organes. En fait les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau de la racine avec un taux d'augmentation de 59%, les teneurs les plus faibles sont enregistrés au niveau des feuilles en accusant des taux de

grandeurs de l'ordre de 54% et 42% respectivement pour V<sub>1</sub> et V<sub>2</sub>. L'analyse de la variance à un critère de classification signale des différences très hautement significatives en fonction des organes (p<0.001) (ANNEXE III-I).

Ces résultats sont vérifiés par le biais du test du Newman & Keuls, faisons ressortir quatre groupes homogènes dont les racines constituent le premier groupe (A) avec une moyenne de 2,05 µmol/g MS ; le dernier (D) comprend les feuilles de la première vague de croissance (ANNEXE III-III).

- **La saison automnale**

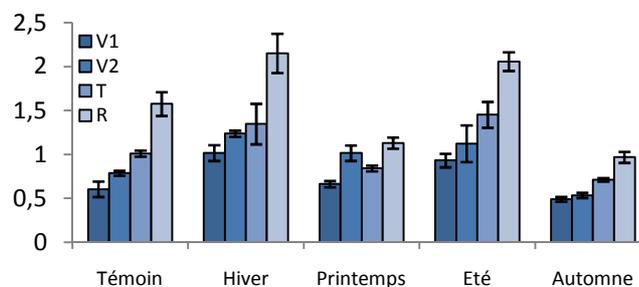


**Fig.5.14.** Taux d'accumulation de la proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert durant la saison automnale ± S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls (n=4).

La teneur en proline se diffère d'un organe à un autre durant la saison automnale. On enregistre des diminutions dans tous les organes par rapport au témoin (Fig.5.14). Ces diminutions sont de l'ordre de -18%, -31%, -2,9% et 3,8% par rapport au témoin. L'analyse de la variance permet de mettre en évidence un effet très hautement significatif des organes sur l'accumulation de la proline (p<0.001) (ANNEXE III-I).

Le test de Newman au seuil de 5% fait ressortir 03 groupes homogènes. Le premier correspond aux racines qui caractérisent la moyenne la plus élevée 0,968 µmol/g MS, le dernier groupe correspond aux feuilles de la première et la deuxième vague de croissance (ANNEXE III-III).

#### V.1.4.2 Effet des variations thermiques inter-saisonnier sur les teneurs en proline



**Fig.5.15.** Variation inter-saisonnaire des teneurs en proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert ± S.

La figure 5.15 représente les variations de la teneur en proline des différents organes des jeunes plants du chêne vert en fonction des saisons selon l'analyse de la variance à deux critères de classification.

Pour les anciennes vagues, la valeur la plus élevée est affichée en hiver avec une moyenne de  $(1,018 \pm 0,090)$   $\mu\text{mol/g MS}$  et un taux d'augmentation de 68% par rapport au témoin. Par contre la valeur la plus faible est enregistrée en automne  $(0,049 \pm 0,053)$   $\mu\text{mol/g MS}$  en accusant une diminution de -18% par rapport au témoin (Tab.5.7).

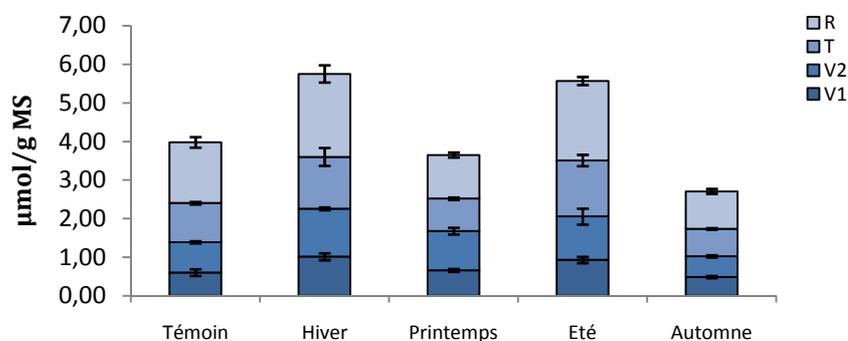
Pour les jeunes vagues la valeur la plus élevée est relevée en saison hivernale avec  $(1,238 \pm 0,035)$   $\mu\text{mol/g MS}$  avec un taux d'augmentation de 57% et la valeur la plus faible est enregistrée durant la saison automnale  $(0,53 \pm 0,029)$   $\mu\text{mol/g MS}$  en accusant une diminution de -31% par rapport au témoin.

Au niveau des tiges, les valeurs les plus élevées sont observées en été  $(1,452 \pm 0,146)$   $\mu\text{mol/g MS}$  et les plus faibles en automne  $(0,71 \pm 0,061)$   $\mu\text{mol/g MS}$ .

Enfin les racines présentent les plus fortes teneurs en proline par rapport aux d'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.

### 5.1.4.3 Le cumul saisonnier du taux de la proline chez la plante entière.



**Fig.5.16.** Cumul saisonnier de la proline en fonction des organes

D'après la figure 5.16, on remarque que les valeurs moyennes de la proline relevées au niveau des organes des jeunes plants de chêne vert se présentent dans l'ordre suivant :

$$[R] > [T] > [V_2] > [V_1].$$

Selon les saisons, les teneurs décroissantes sont de l'ordre suivant :

$$[Hiver] > [Été] > [Printemps] > [Automne].$$

**V.2. EFFET DE LA CONTRAINTE THERMIQUE SUR LA VARIATION DES TENEURS EN SUCRES SOLUBLES DES DIFFERENTS ORGANES DES JEUNES PLANTS DE CHENE VERT.**

L'exposition des jeunes plants de chêne vert à différentes températures variantes du Frais au chaud a induit une augmentation des teneurs en sucres solubles dans ces différents organes. En effet, au fur et à mesure que le stress thermique devient sévère, les jeunes plants enregistrent des teneurs en sucre très élevés par rapport au témoin. Les résultats sont représentés par leurs éléments statistiques dans le tableau 5.8.

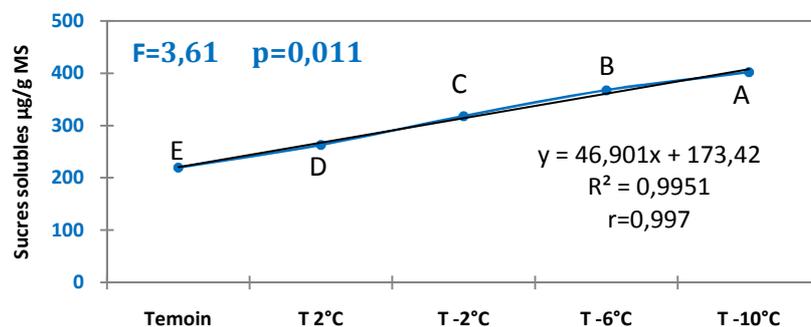
**Tab.5.8.** Paramètres statistiques des teneurs en sucres solubles dans les différents organes en fonction des différentes températures (µg/g MS).

	Témoin	Basses Températures				Hautes Températures			
	25°C±2°C	2°C	-2°C	-6°C	-10°C	38°C	40°C	42°C	44°C
<b>N</b>	<b>12</b>	12	12	12	12	12	12	12	12
<b>Moyenne</b>	219,782	263,186	317,957	367,615	402,071	274,105	310,862	377,964	401,150
<b>Ecart-type</b>	138,398	106,301	121,747	148,333	156,551	104,083	100,117	131,081	132,517
<b>Max</b>	377,796	392,353	468,177	584,092	650,964	408,332	448,896	576,033	601,340
<b>Min</b>	47,638	148,627	185,681	221,592	252,448	159,764	157,785	238,904	251,961

**V.2.1. Effet des basses températures sur les teneurs en sucres solubles.**

**Tab.5.9.** Taux de variation thermique des sucres solubles en fonction des basses températures dans les différents organes des semis du chêne vert par rapport au témoin.

	25°C±2°C	2°C	-2°C	-6°C	-10°C
<b>V<sub>1</sub></b>	/	3%	23%	51%	65%
<b>V<sub>2</sub></b>	/	5%	25%	36%	44%
<b>T</b>	/	20%	39%	71%	87%
<b>R</b>	/	237%	349%	379%	457%



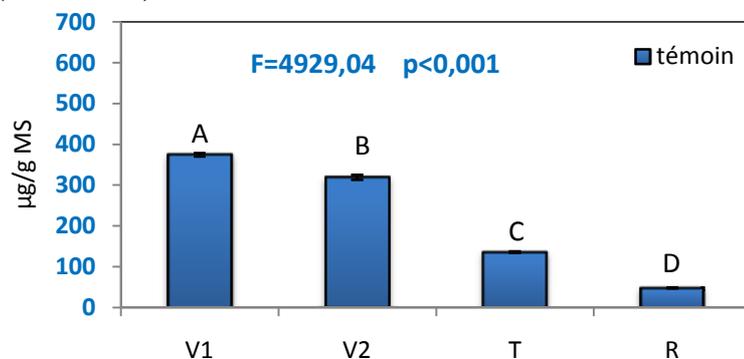
**Fig.5.17.** Taux d'accumulation des sucres solubles selon les différents niveaux de stress thermique par le froid. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

Chez les jeunes plants de chêne vert, l'accumulation des sucres aux basses températures est illustrée par figure 5.17. L'analyse de la variance à un critère de classification montre des différences significatives en fonction des températures ( $p=0.011$ ) (ANNEXE IV-I).

La comparaison des moyennes par le test de Newman et Keuls fait ressortir 05 groupes homogènes ou le premier groupe (A) correspond à la température  $-10^{\circ}\text{C}$  avec la moyenne la plus élevée ( $402,072 \mu\text{g/g MS}$ ) alors que le dernier groupe (E) constitue le témoin (ANNEXE IV-III).

L'effet des basses températures sur l'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert montre que celle-ci est toujours plus importante au niveau des racines (Tab.5.9).

- **Témoin ( $25^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ )**



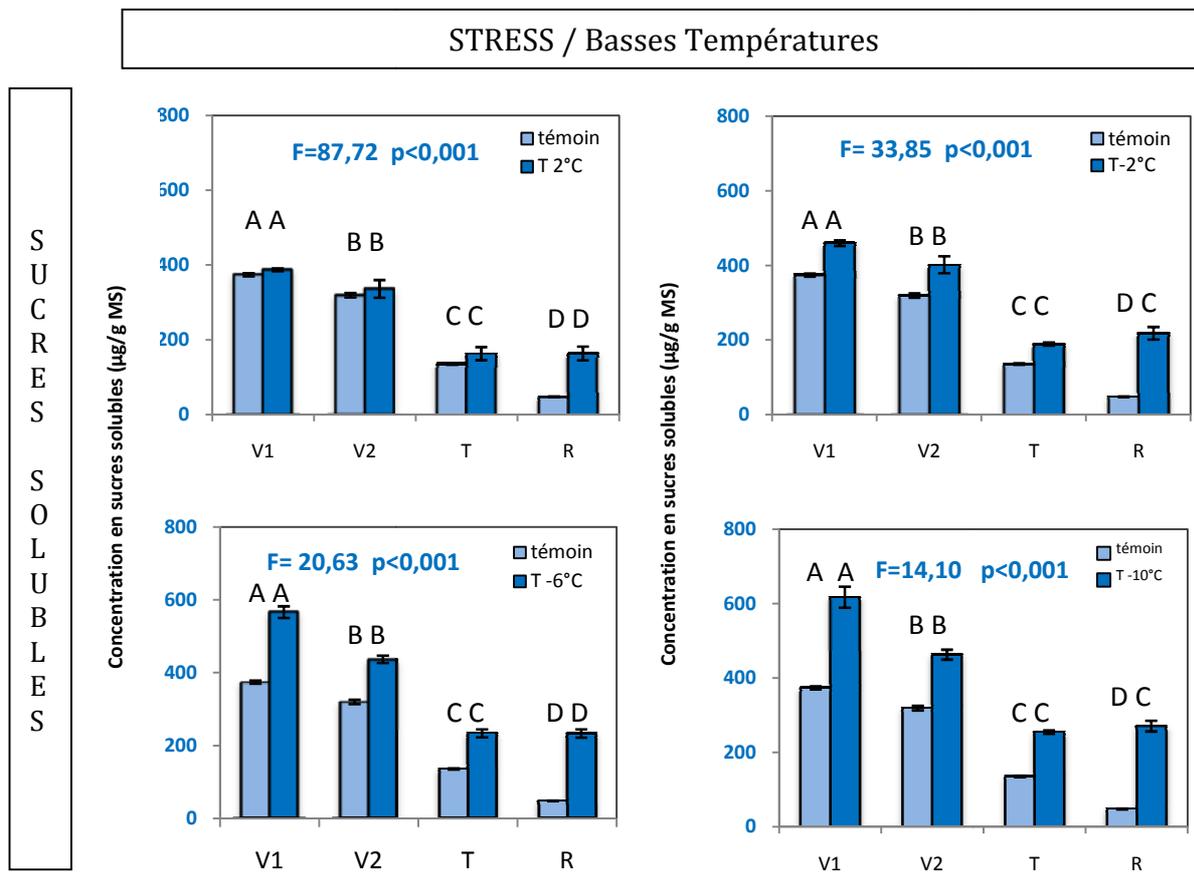
**Fig.5.18.** Taux d'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert à la température du témoin  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

Les valeurs moyennes des teneurs en sucre solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert illustrées dans la figure 5.18 qui montrent des variations importantes. Ce ci est confirmé par l'analyse de la variance à un critère de classification qui signale une différence très hautement significative ( $p<0.001$ ) (ANNEXE IV-I).

On enregistre la plus forte teneur au niveau des feuilles de la première vague de croissance avec une moyenne de  $(374,550\pm 4,155) \mu\text{g/g MS}$  et la deuxième vague de croissance  $(319,690\pm 5,932) \mu\text{g/g MS}$  par rapport aux tiges  $(136,202\pm 1,900) \mu\text{g/g MS}$  et racines  $(48,687\pm 0,940) \mu\text{g/g MS}$ .

Le test de Newman et Keuls fait ressortir 04 groupes homogènes ou les feuilles de la première vague de croissance appartiennent au premier groupe (A), le deuxième groupe (B) comprend les feuilles de la deuxième vague de croissance, le troisième groupe (C) correspond aux tiges et enfin le groupe (D) comprend les racines (ANNEXE IV-III).

- **Températures froides**



**Fig.5.19.** Taux d'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert à des hautes températures ± S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

Les teneurs en sucres solubles totaux enregistrées à une exposition des plants à une gamme de basses températures de 2°C et -10°C représentés dans la figure 5.19 montrent une augmentation dans les différents organes. Les taux les plus élevés sont enregistrés aux températures -6°C et -10°C par contre la plus faible moyenne est enregistrée à la température 2°C avec un taux de grandeur de 237% au niveau des racines par rapport au témoin.

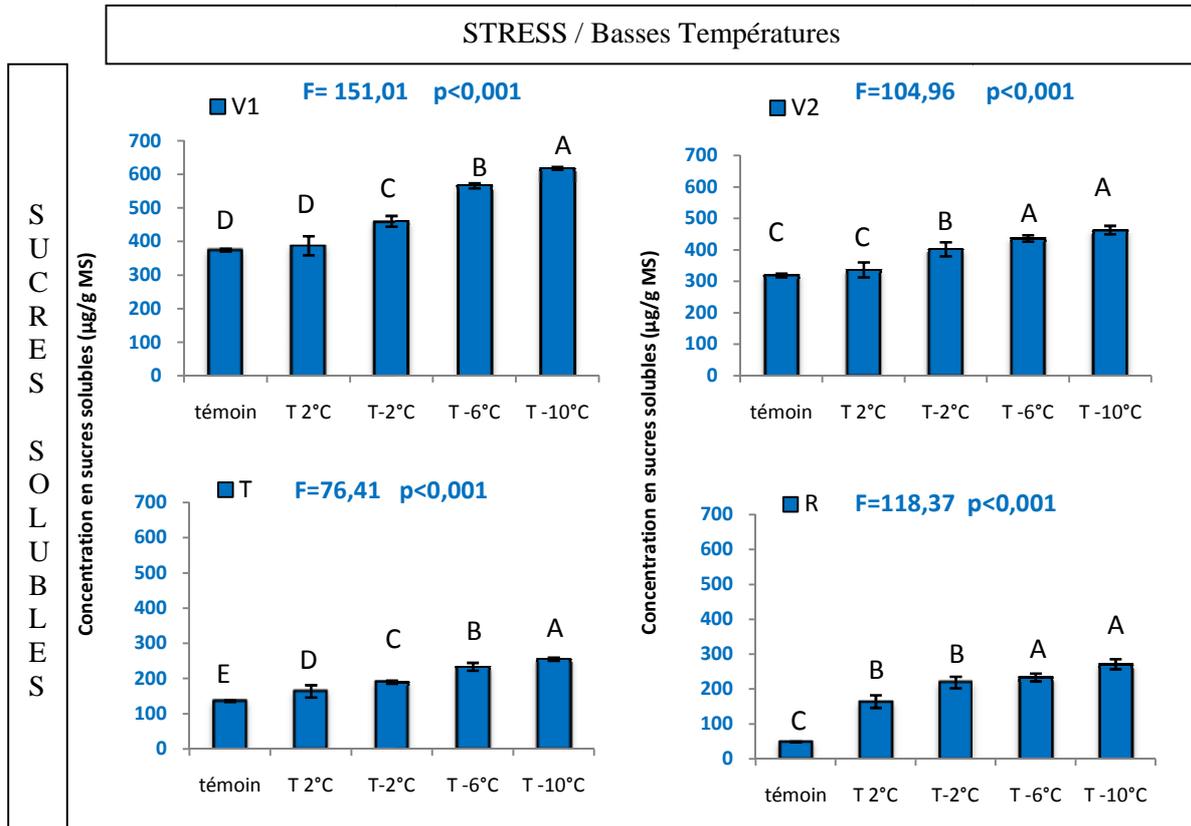
L'analyse de la variance à un critère de classification montre qu'il existe des différences très hautement significatives en fonction des organes pour toute la gamme (p<0,001) (ANNEXE IV-I).

La comparaison des moyennes avec le test de Newman et Keuls fait ressortir 04 groupes homogènes, où le premier (A) comprend les feuilles de la première vague de croissance avec les plus fortes moyennes de (381,210- 417,657-470,509 et 496,316 µg/g MS), respectivement pour les températures 2°C,-2°C,-6°C et -10°C , le second groupe (B) comprend les feuilles de la deuxième vague de croissance avec des moyennes de (328,228-361,050- 378,274 et 391,607µg/g MS), le troisième groupe (C) comprend les tiges des températures 2°C,-2°C,-6°C et -10°C avec les moyennes de 150,017- 163,009- 185,014 et 195,818 µg/g MS) ainsi que les racines des températures -2°C et -10°C. Le dernier groupe (D) correspond aux racines des températures 2°C et

-6°C respectivement avec les plus faibles moyennes de 106,482 et 141,000 µg/g MS) (ANNEXE IV-III).

• Les organes

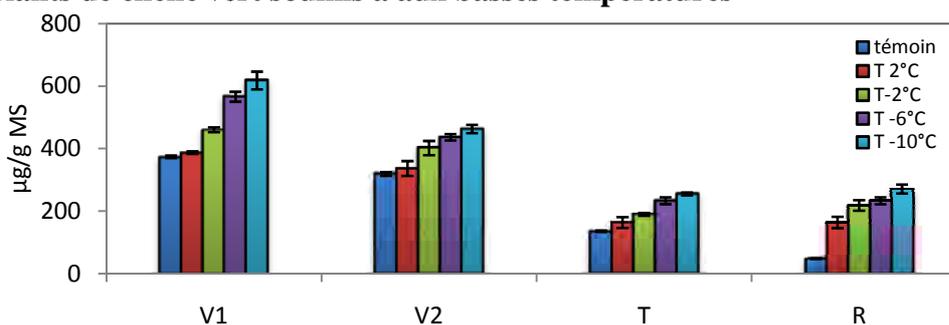
Les résultats obtenus du dosage des sucres solubles effectués sur V<sub>1</sub> et V<sub>2</sub>, les tiges et les racines soumises à des températures de 2°C, -2°C, -6°C, -10°C indiquent que les taux sont globalement supérieures dans les différents organes des jeunes plants stressés par rapport au témoin.



**Fig.5.20.** Taux d'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert en fonction des basses températures ±S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

Les quantités sont plus importantes dans les feuilles que les autres organes (Fig. 5.20), les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des feuilles de la première vague de croissance pour toute la gamme thermique en accusant des taux de grandeur de l'ordre de (3%, 23%, 51% et 65%) respectivement pour les températures 2°C, -2°C, -6°C et -10°C. Dans les feuilles de la deuxième vague de croissance, il n'y a pas de différence entre le témoin et 2°C, -6°C et -10°C, une augmentation importante à -2°C à été toutefois observées. Pour les tiges, enregistre une augmentation de plus que la température diminue de l'ordre de (20%, 39%, 71%, et 87%) respectivement pour 2°C, -2°C, -6°C et -10°C. Dans les racines, on enregistre pas de différence entre les températures 2°C et -2°C, -6°C et -10°C.

- **Taux d'accumulation des sucres solubles selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à aux basses températures**



**Fig.5.21.** La variation de la l'accumulation en sucres solubles selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des basses températures  $\pm S$ .

Les résultats des teneurs en sucres solubles dans les organes de jeunes plants de chêne vert aux basses températures (Fig.5.21) montrent une nette augmentation par rapport au témoin selon l'organe et selon le gradient thermique.

Ces variations sont confirmées par l'analyse de la variance à deux critères de classification qui montre des différences très hautement significatives en fonction des températures ( $p < 0,001$ ) et en fonction des organes ( $p < 0,001$ ) (ANNEXES IV-II).

On enregistre les valeurs les plus élevées au niveau des anciennes feuilles par rapport aux autres organes et à  $-10^{\circ}\text{C}$  par rapport aux autres basses températures.

Le test de Newman et Keuls (Tab.5.10) fait ressortir 03 groupes homogènes dont les feuilles de la première vague de croissance occupent le premier groupe (A) par la moyenne la plus élevée de  $481,547\mu\text{g/g MS}$ , le dernier groupe (C) comprend les tiges et les racines.

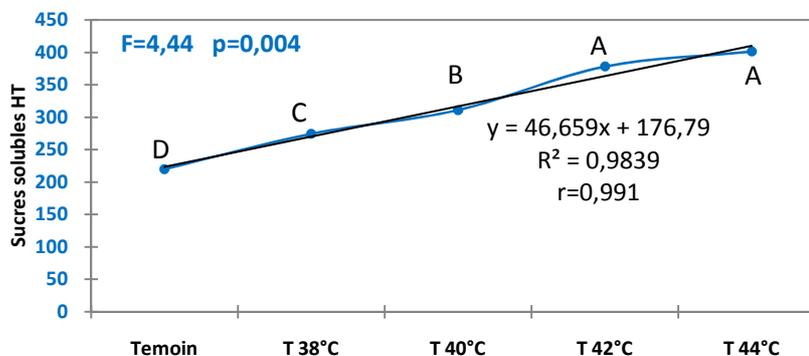
**Tab.5.10.** Tableau des groupes homogènes des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert en fonction des basses températures donné par le test de Newman et Keuls.

Organes	Moyenne ( $\mu\text{g/g MS}$ )	Groupes		
V <sub>1</sub>	481,547	A		
V <sub>2</sub>	391,849		B	
T	195,821			C
R	187,273			C

### V.2.2. Effet des variations des hautes températures sur les teneurs en sucres solubles.

**Tab.5.11.** Taux de variation thermique des sucres solubles en fonction des températures chaudes dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert par rapport au témoin.

	25°C±2°C	38°C	40°C	42°C	44°C
V <sub>1</sub>	/	5%	16%	52%	55%
V <sub>2</sub>	/	8%	11%	28%	42%
T	/	41%	89%	100%	99%
R	/	233%	294%	433%	505%



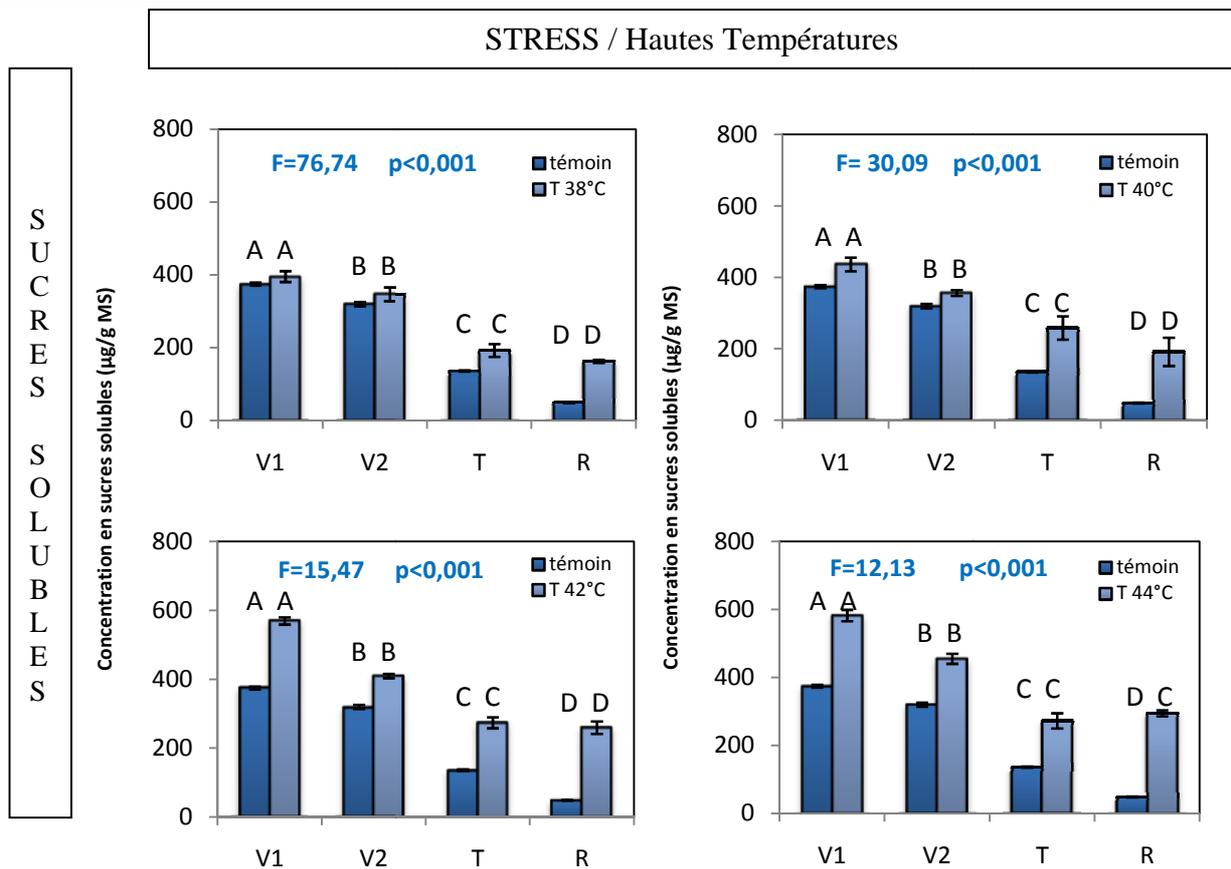
**Fig.5.22.** Taux d'accumulation des sucres solubles en fonction du stress thermique par la chaleur ± S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

L'exposition des jeunes plants de chêne vert à une gamme de températures élevées entre 38°C et 44°C a induit une augmentation importante de la teneur en sucres solubles dans les organes (Fig. 5.22), au fur et à mesure que la température augmente, l'accumulation des sucres solubles augmente. L'analyse de la variance à un critère de classification signale une différence hautement significative en fonction des hautes températures ( $p=0,004$ ) (ANNEXE IV-I).

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% relève l'existence de 04 groupes homogènes, le groupe (A) comprend la température 42°C et 44°C avec les moyennes les plus élevées (377,965 et 401,150 µg/g MS) respectivement, le groupe (B) comprend la température 40°C avec une moyenne de 310,862 µg/g MS. La température 38°C appartient au groupe (C) avec une moyenne de (274,106 µg/g MS) et enfin le groupe (D) correspond au témoin avec la plus faible moyenne (219,783µg/g MS) (ANNEXE IV-III).

- **Les hautes températures**

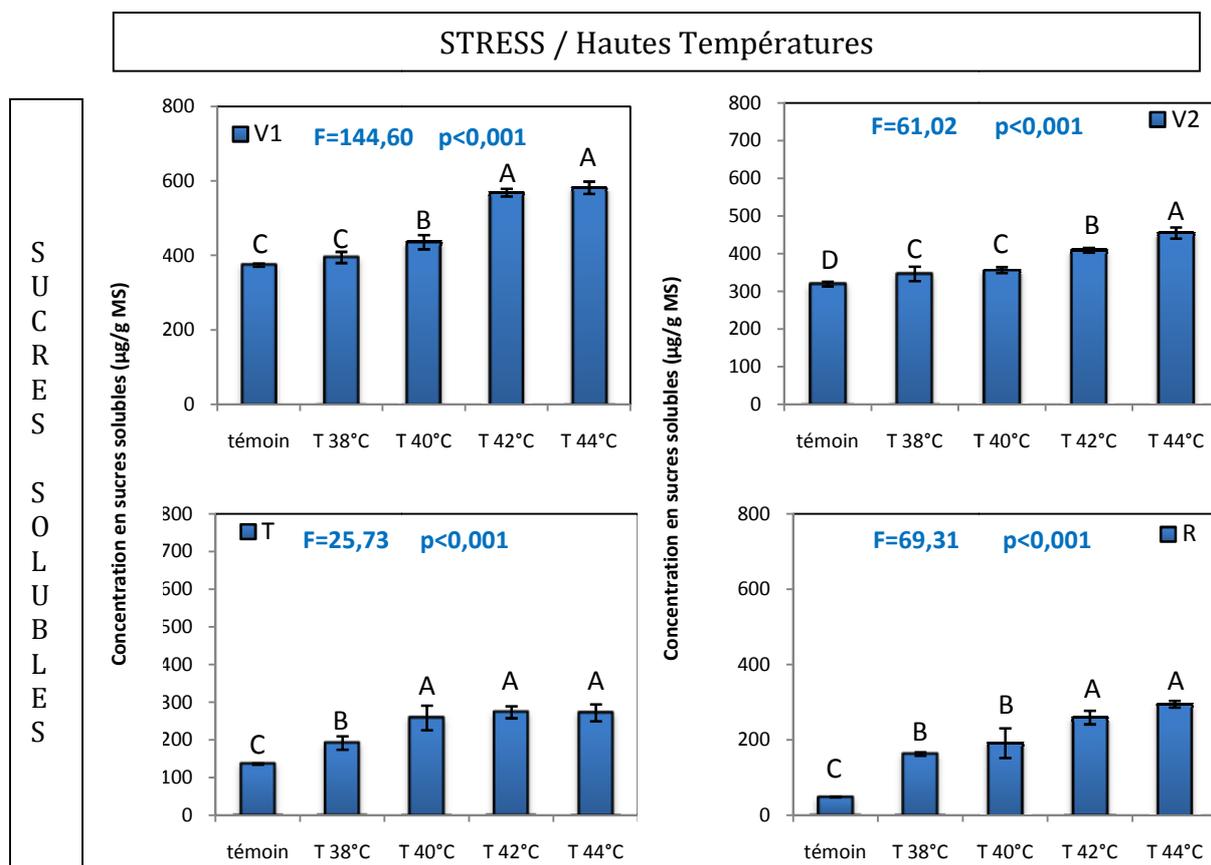
Chez les semis de chêne vert, l'exposition des semis aux hautes températures montre une accumulation importante des sucres solubles (Fig.5.23), les taux d'augmentation ont atteint 55% au niveau des V<sub>1</sub> à la température 44°C, par rapport au témoin.



**Fig.5.23.** Taux d'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert en fonction des hautes températures par rapport au témoin  $\pm$  S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

Chez les semis de chêne vert, l'exposition des semis aux hautes températures montre une accumulation importante des sucres solubles (Fig.5.23), les taux d'augmentation ont atteint 55% au niveau de la V<sub>1</sub> à la température 44°C, par rapport au témoin. L'analyse de la variance à un critère de classification est très hautement significative en fonction des organes pour toutes les températures chaudes ( $p < 0,001$ ) (ANNEXE IV-I). La comparaison des moyennes avec le test de Newman et Keuls fait sortir 04 groupes homogènes, le premier comprend les anciennes vagues avec les plus fortes moyenne, le second groupe (B) comprend les jeunes vagues, le troisième groupe (C) comprend les tiges et le dernier groupe (D) correspond aux racines (ANNEXE IV-III).

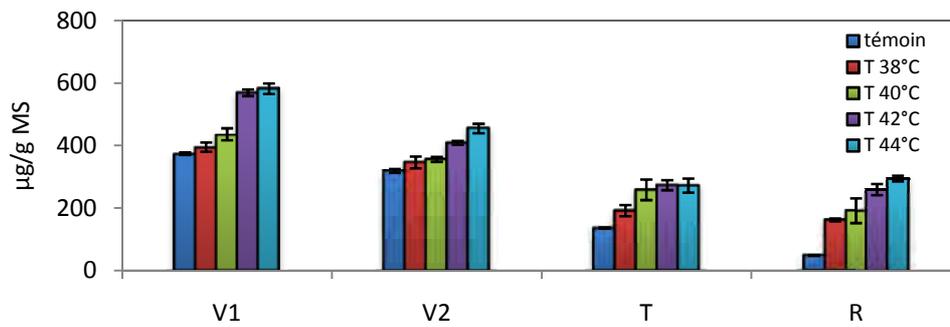
- **Les organes**



**Fig.5.24.** Taux d'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert en fonction des hautes températures  $\pm$ S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

La comparaison entre l'évolution de la quantité de sucres réducteurs dans les différents organes étudiés en fonction de l'intensité du stress thermique appliqué (Fig.5.24) a montré qu'il y a une hausse dans le niveau des sucres réducteurs au niveau des feuilles, tiges et des racines. Cette augmentation devient de plus en plus nette au fur et à mesure que l'intensité du stress s'accroît. Le taux de sucres réducteurs au niveau des anciennes vagues dépasse celui des autres organes durant les différents niveaux de stress. Au niveau des racines, comme dans le cas des sucres totaux, c'est l'exposition des plants aux températures 42°C et 44°C qui induit l'accumulation de plus de sucres réducteurs.

- **Taux d'accumulation des sucres solubles selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des hautes températures**



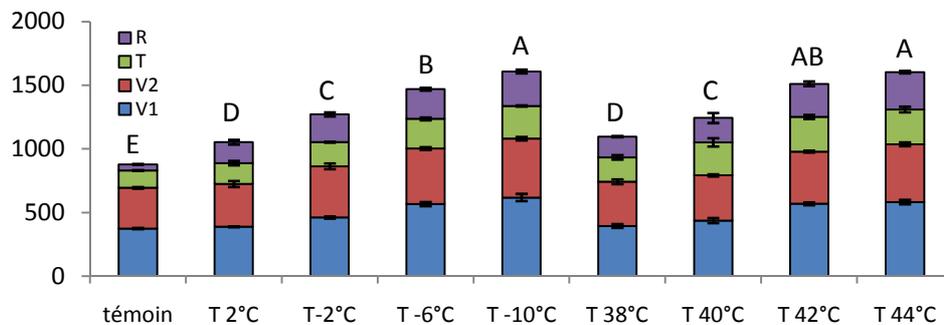
**Fig.5.25.** La variation de l'accumulation en sucres solubles selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des hautes températures  $\pm S$ .

L'analyse de la variance à deux critères de classification montre une différence très hautement significative entre les températures et entre les différents organes des semis pour l'accumulation des protéines ( $p < 0.001$ ) (ANNEXE IV-II). On remarque que l'accumulation est faible au niveau des racines par rapport aux feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance qui signalent des accumulations supérieures à celles du témoin. La valeur la plus élevée est enregistrée au niveau des feuilles de la 1<sup>ère</sup> vague de croissance à la température 44°C en accusant une moyenne de 471,564 µg/g MS. Alors que la plus faible a été enregistrée au niveau des racines avec une moyenne 191,510 µg/g MS.

**Tab.5.12.** Groupes homogènes des teneurs en sucres solubles dans les différents organes en fonction des hautes températures

Organes	Moyenne (µg/g MS)	Groupes			
V <sub>1</sub>	471,564	A			
V <sub>2</sub>	377,471		B		
T	226,547			C	
R	191,510				D

### V.2.3 Cumul du taux des sucres solubles chez la plante entière en fonction de la température



**Fig.5.26.** Cumul du taux des sucres solubles chez la plante entière en fonction des basses et hautes températures  $\pm S$ .

- L'accumulation des sucres solubles en fonctions de l'intensité varie dans le sens feuilles (première vague de croissance, deuxième vague de croissance), tige et racine pour toutes les températures.
- Le classement thermique de l'accumulation des sucres solubles s'établit comme suit :

$$[-10^{\circ}\text{C}] > [44^{\circ}\text{C}] > [42^{\circ}\text{C}] > [-6^{\circ}\text{C}] > [-2^{\circ}\text{C}] > [40^{\circ}\text{C}] > [38^{\circ}\text{C}] > [2^{\circ}\text{C}]$$

#### V.2.4 EFFET DES VARIATIONS THERMIQUES SAISONNIÈRES SUR LES TENEURS EN SUCRES SOLUBLES DANS LES JEUNES PLANTS DE CHÊNE VERT (*QUERCUS ILEX L.*).

**Tab.5.13.** Paramètres statistiques des teneurs en sucres solubles dans les différents organes pour les quatre saisons ( $\mu\text{g/g MS}$ ).

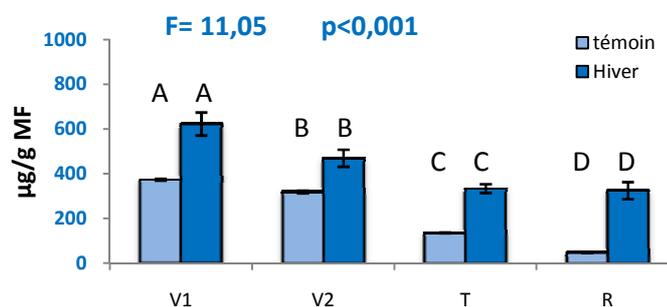
	Hiver	Printemps	Été	Automne
N	16	16	16	16
Moyenne	438,75	289,40	573,35	237,73
Ecart-type	129,93	59,24	209,66	54,62
Max	665,09	410,25	920,56	327,10
Min	274,97	218,81	294,68	160,54

##### V.2.4.1 Effet des variations saisonnières sur les teneurs en sucres solubles

**Tab.5.14.** Taux de variation saisonnière des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert par rapport au témoin.

Organes	25°C±2°C	Hiver	Printemps	Été	Automne
V <sub>1</sub>	/	66%	-5%	129%	-20%
V <sub>2</sub>	/	47%	-8%	97%	-13%
T	/	145%	81%	244%	41%
R	/	569%	443%	580%	276%

- La saison hivernale



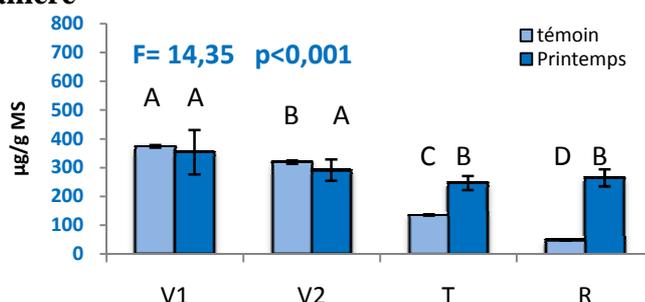
**Fig.5.27.** Taux d'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert durant la saison hivernale  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls (n=4).

Chez les jeunes plants de chêne vert, l'accumulation des sucres durant la saison hivernale est illustrée par la figure 5.27, les taux d'augmentation ont atteint 66%, 47% 145% et 569%,

respectivement au niveau des V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, T et R par rapport au témoin. L'analyse de la variance à un critère de classification est très hautement significative en fonction des organes ( $p < 0,001$ ) (ANNEXE IV-I).

Le test de Newman et Keuls montre l'existence de 04 classes où les feuilles de la 1<sup>ère</sup> vague de croissance occupe la 1<sup>ère</sup> classe avec une moyenne (499,151  $\mu\text{g/g MS}$ ), et la dernière classe représente les racines avec la plus faible moyenne (187,214  $\mu\text{g/g MS}$ ) (ANNEXE IV-III).

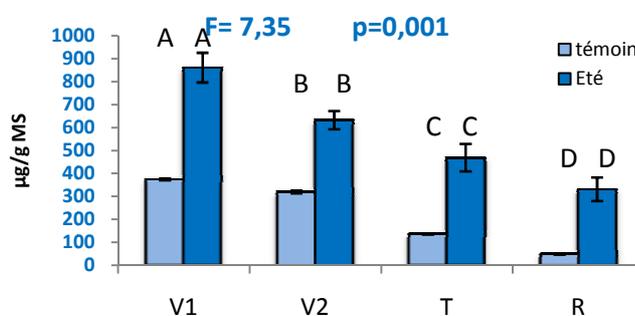
- **La saison printanière**



**Fig.5.28.** Taux d'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert durant la saison printanière  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls ( $n=4$ ).

Les résultats concernant les teneurs en sucres solubles au niveau des différents organes des jeunes plants de chêne vert durant la saison printanière illustrées par la figure 5.28 représente des différences très hautement significatives en fonction des organes selon l'analyse de la variance à un critère de classification ( $p < 0,001$ ) (ANNEXE IV-I). La valeur la plus élevée est observée au niveau des racines avec un taux d'augmentation de 443% par rapport au témoin alors que les valeurs les plus faibles sont enregistrées au niveau des feuilles avec un ordre de diminution allant de -5% à -8% affichée par les jeunes vagues. Le test de Newman et Keuls fait ressortir 02 groupes homogènes où les feuilles occupent le premier groupe avec les plus fortes moyennes, et le dernier groupe est occupé par les tiges et les racines (ANNEXE IV-III).

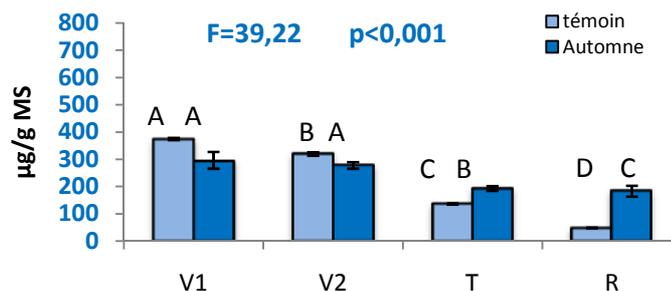
- **La saison estivale**



**Fig.5.29.** Taux d'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert durant la saison estivale  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls ( $n=4$ ).

Les résultats illustrés dans la figure 5.29 montrent que la chaleur de la saison estivale a induit une très grande accumulation des sucres solubles. L'analyse de la variance à un critère signale des différences significatives en fonction des organes ( $p=0.001$ ) (ANNEXE IV-I). Le test de Newman & Keuls donne 04 groupes homogènes, le groupe (A) correspond aux jeunes vagues avec la plus grande moyenne 617,885  $\mu\text{g/g MS}$  alors que le groupe (D) correspond aux racines avec plus faibles moyennes (ANNEXE IV-III).

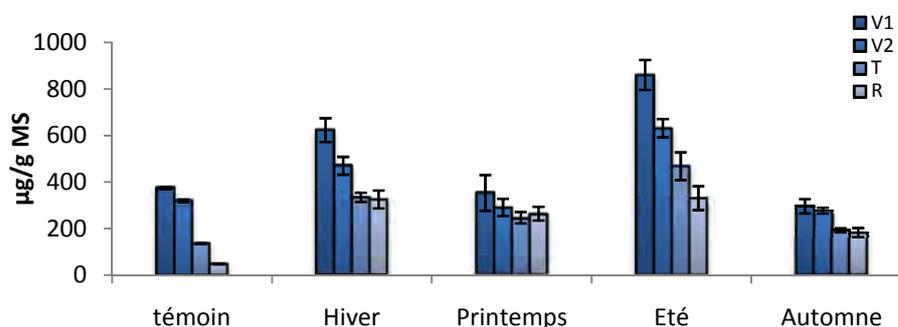
- **La saison automnale**



**Fig.5.30.** Taux d'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert durant la saison automnale  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls ( $n=4$ ).

Durant la saison automnale, l'analyse des résultats illustrés à la figure 5.30 montre que les teneurs des sucres solubles sont inférieures à celles du témoin au niveau des feuilles des jeunes plants de chêne vert. La plus grande teneur est affichée au niveau des feuilles de la première vague de croissance 335,610  $\mu\text{g/g MS}$  alors que la plus faible est observée au niveau des racines avec une moyenne de 115,937  $\mu\text{g/g MS}$  et un taux de grandeur de l'ordre de 276%.

#### V.2.4.2 Effet des variations thermiques inter-saisonnières sur les teneurs en sucres solubles



**Fig.5.31.** Variation inter-saisonnière des teneurs en proline dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert  $\pm S$ .

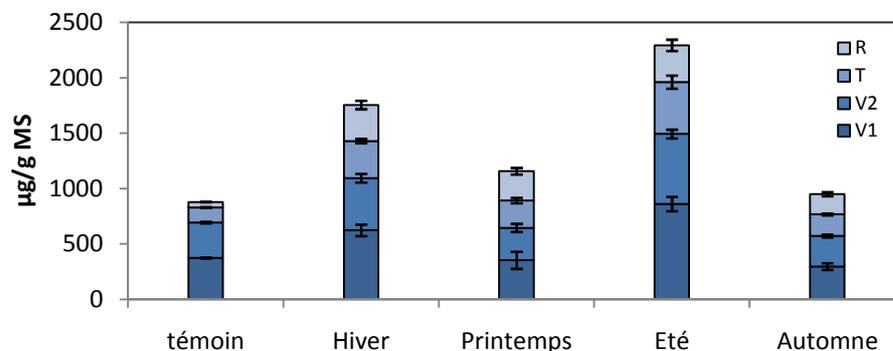
La figure 5.31 représente les variations de la teneur en sucres solubles dans les différents organes des jeunes plants du chêne vert en fonction des saisons. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées durant la saison estivale. Durant la saison automnale, les taux des sucres solubles sont

généralement inférieurs au témoin. L'analyse de la variance à deux critères de classification indique une différence très hautement significatives aussi bien pour les organes que pour les saisons ( $p < 0.001$ ) (ANNEXE IV-II).

**Tab.5.15.** Groupes homogènes des teneurs en sucres solubles dans les différents organes en fonction des saisons.

Saisons	Moyenne ( $\mu\text{g/g MS}$ )	Groupes			
Eté	573,354	A			
Hiver	438,753		B		
Printemps	289,398			C	
Automne	237,727			C	D
25°C±2°C	219,783				D

**V.2.4.3. Cumul saisonnier du taux des sucres solubles chez la plante entière.**



**Fig.5.32.** Cumul du taux des sucres solubles chez la plante entière.

La figure 5.32 nous montre la répartition saisonnière des sucres solubles en fonction des organes et en fonction des saisons. En fonction des organes, la répartition des sucres solubles se fait en moyenne dans l'ordre suivant :

$[V_1] > [V_2] > [T] > [R]$  pour la saison estivale.

$[V_1] > [V_2] > [R] > [T]$  pour les saisons printemps, automne et hiver.

En fonction des saisons, l'ordre décroissant des taux de sucres solubles est le suivant :

$[Eté] > [Hiver] > [Printemps] > [Automne]$

### V.3 EFFET DE LA CONTRAINTE THERMIQUE SUR LA VARIATION DES TENEURS EN PROTEINES DANS LES DIFFERENTS ORGANES DES JEUNES PLANTS DE CHENE VERT.

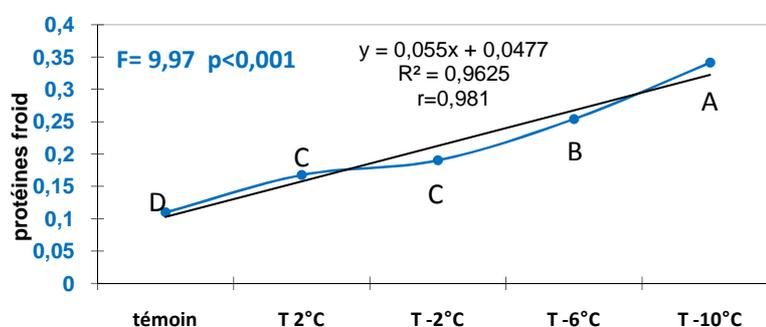
**Tab.5.16.** Paramètres statistiques des teneurs en protéines dans les différents organes en fonction des différentes températures.

	Témoin	Basses Températures				Hautes Températures			
	25°C±2°C	2°C	-2°C	-6°C	-10°C	38°C	40°C	42°C	44°C
<b>N</b>	12	12	12	12	12	12	12	12	12
<b>Moyenne</b>	0,161	0,247	0,280	0,374	0,503	0,211	0,585	0,718	1,167
<b>Ecart-type</b>	0,102	0,088	0,123	0,153	0,213	0,066	0,197	0,240	0,591
<b>Max</b>	0,411	0,405	0,553	0,616	0,846	0,323	0,855	0,955	2,181
<b>Min</b>	0,053	0,134	0,119	0,203	0,215	0,132	0,265	0,284	0,411

#### V.3.1 Effet des variations des basses températures sur les teneurs en protéine.

**Tab.5.17.** Taux de variation thermique des protéines en fonction des basses températures dans les différents organes des semis du chêne vert par rapport au témoin.

	25°C±2°C	2°C	-2°C	-6°C	-10°C
<b>V1</b>	/	31%	64%	126%	202%
<b>V2</b>	/	28%	31%	68%	146%
<b>T</b>	/	125%	147%	231%	334%
<b>R</b>	/	100%	125%	199%	260%



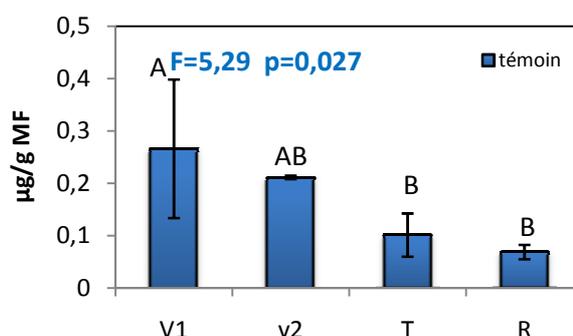
**Fig.5.33.** Taux d'accumulation des protéines selon les différents niveaux de stress thermique par le froid. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

L'exposition des jeunes plants de chêne vert à des différents niveaux thermique a induit en générale une augmentation importante de la teneur en protéines dans les organes (Fig.5.33), au fur et à mesure que la température diminue, l'accumulation des protéines augmente. L'analyse de la variance à un critère de classification signale une différence très hautement significative en fonction des basses températures ( $p < 0.001$ ) (ANNEXE V-I).

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% relève l'existence de 04 groupes homogènes, le groupe (A) comprend la température  $-10^{\circ}\text{C}$  avec la moyenne la plus élevée  $0,341\mu\text{mol/g MF}$ , alors que le groupe (D) correspond à la température du témoin avec la plus faible moyenne  $0,110\text{ mg/g MF}$ .

L'effet des basses températures sur l'accumulation des protéines dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert montre que celle-ci est toujours plus importante au niveau des feuilles.

- **Témoin ( $25^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ )**



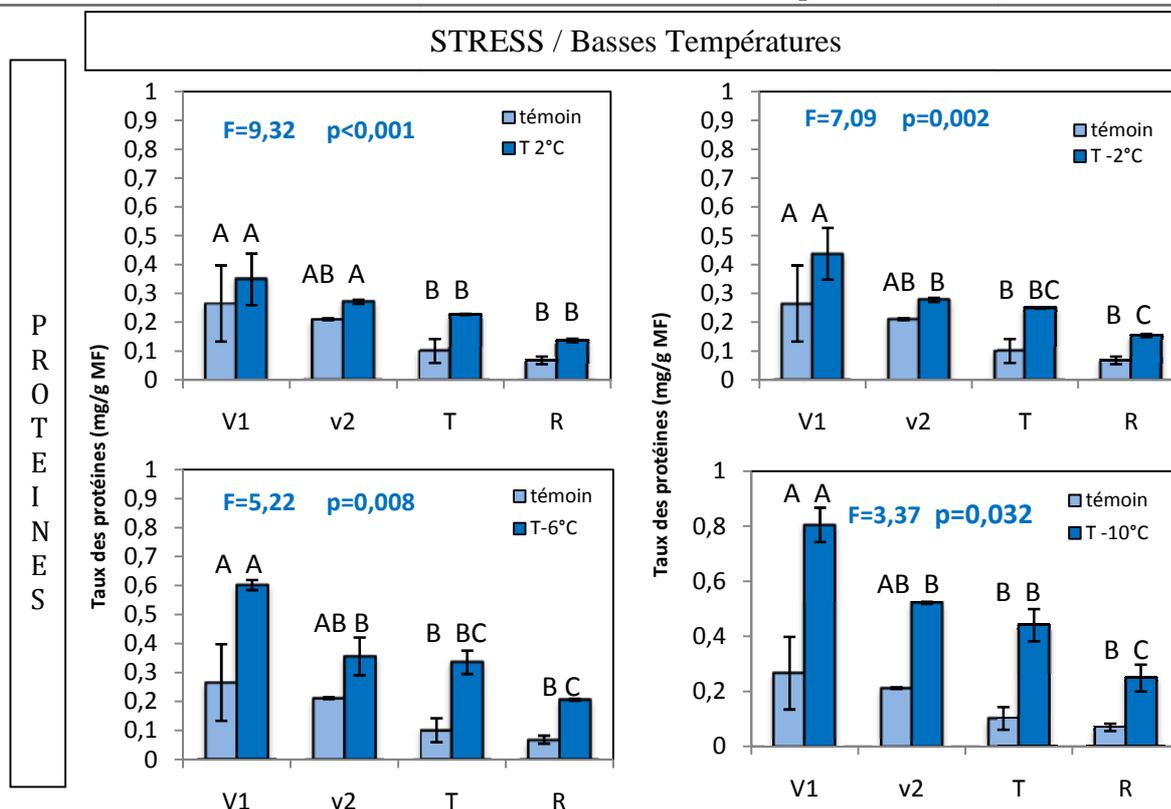
**Fig.5.34.** Taux d'accumulation des protéines dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert à la température du témoin  $\pm S$ . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

Les valeurs moyennes des protéines dans les différents organes des jeunes plants du témoin sont illustrées par la figure 5.34. Les feuilles de la première vague de croissance signalent la valeur la plus élevée ( $0,266\pm 0,132$ )  $\text{mg/g MF}$  en accusant une augmentation de 31,42%. Alors que la valeur la plus faible est enregistrée au niveau des racines. L'analyse de la variance à un critère signale une différence significative entre les organes ( $p=0.027$ ) (ANNEXE V-I).

La comparaison des moyennes par le test de Newman et Keuls au seuil de 5% fait sortir 03 groupes homogènes, le premier correspond aux anciennes vagues, alors que le dernier groupe (B) rassemble les tiges et les racines (ANNEXE V-III).

- **Températures froides**

Les taux de protéines obtenus à une exposition des jeunes plants de chêne vert à une gamme de basses températures variée de  $2^{\circ}\text{C}$  et  $-10^{\circ}\text{C}$  sont résumés sur la figure 5.33. La température  $-10^{\circ}\text{C}$  indique la plus forte accumulation pour tous les organes.



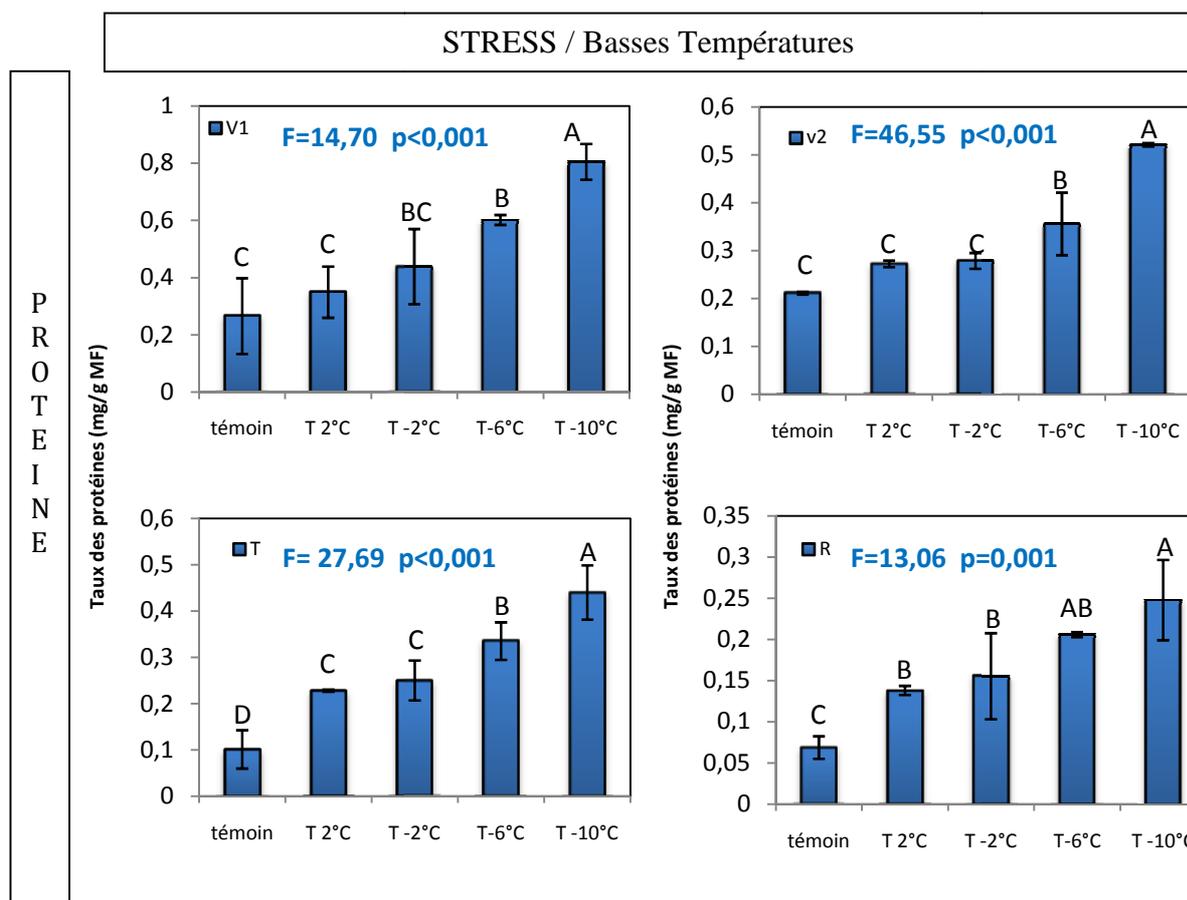
**Fig.5.35.** Taux d'accumulation es protéines dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert à des différentes basses températures par rapport au témoin  $\pm$  S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

Le taux le plus élevé est enregistré au niveau de la V<sub>1</sub> à la température -10° C en accusant un taux de grandeur de l'ordre de 202% par rapport au témoin par contre la plus faible moyenne est enregistrées au niveau des racines à la température 2°C avec une moyenne de 0.138 mg/g MF et une augmentation de 100% .

L'analyse de la variance à un critère de classification montre qu'il existe des différences très hautement significatives en fonction des organes pour la température 2°C (p<0,001), hautement significatives pour les températures -2°C et -6°C (p=0,002 et p=0,008 respectivement) alors que la température -10°C représente des différences significatives (p=0,032) (ANNEXE V-I).

Le test de Newman et Keuls fait ressortir 02 groupes homogènes pour la température 2°C, quatre groupes homogènes pour les températures -2°C et -6°C ou le premier groupe (A) comprend les racines avec une moyenne de (2,143  $\mu$ mol/g MS pour la température -2°C et 1,945  $\mu$ mol/g MS pour la température 2°C), le dernier groupe B constitué par les autres organes (tige, première et deuxième vague de croissance), et enfin, 03 groupes homogènes pour la température -10°C (ANNEXE V-III).

- **Les organes**



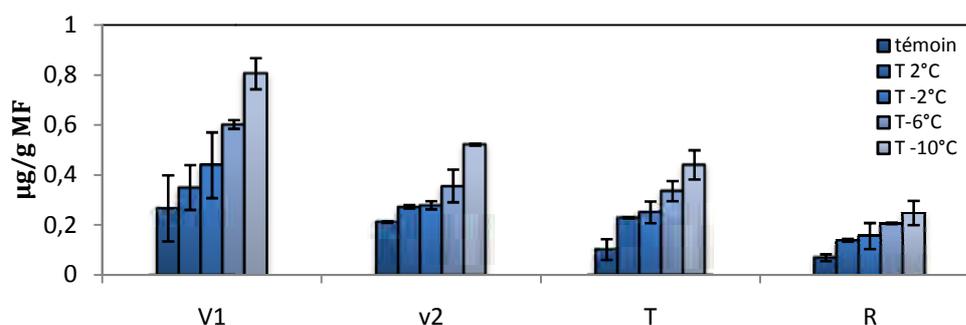
**Fig.5.36.** Taux d'accumulation des protéines dans les différents organes des semis de chêne vert selon l'intensité du stress  $\pm$  S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

L'accumulation des protéines dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert montre une augmentation progressive selon l'intensité du stress thermique appliqué (Fig.5.36), par rapport aux plants témoins, la quantité protéique a augmenté de manière très hautement significative entre les 04 basses températures dans chaque organe (ANNEXE V-I). A partir de la température 2°C, une forte augmentation significative de (31% à 65%, 126% et 202% pour les feuilles de la première vague de croissance, 29%, 32%, 68% et 146% pour les feuilles de la deuxième vague de croissance, 125% à 145%, 231% et 334% pour les tiges, 100%, 125%, 199% et 260% pour les racines) respectivement pour les températures 2°C, -2°C, -6°C et -10°C.

La comparaison des moyennes des taux protéiques relatifs aux 04 traitements au seuil de 5% montre l'existence de plusieurs groupes homogènes. Concernant les feuilles de la première vague de croissance, 04 groupes ont été enregistrés où le premier (A) appartient à la température -10°C, le deuxième groupe (B) comprend la température -6°C, la température -2°C présente un chevauchement entre les groupes (B) et (C) alors qu'on enregistre pas de différence entre la température 2°C et celle du témoin. Dans les feuilles de la deuxième vague de croissance, il n'y a pas de différence entre le témoin et les températures 2°C et -2°C, une augmentation à partir de la

température -6°C a été toutefois à été toutefois observée. . Pour les tiges et les racines, on enregistre une augmentation de plus que la température diminue, on ne signale pas une différence entre les températures 2°C et -2°C alors que la température -10°C occupe le premier groupe (A) (ANNEXE V-III).

- **Taux d'accumulation des protéines selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des basses températures**



**Fig. 5.37.** La variation de la l'accumulation en protéines selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des basses températures ±S.

Les résultats des teneurs en protéines selon les différents organes de jeunes plants de chêne vert soumis à des différentes basses températures (Fig.5.37) montrent une nette augmentation par rapport au témoin selon l'organe et le degré thermique.

Ces variations sont confirmées par l'analyse de la variance à deux critères de classification qui montre des différences très hautement significatives en fonction des températures ( $p < 0,001$ ) et en fonction des organes ( $p < 0,001$ ) (ANNEXE V-II).

On enregistre les valeurs les plus élevées au niveau des  $V_1$  par rapport aux autres organes et à -10°C par rapport aux autres basses températures.

Le test de Newman et Keuls (Tab.5.18) fait ressortir 04 groupes homogènes dont les feuilles de la première vague de croissance occupent le premier groupe (A) par la moyenne la plus élevée de 0,334 mg /g MF, le dernier groupe (D) comprend les racines avec la moyenne de 0,111 mg /g MF.

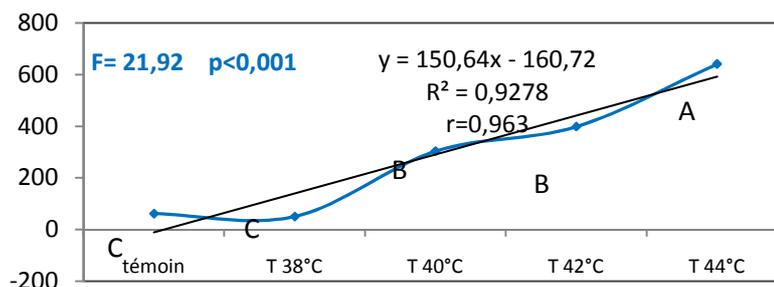
**Tab.5.18.** Groupes homogènes des teneurs en protéines dans les différents organes soumis à des basses températures

Organes	Moyenne (mg/g MF)	Groupes			
V <sub>1</sub>	0,334	A			
V <sub>2</sub>	0,222		B		
T	0,184			C	
R	0,111				D

**V.3.2 Effet des variations des hautes températures sur les teneurs en protéines.**

**Tab.5.19.** Taux de variation thermique des protéines en fonction des températures chaudes dans les différents organes des jeunes plants du chêne vert par rapport au témoin.

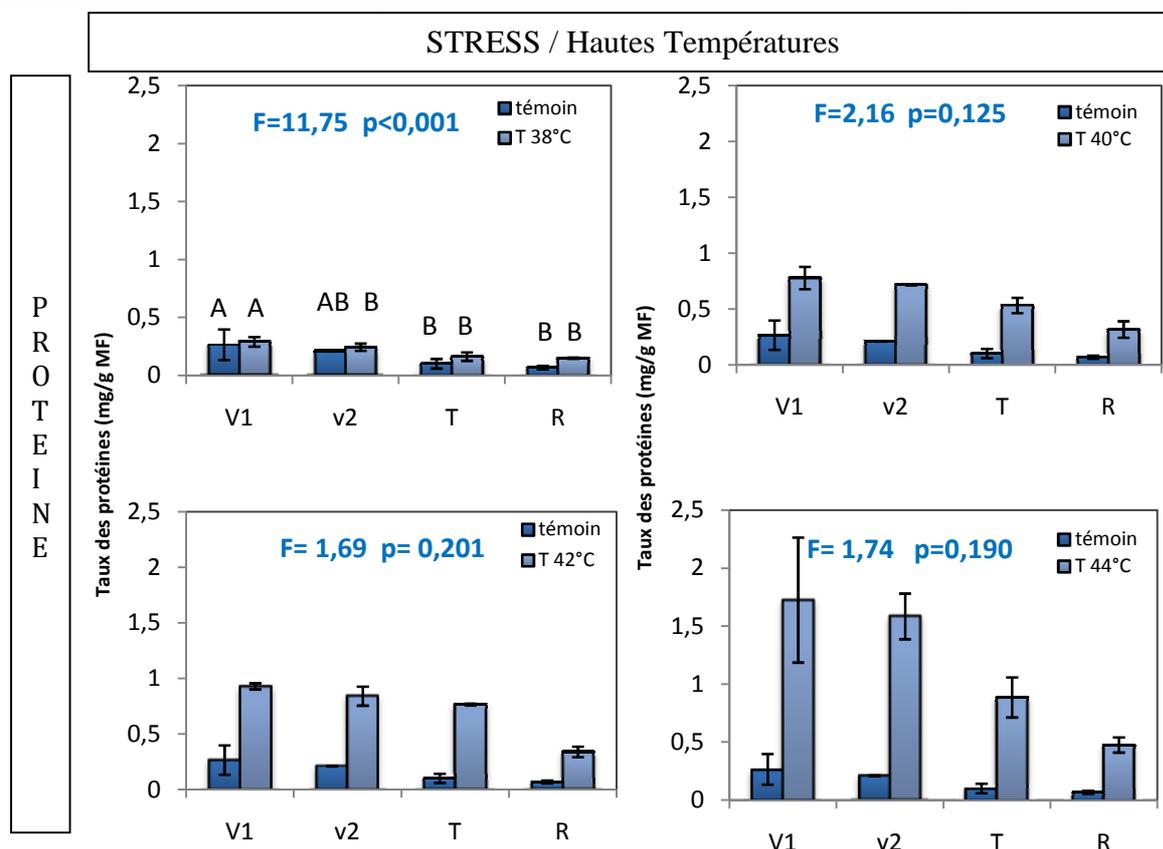
	25°C±2°C	38°C	40°C	42°C	44°C
<b>V<sub>1</sub></b>	/	8%	192%	249%	548%
<b>V<sub>2</sub></b>	/	15%	238%	297%	649%
<b>T</b>	/	60%	424%	655%	774%
<b>R</b>	/	117%	360%	392%	591%



**Fig.5.38.** Taux d'accumulation des protéines selon les différents niveaux de stress thermique par la chaleur. . Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

Les différents stress appliqués ont des effets sur l'accumulation des protéines. Les jeunes plants de chêne vert présentent une accumulation significativement supérieure à celle dans les conditions standards après l'application de stress (Fig.5.38). Il est intéressant de noter que cette accumulation de protéines la plus élevée se retrouve pour toutes les conditions de stress appliquées.

- **Température chaudes**



**Fig.5.39.** Taux d'accumulation en protéines dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert à des différentes hautes températures par rapport au témoin  $\pm$  S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

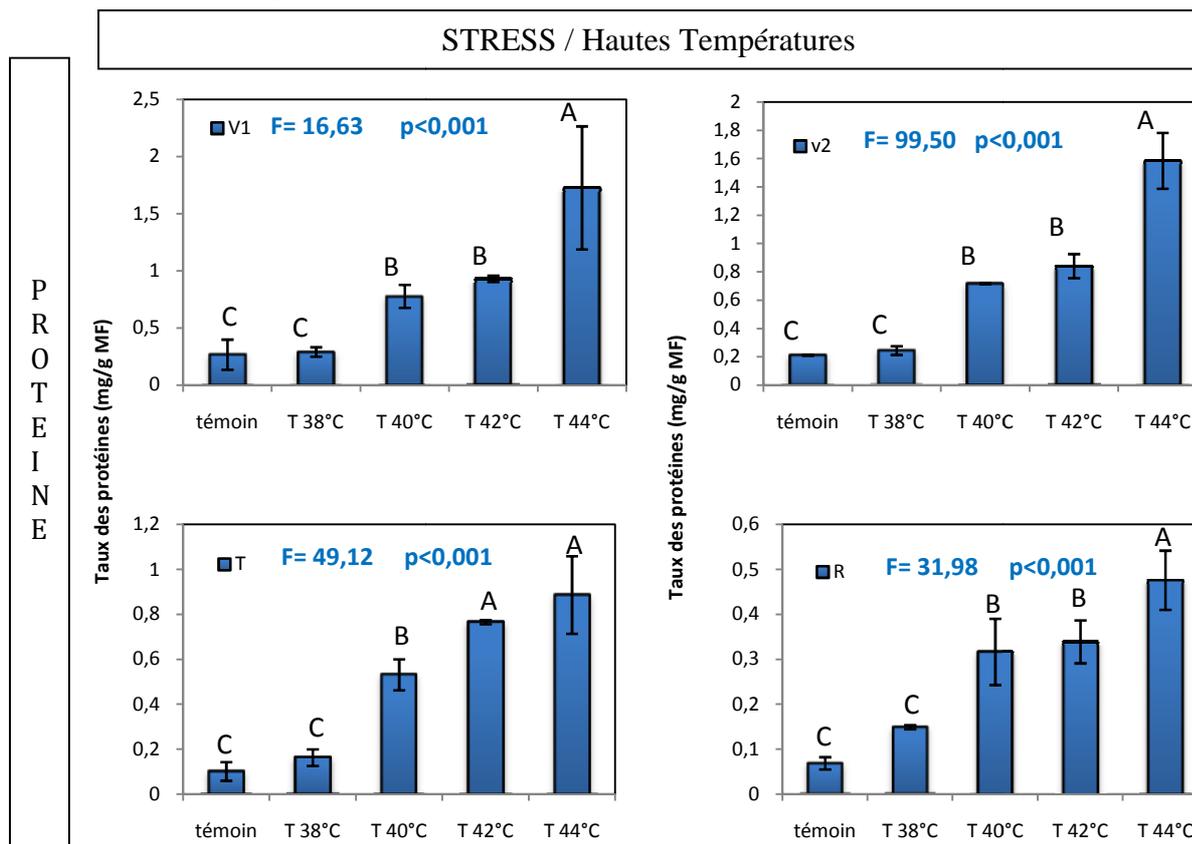
Les taux de protéines obtenus à une exposition des jeunes plants de chêne vert à une gamme de hautes températures comprises entre 38°C et 44°C sont résumés sur la figure 5.39. La température 44°C est la condition la plus froide et la plus stressante car une augmentation bien marquée est enregistrée dans les différents organes par rapport aux autres hautes températures, la température 40°C représente la limite thermique.

Le taux le plus élevé est enregistré au niveau des feuilles à la température 44°C en accusant un taux de grandeur de l'ordre de 548% pour les anciennes vagues et 649% pour les jeunes vagues par rapport au témoin par contre la plus faible moyenne est enregistrées au niveau des racines à la température 38°C avec une moyenne de 0,149 mg/g MF et un taux élevé de 117% par rapport au témoin.

L'analyse de la variance à un critère de classification montre qu'il existe des différences très hautement significatives en fonction des organes pour la température 38°C alors que les températures 40°C, 42°C et 44°C représentent des différences non significatives (ANNEXE V-I).

Le test de Newman et Keuls fait ressortir 02 groupes homogènes pour la température 38°C ou le premier (A) comprend les feuilles, le dernier groupe (B) constitué par les tiges et les racines (ANNEXE V-III).

• Les organes



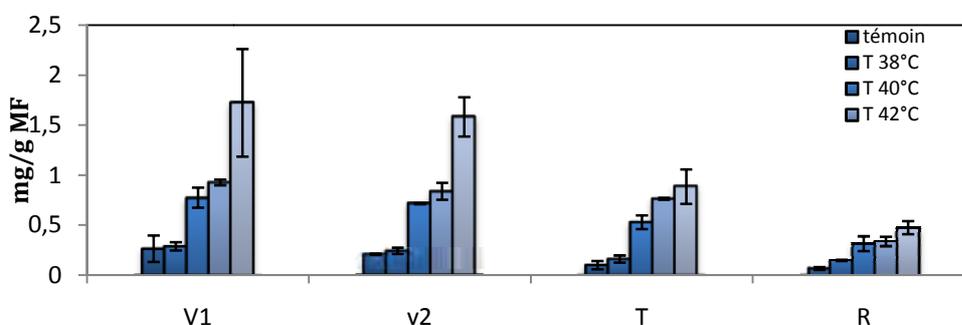
**Fig.5.40.** Taux d'accumulation des protéines dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert en fonction des hautes températures  $\pm$ S. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

La variation de l'accumulation des protéines dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis aux hautes températures montre une augmentation continue d'importance variable selon l'intensité du stress thermique appliqué (Fig.5.40). Les protéines ont augmenté de manière très hautement significative pour les 04 hautes températures du traitement dans chaque organe (ANNEXE V-I). A partir de la température 38°C, une forte augmentation significative de (192% , 249% et 548% pour les feuilles de la première vague de croissance, 238%, 297% et 649% pour les feuilles de la deuxième vague de croissance, 424%, 655% et 774% pour les tiges et 360%, 392 et 591% pour les racines).

La comparaison des moyennes des taux des protéines relatives aux 04 traitements au seuil de 5% montre l'existence de 03 groupes homogènes pour les feuilles de la première et la deuxième vague de croissance, ou le premier groupe (A) comprend la températures -10°C avec une moyenne de (1,169 mg/g MF pour V<sub>1</sub> et 1,074 mg/g MF pour V<sub>2</sub>) alors que le dernier groupe rassemble la température 38°C et le témoin. Concernant les tiges, le premier group (A) rassemble les températures 42°C et 44°C alors que le dernier groupe appartient à la température 38°C et au

témoin, et enfin pour les racines, 3 groupes homogènes dont la température -10°C constitue le premier groupe, les températures 42°C et 44°C appartiennent au deuxième groupe (B) et la température 38°C avec le témoin constitue le dernier groupe(ANNEXE V-III)

- **Taux d'accumulation des protéines selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des basses températures**



**Fig.5.41.** La variation de l'accumulation en protéines selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des hautes températures  $\pm$ S.

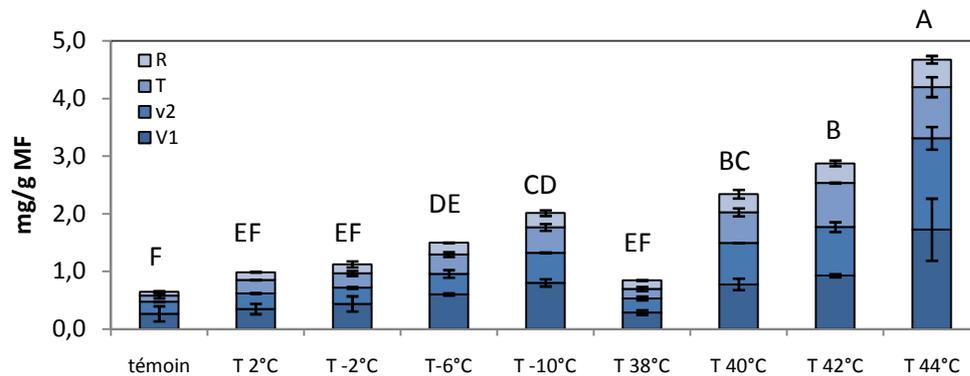
Les résultats des teneurs en protéines dans les organes enregistrés à une exposition des jeunes plants de chêne vert à une gamme de hautes températures variés de 38°C et 44°C sont illustrés dans la figure 5.41. Le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification montre une différence très hautement significative entre les organes et en fonction des mois ( $p < 0.001$ ) (ANNEXE V-II).

De ce fait les teneurs les plus élevées sont affichées à la température 44°C par rapport au témoin. En fonction des organes, les anciennes et les jeunes feuilles présentent les teneurs les plus élevées (0,540 et 0,488 mg/g MF) respectivement, alors que les plus faibles sont enregistrées au niveau des racines en signalant une moyenne de 0,183 mg/g MF.

**Tab.5.20.** Groupes homogènes du taux des protéines selon les différents organes des jeunes plants de chêne vert soumis à des hautes températures (Test de Newman et keuls).

Organes	Moyenne (mg/g MF)	Groupes		
V1	0,540	A		
V2	0,488	A		
T	0,332		B	
R	0,183			C

**V.3.3 Cumul du taux des protéines chez la plante entière en fonction des fluctuations thermiques.**



**Fig.5.42.** Cumul du taux des protéines chez la plante entière en fonction des basses et des hautes températures  $\pm S$ .

La figure 5.43 montre la répartition des teneurs en protéines dans les différents organes des jeunes plants de chêne vert où la température 44°C donne une accumulation en protéines quatre fois plus élevée que celle du témoin.

En fonction des organes :

$$[V_1] > [V_2] > [T] > [R]$$

En fonction des températures :

$$[44^\circ\text{C}] > [42^\circ\text{C}] > [40^\circ\text{C}] > [-10^\circ\text{C}] > [-6^\circ\text{C}] > [-2^\circ\text{C}] > [2^\circ\text{C}] > [38^\circ\text{C}]$$

#### V.4. EFFET DE LA CONTRAINTE THERMIQUE SUR LES TENEURS EN CHLOROPHYLLE.

La chlorophylle est très instable et se décompose facilement sous l'effet de la lumière et d'autres facteurs environnementaux comme la température. Nous avons remarqué que les variations thermiques ont induit une dégradation importante de la chlorophylle au niveau des feuilles de la première et la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert, les résultats sont représentés par leurs paramètres statistiques dans le tableau 5.21.

**Tab.5.21.** Paramètres statistiques des teneurs en chlorophylle pour les basses et les hautes températures.

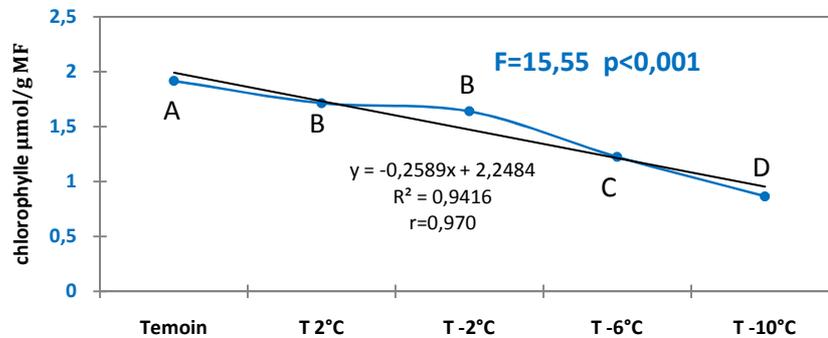
	variable	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
Chlorophylle a	Témoin	6	2,275	0,225	2,056	2,487
	2°C	6	1,993	0,230	1,759	2,261
	-2°C	6	1,841	0,288	1,549	2,140
	-6°C	6	1,400	0,400	0,992	1,770
	-10°C	6	0,967	0,480	0,517	1,415
	38°C	6	2,082	0,079	1,964	2,190
	40°C	6	2,062	0,199	1,877	2,300
	42°C	6	1,996	0,274	1,709	2,276
	44°C	6	1,262	0,248	0,980	1,527
Chlorophylle b	Témoin	6	1,556	0,161	1,385	1,703
	2°C	6	1,433	0,058	1,349	1,527
	-2°C	6	1,435	0,080	1,325	1,516
	-6°C	6	1,049	0,181	0,869	1,227
	-10°C	6	0,764	0,409	0,361	1,171
	38°C	6	1,200	0,132	1,040	1,368
	40°C	6	0,953	0,170	0,786	1,133
	42°C	6	1,094	0,212	0,853	1,295
	44°C	6	0,860	0,336	0,497	1,180
Chlorophylle a+b	Témoin	6	3,831	0,386	3,475	4,191
	2°C	6	3,427	0,188	3,247	3,675
	-2°C	6	3,277	0,211	3,044	3,495
	-6°C	6	2,449	0,582	1,875	2,997
	-10°C	6	1,731	0,888	0,879	2,557
	38°C	6	3,282	0,184	3,085	3,481
	40°C	6	3,016	0,363	2,681	3,393
	42°C	6	3,090	0,483	2,616	3,544
	44°C	6	2,122	0,581	1,542	2,706
Chlorophylle a/b	Témoin	6	1,462	0,022	1,443	1,508
	2°C	6	1,396	0,206	1,152	1,613
	-2°C	6	1,295	0,273	1,036	1,615
	-6°C	6	1,312	0,157	1,123	1,471
	-10°C	6	1,295	0,084	1,182	1,432
	38°C	6	1,748	0,170	1,545	1,965
	40°C	6	2,192	0,205	1,898	2,414
	42°C	6	1,586	0,184	1,348	1,793
	44°C	6	1,579	0,361	1,235	2,098

• Effet des variations thermiques sur les teneurs en chlorophylle

**Tab.5.22.** Taux de variation de la chlorophylle a, b, a+b et le rapport chlorophyllien a/b en fonction des différentes basses et hautes températures par rapport au témoin.

Organes	25°C±2°C	Basses températures				Hautes températures			
		2°C	-2°C	-6°C	-10°C	38°C	40°C	42°C	44°C
Chl a V <sub>1</sub>	/	-11,297	-15,214	-28,866	-43,352	-13,553	-9,748	-9,484	-40,109
Chl a V <sub>2</sub>	/	-13,681	-23,646	-49,977	-74,429	-2,419	-8,830	-15,603	-49,815
Chl b V <sub>1</sub>	/	-18,205	-19,833	-28,670	-33,243	-23,426	-34,989	-24,496	-31,553
Chl b V <sub>2</sub>	/	4,656	6,886	-37,316	-72,225	-22,112	-43,257	-35,913	-60,618
Chl a+b V <sub>1</sub>	/	-14,109	-17,094	-28,786	-39,237	-17,572	-20,021	-15,594	-36,627
Chl a+b V <sub>2</sub>	/	-6,252	-11,276	-44,848	-73,536	-10,397	-22,778	-23,831	-54,192
Chl a/b V <sub>1</sub>	/	8,482	5,835	-0,267	-15,082	13,317	39,039	19,904	-12,483
Chl a/b V <sub>2</sub>	/	-17,469	-28,585	-20,230	-7,747	25,686	60,680	-2,833	28,234

**V.4.1. Effet des variations des basses températures sur les teneurs en chlorophylle.**

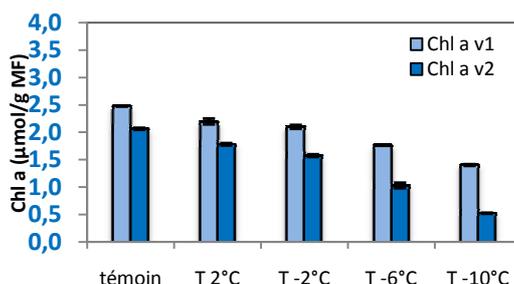


**Fig.5.43.** Taux de diminution du taux de la chlorophylle selon les différents niveaux de stress thermique par le froid. Les résultats de l'ANOVA (valeur de F et de p) et du test de Newman et Keuls.

L'exposition des jeunes plants de chêne vert aux basses températures a induit en générale une nette diminution du taux de la chlorophylle dans les feuilles de la première et la deuxième vague de croissance comme nous montre la figure 5.43. L'analyse de la variance à un critère de classification signale une différence très hautement significative en fonction des basses températures (ANNEXE VI-II).

Le test de Newman et Keuls fait ressorti quatre groupes homogènes, le premier groupe (A) correspond à la température du témoin avec la plus forte moyenne 1,916 µg/g MF et le dernier groupe (D) correspond aux moyennes les plus faibles représentées par la température -10°C.

• Chlorophylle a



**Fig.5.44.** Teneurs en chlorophylle a dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert en fonction des basses températures ±S.

Les teneurs en chlorophylle a au niveau de la V<sub>1</sub> et la V<sub>2</sub> comme nous montre la figure 5.44, varient considérablement en fonction des basses températures et en fonction des organes. La diminution est de l'ordre de -43% à la température -10°C pour les feuilles de la première vague de croissance et de l'ordre de -74% à la température -10°C pour les feuilles de la deuxième vague de croissance. En fonction des organes on enregistre les taux les plus élevés au niveau des anciennes vagues par rapport aux jeunes vagues.

Ces résultats sont confirmés par l'analyse de la variance a deux critères de classification en fonction des basses températures (p<0,001) et en fonction des organes (p<0,001) (ANNEXE IV-I).

Le test de Newman et Keuls donne 05 groupes homogènes en fonction des températures (Tab. 5.23) ou le premier groupe (A) correspond à la température du témoin avec une moyenne de 2,275 µg/g MF, le dernier groupe (E) correspond à la température -10°C avec une moyenne de 0,967 µg/g MF. En fonction des organes, on enregistre deux groupes homogènes (Tab. 5.24) ou les feuilles de la première vague de croissance appartiennent au premier groupe avec la moyenne de 1,991 µg/g MF et les feuilles de la deuxième vague appartiennent au deuxième groupe avec une moyenne de 1,400 µg/g MF.

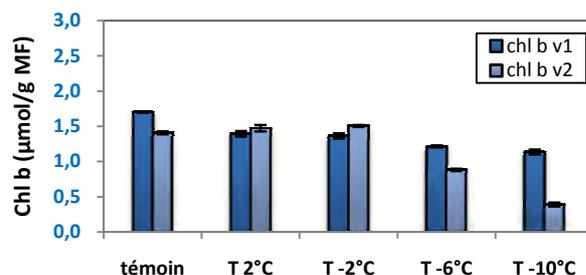
**Tab.5.23.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a de la V<sub>1</sub> et la V<sub>2</sub> en fonction des basses températures.

Températures	Moyenne (µg/g MF)	Groupes			
25°C±2°C	2,275	A			
2°C	1,993		B		
-2°C	1,842			C	
-6°C	1,400				D
-10°C	0,967				E

**Tab.5.24.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a de la V<sub>1</sub> et la V<sub>2</sub> en fonction des organes.

Organes	Moyenne (µg/g MF)	Groupes	
V <sub>1</sub>	1,991	A	
V <sub>2</sub>	1,400		B

- Chlorophylle b



**Fig.5.45.** Teneurs en chlorophylle b dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert en fonction des basses températures  $\pm S$ .

Pour la chlorophylle b, la figure 5.45 montre des variations importantes entre les organes et entre les basses températures, ceci est confirmé par l'analyse de la variance à deux critères de classification qui signale des différences très hautement significatives entre des températures et entre les organes (ANNEXE VI-I).

La comparaison des moyennes par le biais du test de Newman et Keuls en fonction des températures fait ressortir 03 groupes homogènes ou le premier groupe (A) rassemble les températures 2°C, -2°C et le témoin, le deuxième groupe (B) correspond à la température -6°C alors que le dernier groupe (C) comprend la température -10°C avec la moyenne la plus faible de 0,764 µg/g MF. En fonction des organes, deux groupes sont enregistrés, le premier (A) comprend les feuilles de la première vague de croissance avec une moyenne de 1,363 µg/g MF alors que le deuxième groupe (B) correspond aux feuilles de la deuxième vague de croissance avec une moyenne de 1,133 µg/g MF (Tab.5.26).

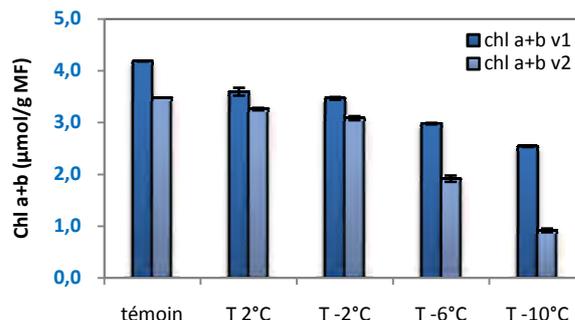
**Tab.5.25.** Tableau des groupes homogènes donnés par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle b de la V<sub>1</sub> et la V<sub>2</sub> en fonction des basses températures.

Températures	Moyenne	Groupes		
25°C±2°C	1,556	A		
-2°C	1,436	A		
2°C	1,434	A		
-6°C	1,049		B	
-10°C	0,764			C

**Tab.5.26.** Tableau des groupes homogènes donnés par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle b de la V<sub>1</sub> et la V<sub>2</sub> en fonction des organes.

Organes	Moyenne	Groupes	
V <sub>1</sub>	1,363	A	
V <sub>2</sub>	1,133		B

• Chlorophylle a+b



**Fig.5.46.** teneurs en chlorophylle totale a+b dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert en fonction des basses températures ±S.

Les valeurs moyennes de la chlorophylle totale des jeunes plants de chêne vert montre selon l'analyse de la variance à deux critères de classification des différences très hautement significatives entre les différentes basses températures ( $p < 0.001$ ) pour les deux vagues de croissance et entre organes selon les différentes basses températures ( $p < 0.001$ ) (ANNEXE VI-I), ces valeurs sont les plus élevées à la température 2°C en accusant un taux de diminution de -14% pour les anciennes vagues et de -6% pour les jeunes vagues par rapport au témoin.

Le test de Newman et Keuls révèle l'existence de quatre groupes homogènes pour les deux vagues de croissance, le premier correspond à la température du témoin avec la moyenne la plus élevée 3,831 µg/g MF, le dernier correspond à la température -10°C avec la moyenne la plus faible 1,731 µg/g MF (Tab.5.27).

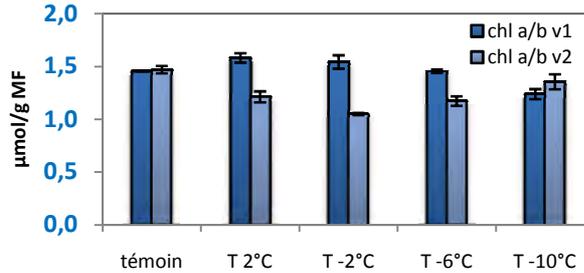
**Tab.5.27.**Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a+b de la V<sub>1</sub> et la V<sub>2</sub> en fonction des basses températures.

Températures	Moyenne (µg/g MF)	Groupes			
25°C±2°C	3,831	A			
2°C	3,427		B		
-2°C	3,278		B		
-6°C	2,449			C	
-10°C	1,731				D

**Tab.5.28.**Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a+b de la V<sub>1</sub> et la V<sub>2</sub> en fonction des organes.

Organes	Moyenne (µg/g MF)	Groupes	
V <sub>1</sub>	3,354	A	
V <sub>2</sub>	2,533		B

• **Le rapport chlorophyllien a/b**



**Fig.5.47.** Teneurs en chlorophylle a/b dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert en fonction des basses températures  $\pm$  S.

L'analyse du rapport de la chlorophylle a/b est illustrée dans la figure 5.47. Les rapports de la chlorophylle a/b des feuilles de la première et la deuxième vague de croissance montrent une variation très hautement significative entre les différents basses températures ( $p < 0.001$ ) et entre organes ( $p < 0.001$ ) (ANNEXE VI-I). Au niveau des anciennes vagues, la plus forte moyenne est enregistrée à la température 2°C en accusant un taux d'augmentation de 08% alors que la teneur la plus faible est enregistrée à la température -10°C avec un taux de diminution de 15% par rapport au témoin.

Concernant les jeunes vagues, la valeur les plus élevée est enregistrée à la température -2°C et la plus faible valeur à -6°C.

**Tab.5.29.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a/b de la V<sub>1</sub> et la V<sub>2</sub> en fonction des basses températures.

Températures	Moyenne (µg/g MF)	Groupes
25°C±2°C	1,463	A
2°C	1,396	A
-6°C	1,312	A
-10°C	1,296	A
-2°C	1,295	A

**Tab.5.30.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a/b de la V<sub>1</sub> et la V<sub>2</sub> en fonction des organes.

Organes	Moyenne (µg/g MF)	Groupes	
V <sub>1</sub>	1,454	A	
V <sub>2</sub>	1,251		B

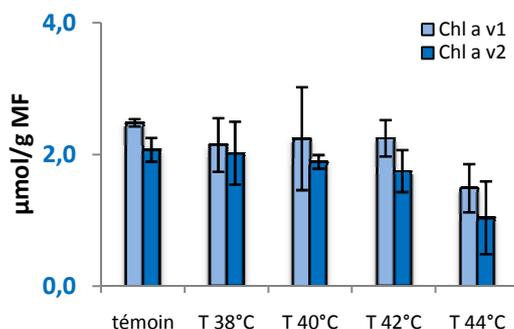
➤ **Conclusion**

La comparaison de l'effet de différents niveaux de basses températures sur les taux de chlorophylles a et b dans les feuilles des jeunes plants de chêne vert indique que la quantité de chlorophylle a est supérieure à celle de la chlorophylle b. Sa plus grande quantité est rencontrée dans les feuilles du témoin, alors qu'elle diminue de plus que la température diminue.

### V.4.2. Effet des variations des hautes températures sur les teneurs en chlorophylle.

L'exposition des jeunes plants de chêne vert à des différents degrés de hautes températures a induit une diminution de la chlorophylle a et b dans les feuilles de la première et la deuxième vague de croissance, les résultats sont représentés par leurs éléments statistiques dans le tableau 5.31.

- La chlorophylle a



**Fig.5.48.** Teneurs de la chlorophylle a dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert en fonction des hautes températures ± S.

La fig.5.48 et le tableau 5.22 montrent qu'une importante élévation de la température (44°C) entraîne une baisse de 49% de la teneur moyenne en chlorophylle a des feuilles chez de chêne vert. L'analyse de l'AV<sub>2</sub> montre des différences hautement significatives en fonction des températures et des organes (ANNEXE VI-I).

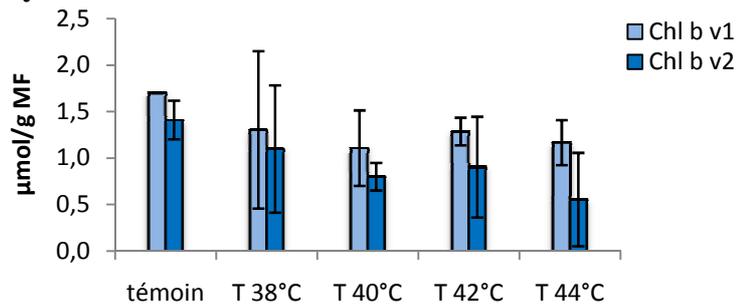
**Tab.5.31.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a de la V<sub>1</sub> et la V<sub>2</sub> en fonction des hautes températures.

Températures	Moyenne (μg/g MF)	Groupes		
25°C±2°C	2,275	A		
38°C	2,082		B	
40°C	2,063		B	
42°C	1,996		B	
44°C	1,262			C

**Tab.5.32.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a de la V<sub>1</sub> et la V<sub>2</sub> en fonction des organes.

Organes	Moyenne (μg/g MF)	Groupes	
V <sub>1</sub>	2,119	A	
V <sub>2</sub>	1,752		B

• **La chlorophylle b**



**Fig.5.49.** Teneurs de la chlorophylle b dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert en fonction des hautes températures  $\pm S$ .

Comme nous montre la figure 5.49, le taux de la chlorophylle b varie considérablement en fonction des différentes hautes températures, il tend vers une diminution vis-à-vis que la température augmente, ces résultats sont confirmés par l'analyse de la variance à deux critères qui montre une différence très hautement significative pour les températures et pour les deux vagues (ANNEXE VI-I).

La comparaison des moyennes par le biais du test de Newman et Keuls montre l'existence de 3 groupes homogènes pour la première vague de croissance (Tab.5.33) et 05 groupes homogène pour la deuxième vague de croissance (Tab. 5.34).

**Tab.5.33.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle b de la V<sub>1</sub> et la V<sub>2</sub> en fonction des hautes températures.

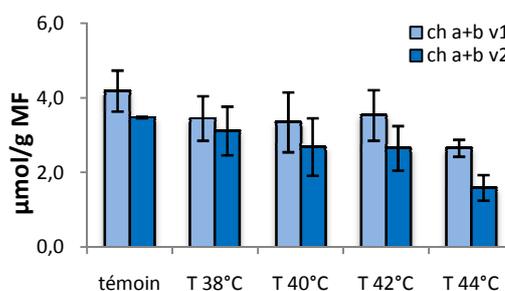
Chlorophylle b/ 1 <sup>ère</sup> et 2 <sup>ème</sup> vague de croissance				
Températures	Moyenne	Groupes		
Témoin	1,556	A		
38°C	1,201		B	
42°C	1,095			C
40°C	0,953			D
44°C	0,860			D

**Tab.5.34.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle b de la V<sub>1</sub> et la V<sub>2</sub> en fonction des organes.

Hautes températures		
Organes	Moyenne	Groupes
V <sub>1</sub>	1,313	A
V <sub>2</sub>	0,953	B

• **La chlorophylle a+b**

Pour la chlorophylle totale a+b, ces teneurs dans les feuilles de la première et la deuxième vague de croissance présentent des variations importantes en fonction des températures chaudes, les résultats sont exprimés dans le tableau 5.22.



**Fig.5.50.** Teneurs de la chlorophylle a+b dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert en fonction des hautes températures ±S.

La chlorophylle totale comme nous montre la figure 5.50 diminue avec l'élévation de la température, elle est réduite jusqu'au 54% à 44°C.

Ces variations sont confirmées par l'analyse de la variance à un deux critères qui montre l'existence des variations très hautement significatives pour les deux vagues de croissance et pour les températures (ANNEXE VI- I). Le test de Newman et Keul fait ressortir 04 groupes homogènes en fonction des températures (Tab.5.35) et 02 groupes homogènes pour les organes (Tab.5.36).

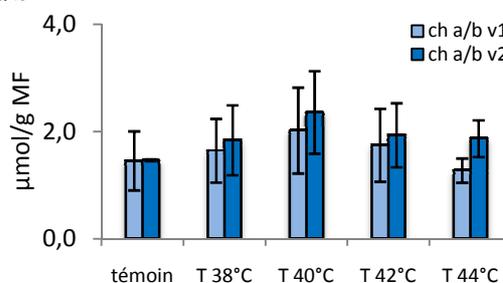
**Tab.5.35.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a+b de la V<sub>1</sub> et la V<sub>2</sub> en fonction des hautes températures.

Températures	Moyenne	Groupes			
25°C±2°C	3,831	A			
38°C	3,283		B		
42°C	3,091			C	
40°C	3,016			C	
44°C	2,123				D

**Tab.5.36.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle b de la V<sub>1</sub> et la V<sub>2</sub> en fonction des organes.

Organes	Moyenne	Groupes	
V <sub>1</sub>	3,433	A	
V <sub>2</sub>	2,705		B

• La chlorophylle a/b



**Fig.5.51.** Teneurs de la chlorophylle a/b dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert en fonction des hautes températures ±S.

Les teneurs du rapport chlorophyllien au niveau des feuilles de la première et la deuxième vague de croissance comme nous montre la figure 5.51 varie considérablement en fonction des hautes températures et en fonction des organes. Elle enregistre une diminution de l'ordre de -12% à la température 44°C pour les feuilles de la première vague de croissance et de l'ordre de 27% à la température 44°C pour les feuilles de la deuxième vague de croissance. En fonction des organes, on enregistre les taux les plus élevés au niveau des jeunes vagues par rapport aux anciennes vagues.

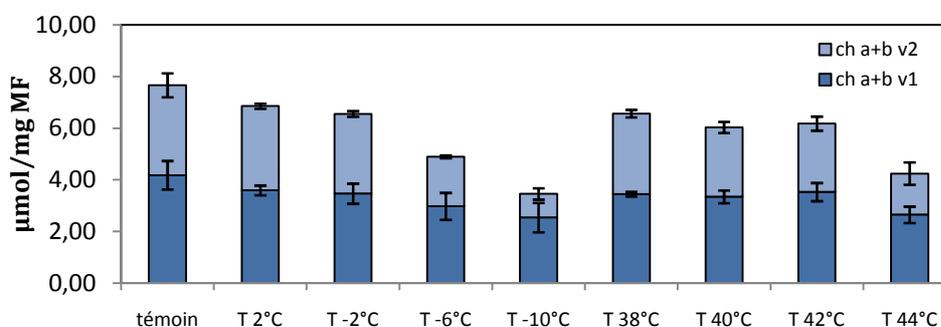
**Tab.5.37.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a/b de la V<sub>1</sub> et la V<sub>2</sub> en fonction des hautes températures.

Températures	Moyenne	Groupes	
40°C	2,193	A	
38°C	1,748		B
42°C	1,587		B
44°C	1,579		B
Témoin	1,463		B

**Tab.5.38.** Tableau des groupes homogènes donné par le test de Newman et Keuls de la chlorophylle a/b de la V<sub>1</sub> et la V<sub>2</sub> en fonction des organes.

Organes	Moyenne	Groupes	
V <sub>2</sub>	1,797	A	
V <sub>1</sub>	1,631		B

#### V.4.3. Le cumul de la chlorophylle totale chez la plante entière en fonction des différents niveaux de hautes et basses températures.



**Fig.5.52.** Variation des teneurs en chlorophylle totale en fonction des organes

La chlorophylle totale présente ses valeurs minimales aux niveaux des hautes ou basses températures dans les deux vagues de croissance des feuilles de chêne vert. C'est aux températures -10°C et 44°C que les teneurs en chlorophylle a+b sont les plus faibles.

On remarque aussi qu'on générale, les teneurs en chlorophylle totale sont plus élevées dans les anciennes vagues que dans les jeunes vagues.

En fonction des températures, la quantité en chlorophylle totale se fait selon l'ordre croissant suivant (Fig.5.52).

$$[2^{\circ}\text{C}] > [-2^{\circ}\text{C}] > [38^{\circ}\text{C}] > [40^{\circ}\text{C}] > [42^{\circ}\text{C}] > [-6^{\circ}\text{C}] > [44^{\circ}\text{C}] > [-10^{\circ}\text{C}]$$

**V.4.4. Effets des variations thermiques saisonnières sur les teneurs en chlorophylle.**

**Tab.5.39.** Paramètres statistiques des teneurs en chlorophylle pour les quatre saisons.

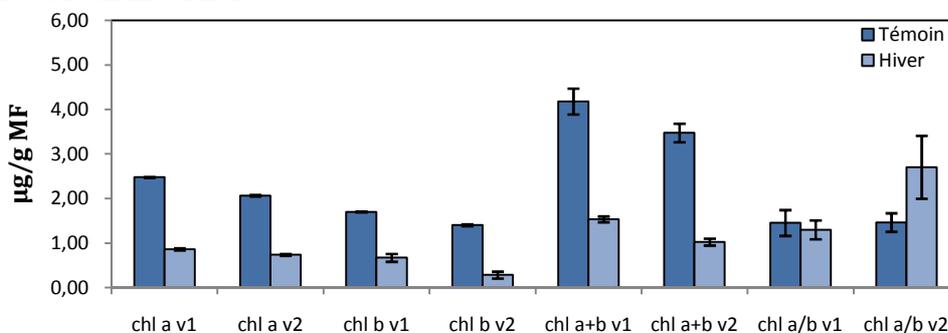
	variable	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
Chlorophylle a	Hiver	8	0,802	0,070	0,723	0,895
	Printemps	8	2,743	0,319	2,299	3,186
	Eté	8	1,026	0,084	0,930	1,129
	automne	8	1,393	0,094	1,296	1,525
Chlorophylle b	Hiver	8	0,481	0,220	0,202	0,748
	Printemps	8	1,973	0,292	1,468	2,417
	Eté	8	0,678	0,112	0,528	0,871
	automne	8	0,606	0,122	0,456	0,778
Chlorophylle a+b	Hiver	8	1,284	0,281	0,926	1,602
	Printemps	8	4,716	0,456	4,089	5,335
	Eté	8	1,704	0,136	1,591	1,973
	automne	8	1,999	0,210	1,752	2,260
Chlorophylle a/b	Hiver	8	2,005	0,893	1,119	3,577
	Printemps	8	1,419	0,311	1,207	2,170
	Eté	8	1,553	0,323	1,265	2,136
	automne	8	2,355	0,326	1,841	2,845

**V.4.4.1. Effet des variations thermiques saisonnières sur les teneurs en chlorophylle**

**Tab.5.40.** Taux de variation de la chlorophylle a, b, a+b et le rapport chlorophyllien a/b en fonction des variations thermiques saisonnières par rapport au témoin.

		Hiver	Printemps	Eté	Automne
Chl a V <sub>1</sub>	/	-65,155	4,069	-55,582	-40,691
Chl a V <sub>2</sub>	/	-64,233	40,326	-54,101	-36,469
Chl b V <sub>1</sub>	/	-60,399	3,036	-59,621	-58,610
Chl b V <sub>2</sub>	/	-79,556	55,506	-52,626	-64,032
Chl a+b V <sub>1</sub>	/	-63,219	3,649	-57,226	-47,985
Chl a+b V <sub>2</sub>	/	-70,441	46,476	-53,503	-47,636
Chl a/b V <sub>1</sub>	/	-10,575	3,494	15,546	44,717
Chl a/b V <sub>2</sub>	/	84,428	-9,349	-3,068	77,237

• **La saison hivernale.**



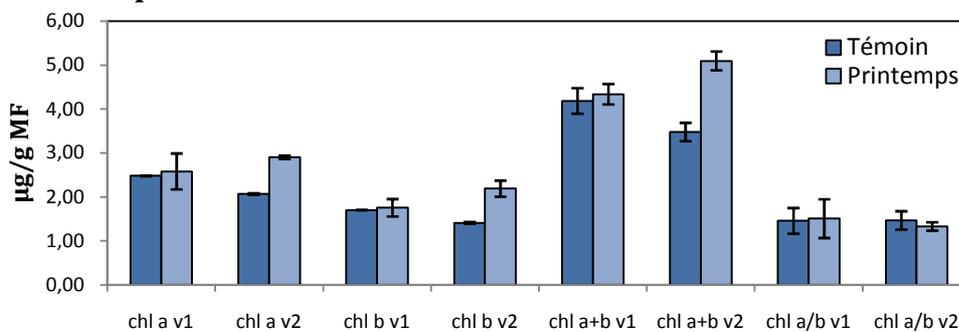
**Fig.5.53.** Teneurs en chlorophylle dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert durant la saison hivernale ±S.

Les résultats obtenus au cours du dosage de la chlorophylle a effectués sur les feuilles des jeunes plants du chêne vert durant la saison hivernale ne signalent pas une différence significative entre les organes ( $p= 0,509$ ) (ANNEXE VI-II). Les résultats indiquent que les teneurs en chlorophylle a sont presque identiques au niveau des feuilles de la première vague de croissance ( $0,864\pm 0,025$ )  $\mu\text{g/g MF}$  et les feuilles de la deuxième vague de croissance ( $0,740\pm 0,019$ )  $\mu\text{g/g MF}$  par rapport au témoin.

Le niveau des teneurs de la chlorophylle b mesurés dans les feuilles des jeunes plants durant la période hivernale sont illustrés par la figure 5.53. La comparaison des moyennes par l'analyse de la variance à un seul critère de classification ne révèle pas des différences significatives ( $p= 0,259$ ). Les plus fortes valeurs sont enregistrées au niveau des feuilles de la première vague de croissance ( $0,674\pm 0,088$ )  $\mu\text{g/g MF}$  avec un taux de diminution de 60% par rapport au témoin. Alors que les plus faibles teneurs sont enregistrés au niveau des feuilles de la deuxième vague de croissance ( $0,288\pm 0,076$ )  $\mu\text{g/g MF}$ .

Le rapport de la chlorophylle a et b chez les jeunes plants du chêne vert ne présente des variations significatives. L'analyse de la variance à un critère de classification n'est pas significative ( $p=0,026$ ). L'accumulation est plus importante au niveau des feuilles de la deuxième vague de croissance en accusant un taux d'augmentation de l'ordre 84% alors que les feuilles de la première vague de croissance avec une diminution de -10% par rapport au témoin.

• **La saison printanière**



**Fig.5.54.** Teneurs en chlorophylle dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert durant la saison printanière  $\pm S$ .

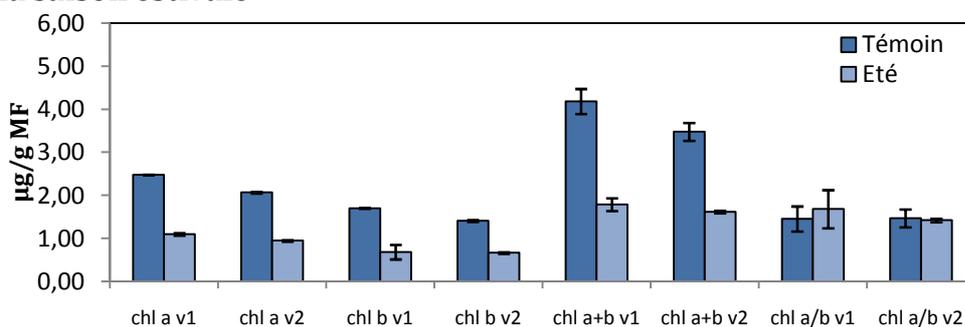
La variation de la chlorophylle a en fonction des organes durant la saison printanière n'est pas significative selon L'analyse de la variance à un critère de classification ( $p=0,811$ ) (ANNEXE VI-II). On remarque qu'il y a une augmentation importante en fonction de la température printanière de 40 % pour les jeunes vagues et 4% pour les anciennes vagues par rapport au témoin.

La figure 5.55 montre que la plus forte teneur en chlorophylle b des jeunes plants du chêne vert durant la saison printanière est enregistrée au niveau des feuilles de la deuxième vague de croissance avec une valeur de ( $2,199\pm 0,182$ )  $\mu\text{g/g MF}$  et qui accuse une augmentation de 55%

comparativement au témoin, la valeur la plus faible est enregistrée au niveau des feuilles de la première vague de croissance avec  $(1,754 \pm 0,197)$   $\mu\text{g/g MF}$  en accusant une d'augmentation de l'ordre de 3% par rapport au témoin. Le test de l'analyse de la variance est non significatif entre les organes ( $p=0,663$ ) (ANNEXE VI-II).

Le rapport de la chlorophylle a et b chez les feuilles des jeunes plants du chêne vert ne présente pas des variations importantes. L'analyse de la variance à un critère de classification n'est pas significative ( $p=0,934$ ). L'accumulation est presque identique au niveau des anciennes et des jeunes vagues avec des moyennes de l'ordre  $1,507 \mu\text{g/g MF}$  pour les feuilles de la première vague de croissance et de  $1,330 \mu\text{g/g MF}$  pour les feuilles de la deuxième vague de croissance.

- **La saison estivale**



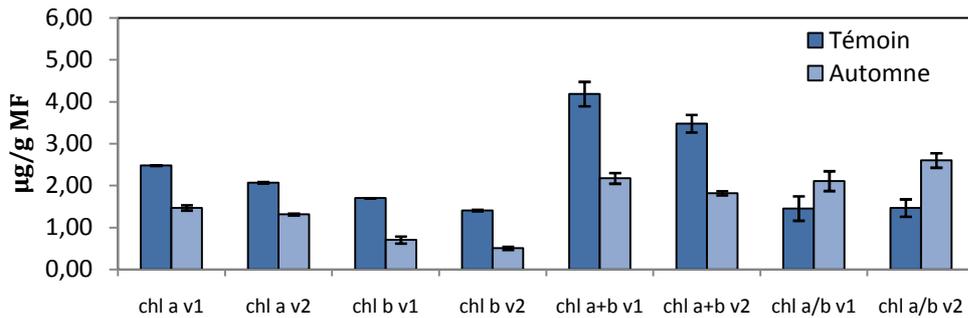
**Fig.5.55.** Teneurs en chlorophylle dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert durant la saison estivale  $\pm S$ .

Les résultats obtenus au cours du dosage de la chlorophylle a effectués sur les feuilles des semis du chêne vert durant la saison estivale ne signalent pas une différence significative entre les organes ( $p= 0,415$ ) (ANNEXE VI-II). Les teneurs les plus élevées sont enregistrées dans les feuilles de la première vague de croissance  $(1,102 \pm 0,029)$   $\mu\text{g/g MF}$ , alors que les teneurs les plus faibles sont affichées au niveau des feuilles de la deuxième vague de croissance  $(0,949 \pm 0,017)$   $\mu\text{g/g MF}$ .

Proportionnellement à la chlorophylle a, la chlorophylle b présente des variations négatives par rapport au témoin. Au niveau des anciennes vagues le taux de diminution est de l'ordre de 59% alors qu'il est de 52% au niveau des jeunes vagues. Le test de l'analyse de la variance est non significative par rapport aux organes ( $p= 0,525$ ) (ANNEXE VI-II).

Les anciennes vagues accusent une augmentation des teneurs en chlorophylle a/b de l'ordre de 15%, alors que les jeunes vagues signalent des diminutions de l'ordre de 3% par rapport au témoin. L'analyse de la variance à un critère de classification est non significative pour ce paramètre en fonction des organes ( $p= 0,286$ ) (ANNEXE VI-II).

- La saison automnale



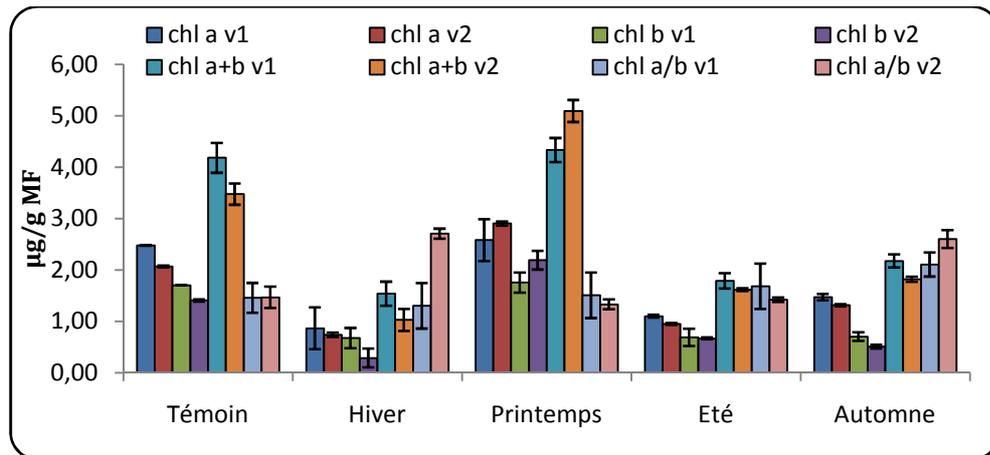
**Fig.5.56.** Teneurs en chlorophylle dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert durant la saison automnale  $\pm$ S.

Le niveau des teneurs de la chlorophylle a mesuré dans les feuilles durant la période automnale sont illustrés par la figure 5.56. La comparaison des moyennes par l'analyse de la variance à un seul critère de classification ne révèle pas des différences significatives ( $p=0,253$ ). Les résultats indiquent que les teneurs en chlorophylle a sont presque identiques au niveau des feuilles de la première vague de croissance ( $1,471\pm 0,061$ )  $\mu\text{g/g MF}$  et les feuilles de la deuxième vague de croissance ( $1,314\pm 0,020$ )  $\mu\text{g/g MF}$  respectivement avec des taux diminution de 40% et 36% par rapport au témoin (Tab.5.40).

Les résultats concernant les teneurs en chlorophylle b des jeunes plants durant la saison automnale sont illustrées par la figure 5.56. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les anciennes vagues ( $0,704\pm 0,085$ )  $\mu\text{g/g MF}$  qui accusent une diminution de l'ordre de 58%, alors que les plus faibles sont signalées dans les jeunes vagues avec une diminution de 64% par rapport au témoin. L'analyse de la variance à un critère ne signale pas des différences significative de ce paramètre en fonction des organes  $p= 0,352$  (ANNEXE VI-II).

La teneur en rapport chlorophyllien a/b est presque identique dans les feuilles de la première ( $2,108\pm 0,253$ )  $\mu\text{g/g MF}$  et de la deuxième vague de croissance ( $2,60\pm 0,173$ )  $\mu\text{g/g MF}$  avec un taux d'augmentation respectivement de 44% et 77% par rapport au témoin (Tab.5.40). L'analyse de la variance ne permet pas de mettre en évidence un effet significatif entre les feuilles adultes et jeunes pour ce paramètre ( $p= 0,300$ ) (ANNEXE VI-II).

## V.4.4.2. Effet de la variation thermique inter-saisonnière sur les teneurs en chlorophylle



**Fig.5.57.** Variation inter-saisonnière des teneurs en chlorophylle dans les feuilles de la première et de la deuxième vague de croissance des jeunes plants de chêne vert  $\pm$ S.

En fonction des saisons, les feuilles du chêne vert subissent des diminutions de sa teneur en Ch.a et Chl.b particulièrement lorsque les températures augmentent en été ou diminuent en hiver. Ces diminutions s'échelonnent entre -65% en hiver et -55% en été. Alors en saison printanière ces variations sont généralement positives. Donc les teneurs les plus élevées sont signalées en saison printanière et les plus faibles durant la saison hivernale (Fig.5.57, Tab.5.40) alors qu'en fonction des organes le taux le plus élevé est toujours affiché au niveau des jeunes vagues durant la saison printanière.

L'effet de différents niveaux de la température saisonnière sur le taux de la chlorophylle totale et le rapport chlorophyllien dans les feuilles des semis du *chêne vert* indique que la plus grande quantité de chlorophylle a+b est rencontrée en saison printanière dans les jeunes vagues (46%), alors que la quantité minimale est observée durant la saison hivernale au niveau des jeunes vagues (-70%) (Fig.5.57). L'analyse de la variance à deux critères de classification signale une différence très hautement significative du taux de la chlorophylle a+b en fonction des saisons ( $p < 0,001$ ) et entre les organes ( $p < 0,001$ ) (ANNEXE VI-I).

Pour le rapport chlorophyllien, les résultats illustrés dans la figure 5.57 montrent des variations importantes au niveau des différents organes et en fonction des saisons, l'analyse de la variance à deux critères de classification est très hautement significative en fonction des saisons ( $p < 0,001$ ) et en fonction des organes ( $p = 0,007$ ) (ANNEXE VI-I).

## Discussion

Les résultats obtenus, à partir de l'étude des marqueurs biochimiques de résistance au stress thermique chez les jeunes plants de chêne vert soumis aux conditions naturelles et à des conditions de stress thermique par leurs exposition pendant une durée de 3 heures, a une gamme de basses et hautes température, ont montré que la réponse de cet espèce dépend de deux facteurs : organe et intensité du stress (degrés de température).

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

Pour se conformer aux conditions de stress thermique, les jeunes plants ont édifié de nouveaux mécanismes d'adaptation et de nouvelles compositions cellulaires. Ainsi, pour garder le potentiel de turgescence aussi élevé que possible, après la chute très remarquable de la teneur en eau surtout au niveau des racines suite à l'élévation de la température, les jeunes plants ont accumulé certains osmotocums à l'intérieur de leurs cellules dont la proline, les sucres et les protéines.

Le comportement des jeunes plants de *Quercus ilex* L. stressées à des différents niveaux de hautes et basses températures montre une variabilité dans l'accumulation de la proline libre dans les différents organes. De nombreux travaux rapportent que la proline s'accumule dans la plante lorsqu'elle se trouve en conditions défavorables (Sivaramakrishnan et al., 1988) ce qui traduit le caractère de la résistance aux stress (Greenway et Munns, 1980).

Certains auteurs (Singh et al., 1973) pensent que les quantités accumulées pourraient être liées au niveau de tolérance aux stress. La proline accumulée pourrait jouer un rôle d'osmoticum (Stewart et Lee, 1974 ; Kauss, 1977). Elle pourrait, également, intervenir dans la régulation du pH cytoplasmique (Pesci et Beffagna, 1984) ou constituer une réserve d'azote utilisée par la plante postérieurement à la période du stress (Tal et Rosenthal, 1979).

Stewart et Lee (1974) in Zerrad (2006), suggère que la proline à de fortes concentrations agisse comme soluté pour l'ajustement osmotique, et aussi pour servir de réservoir de composés azotés et de carbone pour une utilisation ultérieure dans la croissance.

Selon Feitosa *et al.*, (2001), Meloni *et al.*, (2004), le rôle attribué à la proline dans la réponse des plantes aux stress reste parfois controversé ; pour Quien *et al.*, (2001), son accumulation contribue à l'acquisition de cette résistance grâce au maintien de la turgescence cellulaire chez de nombreuses espèces, créé par l'ajustement osmotique dont la proline est responsable.

Le mécanisme de l'accumulation de la proline permet de penser à la présence de sites de résistance de la plante à la contrainte. En effet, le transport de la proline de la source (lieu de synthèse) au site de la résistance est admis depuis longtemps comme un paramètre important dans l'acquisition de cette résistance (Bellinger *et al.*, 1989). Paquin (1986) signale que la proline serait synthétisée dans les feuilles et transportée vers ces sites; d'autres rapportent que l'acide aminé migre chez diverses plantes glycophytes vers les feuilles et s'y localise chez le sorgho (Weimberg, 1987), le coton (Boutelier, 1986), la fève (Belkhodja et Benkabilia, 2000), le trèfle d'Alexandrie (Benkhaled *et al.*, 2003). Nos résultats montrent que *Quercus ilex* L. conduit sous des différents niveaux de stress thermique accumule la proline dans les racines, ont enregistré la plus forte accumulation au niveau des racines aux températures  $-10^{\circ}\text{C}$  ( $4,62\pm 0,06$ )  $\mu\text{mol/g MS}$ ,  $44^{\circ}\text{C}$  ( $4,26\pm 0,41$ )  $\mu\text{mol/g MS}$  et aux saisons hivernale ( $2,15\pm 0,22$ )  $\mu\text{mol/g MS}$  et estivale ( $2,05\pm 0,10$ )  $\mu\text{mol/g MS}$ . Cette compartimentation racinaire du composé aminé présume que la résistance de cette espèce à ces niveaux de températures chaudes et froides est acquise dans ces organes. Ces résultats sont en accord avec de nombreux travaux qui confirment que la proline se localiserait dans les racines chez le Retam (Ighil Hariz, 1990) et le Maïs (Rodriguez *et al.*, 1997).

Barnetts et Naylor, 1966 ; Morris *et al.*, 1969 in Zerrad *et al.*, 2006 ont signalé que l'augmentation de la proline était nette au niveau des racines par rapport aux coléoptiles lors d'un stress hydrique chez le blé dur, et peut être due aussi bien à l'inhibition de l'oxydation des protéines qu'à la dégradation des protéines en leurs précurseurs.

L'accumulation de proline est positivement corrélée avec les températures chaudes ( $r=0,630^{***}$ ) et négativement corrélée pour les températures froides ( $r=-0,640^{***}$ )

Additionnellement à l'augmentation de la proline, les niveaux de stress thermiques appliqués ont stimulé une augmentation des teneurs en sucres solubles  $r$  (proline / sucres solubles =  $0,612^{**}$ ).

L'accumulation des sucres solubles sous conditions de stress thermique a été reportée par plusieurs chercheurs. Une étude réalisée sur terrain par Nathalie Bréda (INRA EFPA, Nancy) et Isabelle Chuine (CEFE, CNRS, Montpellier) sur quelques espèces forestières (Chêne, Hêtre, Noyer à bois), pour tester l'état physiologique des arbres établi à partir de leurs réserves glucidiques et leurs capacités à résister au gel. Les principaux résultats montrent sur 3 espèces de Chêne que la résistance au froid et la mise en réserves des glucides sont étroitement corrélées aux températures

minimales des sites étudiés. Ainsi, une bonne corrélation est observée entre concentration en sucres solubles et résistance au froid, ces résultats corroborent et confirment nos résultats sur le chêne vert qui indique une augmentation des taux des sucres solubles atteignant des valeurs approximatives de 1800  $\mu\text{mol/g MS}$  constaté dans tous les organes au cours de la période hivernale (Décembre-Janvier et février) de l'année 2008 dans la région de Sétif, où les températures minimales atteignant  $-4^{\circ}\text{C}$ .

Depuis longtemps, il est connu que le taux des sucres augmente considérablement chez des plantes soumises aux différents types de stress ; en effet, cela a été vérifié par [Chunyang, \(2003\)](#) chez des arbres adultes de l'*Eucalyptus microtheca* sous différents stress hydriques, par [Kameli et Lösel \(1995\)](#) chez le blé suite à un déficit hydrique ; et par [Noiraud et al., \(2000\)](#) chez le céleri sous stress salin. Les principaux sucres solubles accumulés sous stress sont : le glucose, fructose et le saccharose ([Hare et al., 1998](#)), et ces derniers semblent jouer un rôle très important dans le maintien d'une pression de turgescence qui est à la base des différents processus contrôlant la vie d'une plante.

L'augmentation de l'accumulation en sucres solubles pourraient avoir un rôle de protection des membranes, Ils permettent également une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu'une protection des protéines ([Darbyshire, 1974](#)) ; ou un rôle osmotique empêchant la déshydratation des cellules et le maintien de la balance de la force osmotique pour garder la turgescence et le volume cytosolique aussi élevés que possible ([Bouzoubaa et al., 2001](#)). Cette augmentation de la concentration des sucres solubles totaux, qui était très remarquable au niveau des racines que des coléoptiles, a été accompagnée par une dégradation de certains disaccharides d'où l'accumulation des sucres réducteurs qui ont montré, eux également, une augmentation de la concentration durant la période de stress pour les deux variétés de blé dur ([Zeerad et al., 2006](#)).

Le dosage des sucres solubles, montre lors de l'endurcissement et plus spécifiquement chez les jeunes feuilles, une augmentation globale des sucres et en particulier du saccharose ([Winter et Huber, 2000](#)) qui jouent le rôle d'osmorégulateurs et de cryoprotecteurs. L'arbre le plus résistant présente au niveau des jeunes organes (apex et premières feuilles) un taux de sucres solubles plus élevé que des arbres plus sensibles. En outre, des sucres particuliers : le fructose, le raffinose et les sucres de la famille du raffinose sont plus abondants chez le génotype le plus résistant au froid. Les sucres synthétisés ne sont donc pas mis en réserve. Ils ne sont pas non plus utilisés dans la structure de la plante.

Lors d'un stress froid, les sucres jouent le rôle d'osmorégulateurs et de cryoprotecteurs grâce à l'accumulation de sucres solubles dans la cellule. Le plus abondant est souvent le saccharose qui est accompagné de glucose et de fructose ([Winter et Huber, 2000](#)). Chez *Arabidopsis*, le rapport sucres

solubles/amidon augmente. Les sucres synthétisés ne sont donc pas mis en réserve. Ils ne sont pas non plus utilisés dans la structure de la plante. Cette accumulation de sucres solubles est contrôlée par 2 enzymes clés: la FBPase et la SPS (Strand *et al.*, 1999).

Les résultats obtenus montrent que les plantes stressées ont réagi par l'augmentation des quantités de sucres au niveau de leurs cellules. En effet, on a enregistré un pourcentage de progression de 66,64% au début de traitement, et de 163,66% à la fin de traitement par le froid (Tab.5.9) et de 72,18% au début du traitement à 175,83% à la fin du traitement par la chaleur (Tab.5.11). Cette augmentation est en réalité un paramètre d'adaptation aux conditions de stress thermique (Kameli et Losel, 1995), permettant de constituer une garantie pour le maintien d'une intégrité cellulaire élevée (Bensalem, 1993).

L'augmentation des taux solubles constatée dans les feuilles de chêne vert au cours de la période juin – juillet – août, confirme les observations faites par d'autres auteurs sur des plantes annuelles en période de sécheresse : (Munns *et al.*, 1975) sur le blé et Barlow *et al.*, 1976 in Bulletin de l'OIV, 2000) sur le maïs. D'ailleurs, (Katerji *et al.*, 1994) ont montré que la contrainte thermique exerce sur les baies un effet semblable à ce qui se passe dans les feuilles puisqu'elle favorise l'élaboration de critères qualitatifs notamment la synthèse et l'accumulation des sucres. La présence de ces sucres solubles en période de chaleur et de sécheresse protégerait les thylakoïdes de l'altération irréversible des membranes et exercerait une action favorable sur la résistance protoplasmique à la sécheresse. (Marguery, 1992) affirme que la température, associée à l'insolation, pourrait être un facteur déterminant pour l'accumulation des sucres.

Parallèlement à cela, les travaux de Clifford *et al.*, (1998), montrent que la cause d'accumulation de la proline est l'accumulation des sucres solubles (Hexoses ; glucose). En effet, les corrélations obtenues suite à la matrice des corrélations, révèle une corrélation positive entre les sucres solubles et la proline. Suggérant l'extrême sensibilité de la synthèse de la proline au niveau de la réduction du NADP<sup>+</sup> cellulaire et ceci renforce les données, stipulant que la synthèse de la proline est un moyen pour réguler le potentiel redox cellulaire (contribution dans l'ajustement énergétique) (Bellinger *et al.*, 1987 ; Rai, 2002).

Par ailleurs, on peut déduire que les sucres solubles (glucose et saccharose) sont des effecteurs de l'accumulation de la proline (Joyce *et al.*, 1992). Mastrangelo *et al.*, (2000), Nouri, (2002), suggèrent que l'habileté de certains génotypes à accumuler ces osmoticums (sucres et proline), est utilisée comme base pour la sélection de génotypes tolérants à la sécheresse.

Vivat, 1995 in Salmon, 2004 suggère que le taux des réserves carbonés : les lipides et les sucres solubles dans des rameaux et des feuilles de chêne vert fluctuent beaucoup plus, atteignant une

valeur maximale l'hiver et diminuant, en particulier les sucres solubles, avec l'activité de l'arbre. Cette valeur hivernale maximale peut être reliée au rôle protecteur des sucres qui en augmentant le potentiel osmotique des cellules diminuent les risques qu'ont celles-ci de geler. Ce schéma de variations des carbohydrates non structuraux se retrouve chez plusieurs espèces sempervirentes telles que les conifères *Abies alba*, *Picea abies* et *Pinus sylvestris* (Hoch et al., 2003 in Salmon, 2004).

(Damesin et al., 1998 ; Ashworth et al., 1993) montrent chez *Cornus serica* les évolutions en sucres et amidon dans les tiges. L'amidon est au minimum en hiver avec un pic au débourrement et un autre pic au début de l'automne, le phénomène inverse s'observe pour les sucres solubles. Larcher et Thomaser-Thin (1988) montrent eux, la variabilité des réserves carbonées dans le bois au cours de l'année.

Les plantes, comme la majorité des organismes répondent à l'élévation de la température par la synthèse des protéines de choc thermique (HSP, Heat Shock Proteins) (Miernyk, 1999 ; Schöffl et al., 1998, 1999 ; Nover, 1997 ; Boston et al., 1996 ; Vierling, 1991) qui est une réponse cellulaire très rapide, transitoire, stimulée lorsque la température excède de 8-10 °C la température optimale de croissance. Elle implique la production de polypeptides généralement classés en deux catégories de poids moléculaire et localisés dans divers compartiments subcellulaires : cytoplasme, noyau, mitochondries, plastes (Key et al., 1985).

Le stress thermique induit également l'inhibition (Bewley et Larsen, 1980) ou la synthèse de nouvelles protéines (Kermode et Bewley, 1989) dont les protéines LEA qui assurent une protection de l'ensemble vitale des protéines cellulaires (David et Grongnet, 2001) et les protéines de choc thermique qui permettent un maintien des structures protéiques et membranaires de la cellule végétale (Baker et al., 1988).

Durant les hautes températures, des protéines de choc thermique de faible poids moléculaire (15–30 kDa) peuvent constituer de 1 à 1,5% du totale des teneurs en protéines cellulaires dans les feuilles (Hsieh et al., 1992; Mansfield and Key, 1987).

Des études sur la plante modèle *Arabidopsis thaliana* ont montré que l'augmentation de la tolérance au froid (+ 4°C à -7°C) pouvait être corrélée à des changements de l'accumulation des protéines solubles (Gilmour et al., 1988), ce qui confirme nos résultats sur le chêne vert, car une augmentation de l'accumulation des protéines a été toutefois enregistrés au niveau des feuilles de la première vague de croissance atteignant (0,804 ±0,006) µg/g MF à la température -10°C et (1,72±0,53) µg/g MF à la température 44°C.

Immédiatement après l'application d'un choc thermique, il est possible d'observer une augmentation du rapport protéines/ADN dans la fraction nucléaire (Reiter et Penman 1983, Laszlo 1992). Ce phénomène est causé par une augmentation de la quantité de protéines associées à la matrice nucléaire et concorde avec l'apparition d'agrégats cytoplasmiques découverts au début des années 1980 (Nover et al., 1983).

Le dosage de la teneur en chlorophylle a et b, la déduction de rapport chl.a / chl.b, établies chez les feuilles des jeunes plants de chêne vert sous différents régimes thermiques, révèlent que les plantes très stressées réagissent par une baisse de leur teneur en chlorophylle et une augmentation de rapport chl. a / b.

L'application prolongée de basses températures entraîne des dégâts irréversibles dans le système chlorophyllien. Le Houérou indique que c'est essentiellement la destruction de l'appareil chlorophyllien qui limite l'extension des espèces méditerranéennes. Si le système chlorophyllien est tué, l'espèce doit produire de nouvelles feuilles à partir des réserves accumulées dans les organes.

La baisse de la teneur en chlorophylle chez les feuilles de *Quercus ilex L* durant la période de chaleur serait la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates (Brown et Tanner, 1983) visant à limiter les pertes en eau par évaporation et par la même l'augmentation de la résistance à l'entrée du CO<sub>2</sub> atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (Slatyer, 1974).

Une étude réalisée par (John et al., 2001) sur deux variétés de coton a montré que l'accumulation absolue de chlorophylle a été réduite dans des feuilles soumises à une contrainte hydrique, la sensibilité à la température extrême des deux types de plantes était semblable. En outre, bien que l'accumulation de la chlorophylle a été empêchée par les températures de 44°C et plus, plus le tissu est âgé, plus le taux d'inhibition comme températures a dépassé 44°C.

Parallèlement à l'augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress, une baisse dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b) a été, en revanche, enregistrée (Tahri et al., 1998). Dans notre étude, on a enregistré une diminution de la chlorophylle a+b de l'ordre de -73% suite à une accumulation de 2,71 µg/ g MS de proline à la température -10°C.

Dans quelques espèces, et dans les conditions de basses températures et un fort éclaircissement non seulement tout le changement de contenu de chlorophylle, mais le rapport de la chlorophylle a/b est également affecté par la température (Ottander et autres 1995 ; Haldimann 1998, 1999). Ce qui confirme nos résultats sur le chêne vert, où on a enregistré une diminution du rapport chlorophyllien de 15% au niveau de la V<sub>1</sub> à la température -10°C.

Les résultats trouvés montrent une certaine proportionnalité, mais inverse, entre les teneurs en proline accumulées et les teneurs en pigments chlorophylliens perdues par les plants de chêne vert soumis à des différents niveaux de stress thermiques. Les plants qui accumulent plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et *vice versa*.

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 et *al.*, 1978 ; Reddy et Veeranjanyulu, 1991 in Tahri et *al.*, 1998).

En effet, l'analyse de la matrice des corrélations réalisée pour les teneurs en proline et chlorophylle, révèle des corrélations négatives significatives entre l'accumulation de la chlorophylle totale et l'accumulation de la proline ( $r = -0,671^{***}$ ).

## VI .Evolution de la résistance stomatique en conditions naturelles.

La présence de stomates, ensemble de cellules épidermiques spécialisées délimitant un pore ou ostiole mettant en relation le milieu interne d'un organe végétal et l'atmosphère environnante, est une adaptation à la vie terrestre des végétaux supérieurs permettant la régulation des échanges gazeux de CO<sub>2</sub> et de vapeur d'eau. Actuellement les mécanismes mis en œuvre à l'échelle des cellules stomatiques pour contrôler l'ouverture des stomates sont bien établis. L'ouverture et la fermeture des stomates dépendent de la différence de pression de turgescence entre les cellules de garde et les cellules voisines (Franks et al., 1998, Franks et al., 2001). Les facteurs environnementaux qui induisent cette réponse et la façon dont les cellules stomatiques perçoivent ces signaux restent mal connus (Franks, 2003). Les stomates répondent à plusieurs facteurs externes que l'on peut classer en deux grands groupes, les facteurs qui affectent directement la photosynthèse comme la lumière et la teneur en CO<sub>2</sub> atmosphérique, et ceux qui affectent le fonctionnement hydrique des stomates, donc la température.

Les réponses des plantes aux stress thermiques ont été, jusque là, souvent analysées et étudiées en appliquant des stress courts (Rizhsky et al., 2004). Isolement, le stress thermique peut avoir des effets opposés, notamment sur la conductance stomatique avec des répercussions probables sur la température des feuilles.

Le bilan d'énergie du couvert végétal montre qu'une partie importante de l'énergie radiative incidente est dispersée sous forme de transpiration (Farineau et Morot-Gaudry, 2006). Une réduction de la transpiration par fermeture stomatique se traduit donc par un échauffement de la feuille, souvent de plusieurs degrés C. L'échange "eau contre chaleur" est une limitation de la tolérance à la sécheresse, puisqu'une stratégie génétique consistant à réduire la transpiration par contrôle stomatique se trouve confrontée au risque de stress thermique (Tardieu, 2005).

Dans le but d'étudier l'action du rayonnement, et l'effet du degré de la température du jour sur l'ouverture et la fermeture des stomates et en conséquence sur la résistance stomatique, une mesure a été effectuée sur les deux faces des feuilles, prises périodiquement toutes les deux heures sous l'effet de la température et de l'éclairement. Les jeunes plants du chêne vert, montre la cinétique d'évolution présentée sur la figure 99.

La résistance stomatique exprimée en m<sup>2</sup>s mol<sup>-1</sup> est obtenue par la formule suivante :

$$1/Re=1/Rsi+1/Rss \text{ (Cruizat ; cité par Tosca ,1991 in Lahmar R et Khalfi N, 2005)}$$

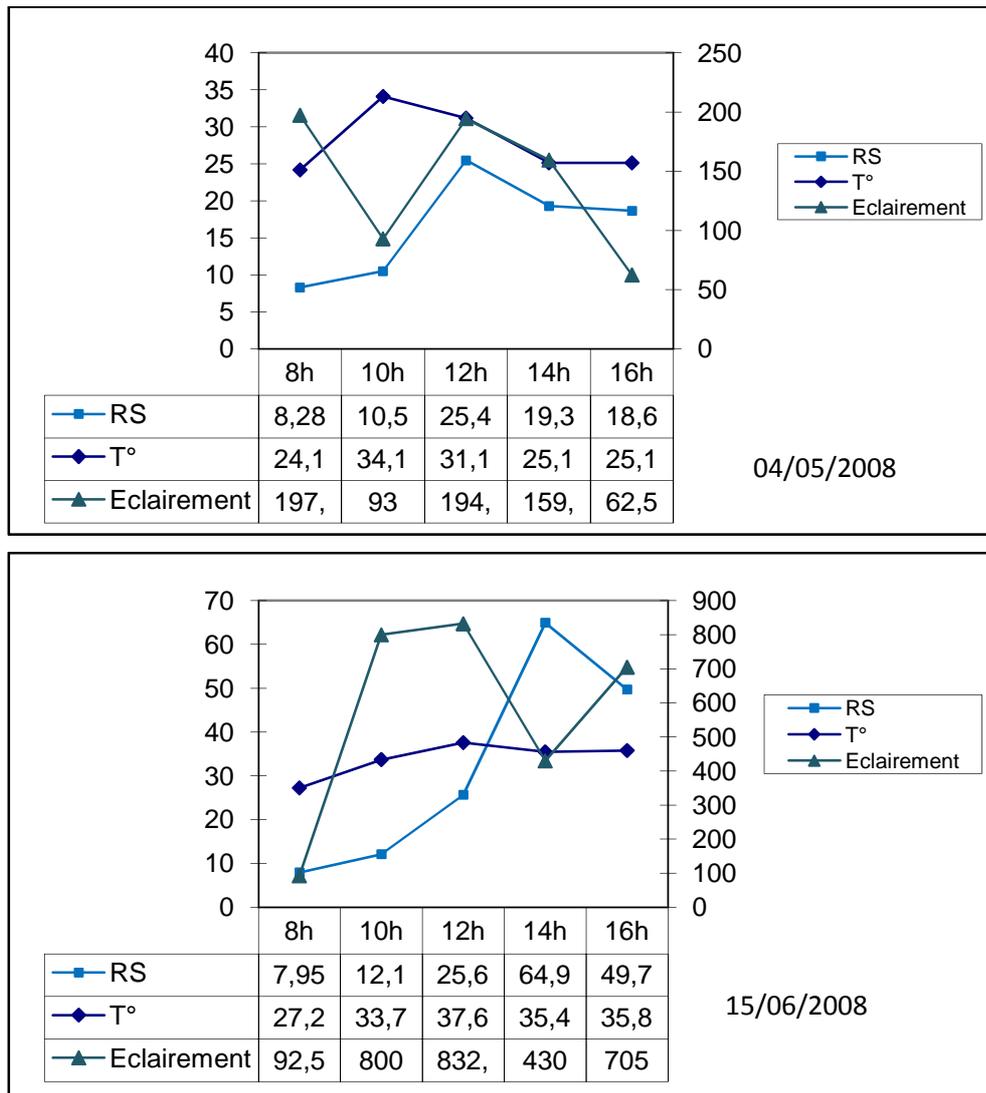
Rsi : résistance stomatique de la face inférieure.

Rss : résistance stomatique de la face supérieure.

La température en (°C).

L'éclairement en  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Chaque valeur des paramètres (Rs, T et L) est une moyenne de trois mesures.



**Fig.6.** Evolution de la résistance stomatique en fonction de la température et de l'éclairement chez les plants du chêne vert.

La mesure de la résistance stomatique sur les deux faces de la feuille des jeunes plants du chêne vert en fonction de la température du jour montre l'évolution de la résistance stomatique : On remarque généralement que la résistance de la face inférieure est plus importante que la face supérieure.

La figure 6 montre l'évolution de la résistance stomatique en fonction de la température et de l'éclairement chez les jeunes plants du chêne vert. On remarque une grande amplitude de fermeture et d'ouverture, ce rapport augmente d'une façon irrégulière avec la température. Au cours de la journée, on observe une certaine fermeture des stomates donc une augmentation de la résistance du *chêne vert*.

Au début, la résistance stomatique augmente régulièrement avec la température et l'éclairement jusqu'à 12 heures. Au-delà, on observe une grande fermeture des stomates puis elle diminue légèrement avec l'abaissement des deux facteurs écologiques.

L'utilisation de deux composantes lumière et température comme facteurs abiotiques est fondée sur le mécanisme de l'ouverture et de la fermeture stomatique. En effet, la lumière est considérée comme étant la source énergétique pour le transport actif de l'ion  $K^+$  vers la vacuole de la cellule de garde, provoquant ainsi sa turgescence et par conséquent son ouverture (Mikulska *et al.*, 1990).

Dans le parcours de la cavité stomatique à la surface de la feuille, et de l'air ambiant à la machine photosynthétique dans le mésophylle, les stomates offrent une résistance majeure au transport des gaz entre la feuille et l'air ambiant. Une modification dans la résistance à l'échange gazeux des pores stomatiques affecte dès lors l'entrée du  $CO_2$  et, même plus, la sortie de la vapeur d'eau. L'état d'ouverture des stomates est un compromis entre la perte d'eau et l'assimilation du  $CO_2$  de l'air ambiant (Farquhar *et al.*, 1980; Mott, 1990; Wolfe, 1994; Stanghellini et Bunce, 1994; Leuning, 1995). Dans cette optique, la réponse stomatique à la température élevée résulte en une fermeture stomatique partielle ce qui confirme nos résultats portés sur le calcul de la résistance stomatique du chêne vert. Le mécanisme de cette fermeture stomatique n'est pas encore clair (Mott, 1990; Wolfe, 1994). Les observations sont en accord avec l'idée que les plantes tendent à régler la concentration interne en  $CO_2$  ( $C_i$ ) dans la cavité sous-stomatique en sorte qu'il y a un rapport constant ( $C_i/C_a$ ) à la concentration atmosphérique pour un déficit donné de vapeur d'eau (Mott, 1990; Goudriaan et Unsworth, 1990). Une telle régulation conduirait directement à la fermeture partielle à une teneur élevée en  $CO_2$  comme observée dans beaucoup d'études porométriques (Tyree et Alexander, 1993; Morison et Gifford, 1983; Morison, 1987). Jackson *et al.*, (1994) ont mesuré les relations entre la photosynthèse et l'eau d'espèces. Ils confirmèrent que le régime de photosynthèse et l'approvisionnement nécessaire en dioxyde de carbone est directement couplé à l'intensité lumineuse. En ce sens, la conductance des stomates est aussi hautement corrélée à la lumière (Leuning, 1995). Cette relation peut être modifiée par les conditions environnementales comme la sécheresse ou le stress par la chaleur.

La mesure en continu de l'ouverture et la fermeture des stomates au niveau foliaire montre les réactions du système stomatique à l'élévation de la température. La fermeture stomatique est progressive et proportionnelle au degré de la température et l'éclairement.

## Conclusion

Le présent travail est abordé sur le volet bioclimatique, notamment thermique et biochimique, afin d'évaluer les capacités d'adaptation et de tolérance des semis de Chêne vert à la variabilité thermique. Dans ce contexte, le marquage biochimique par la proline, protéines, sucres solubles, chlorophylle a été abordé par rapport à leur accumulation, et ou la synthèse au niveau des différents organes (feuilles de première et deuxième vague de croissance, tiges et racines) des semis cultivés en conditions naturelles dans la région de Sétif et en conditions semi contrôlées ou un stress thermique d'une durée de trois heures a été appliqué sur un éventail thermique compris entre  $-10^{\circ}\text{C}$  et  $44^{\circ}\text{C}$ . L'effet du stress thermique était très hautement significatif sur la quasi-totalité des traits morpho - biochimique analysés.

La région de Sétif a été traitée sur le plan climatique, dont le régime saisonnier des pluies et la variabilité thermique qui a été analysée pour une période de quatre ans où tous les stress des saisons hivernales et estivales ont été déterminés ; c'est d'ailleurs l'un des paramètres importants qui peut affecter la survie de l'essence dans le semi aride, en altitude par les températures froides et en basses altitudes par les températures chaudes. La région de Sétif bénéficie d'un climat méditerranéen semi aride avec  $Q_2=42,26$ ,  $m=1,15^{\circ}\text{C}$ ,  $M= 33,83^{\circ}\text{C}$ ,  $ISE<7$ ,  $C<1$  et  $IA_M>25$ . Les massifs avoisinants (Bou-Thaleb, Tafet et Anini, Babor) bénéficient d'un climat plus humide entre 1200 et 1800 m avec un  $Q_2$  compris entre 64,96 et 83,68 et un variant entre  $0,83^{\circ}\text{C}$  et  $-1,56^{\circ}\text{C}$ . Le régime pluviométrique est de type HPAE.

Sur le plan thermique, une multitude de stress hivernaux, printanier et estival variable d'une année à l'autre; soit 123 h en hiver, 93 h au printemps et 180h en été durant l'année expérimentale 2008.

Pour l'ensemble des résultats concernant les paramètres morphologiques, l'effet du niveau de stress thermique été très hautement significatif pour toutes les variables analysées. Pour Le développement des jeunes plants de chêne vert ; en conditions naturelles, on a obtenu un taux le plus élevé de croissance aérienne et souterraine durant la saison printanière, ces taux sont beaucoup plus faibles durant les saisons hivernale Cette différence dans les taux de croissance de la hauteur aérienne et la longueur racinaire peut être due à la température qui influe directement sur la croissance des végétaux. On a noté aussi, qu'il y'a un gain de biomasse aérienne élève au niveau des plants de chêne vert qui correspond à la période ou on a enregistré la plus forte croissance, contrairement aux plants qui ont subis des stress durant la saison hivernale et estivale. Cela peut être dû par l'ajustement osmotique pour maintenir une activité photosynthétique optimale, afin d'assurer un gain en masse sèche aérienne au niveau de nos jeunes plants testés.

L'effet du stress thermique été très hautement significatif sur les paramètres biochimiques. Nos résultats montrent que les jeunes plants de chêne vert sont apte à accumulés les différents osmolytes comme la proline, les sucres solubles et les protéines et les chlorophylles dans ces différents organes en réponse à l'élévation ou l'abaissement de la température.

L'accumulation de la proline a été bien marquée au niveau des racines, aux températures extrêmes chaudes et froides (-10°C et 44°C), et durant les saisons hivernale et estivale, indiquant la capacité de résistance du chêne vert vis-à-vis la contrainte thermique.

On a noté aussi, une accumulation importante des sucres solubles a des différents niveaux de basses et hautes températures notamment les températures extrêmes (-10°C et 44°C) , de même, pour les conditions naturelles (saison hivernale et estivale), cette accumulation a été bien marqué au niveau des feuilles de la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> vague de croissance , celle-ci peut être attribuée à une dégradation des réserves amylacées ou peut être à une inhibition de la synthèse de l'amidon.

Toutefois, on a noté que pour les niveaux de stress thermique modéré (-10°C et 44°C), une hausse de l'accumulation des protéines aux niveaux des feuilles de la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> vague de croissance.

Les teneurs en chlorophylle a et b ont révélées des taux de diminution au fur et a mesure que le stress devient sévère, ainsi durant la saison hivernale et estivale. La régulation stomatique se manifeste par une fermeture à 12 heures à des températures voisines de 34°C.

La variation des marqueurs biochimiques est indicatrice des perturbations physiologiques et des modifications structurales notamment membranaires, favorisant ainsi la biosynthèse protéique, de la proline et de sucres. Les marqueurs biochimiques marquent donc la limite thermique et écologique du *Chêne vert* qui occupent les étages de végétation compris entre le thermo méditerranéen et la limite du supra méditerranéen.

En conclusion, nous avons constaté que le chêne vert manifeste effectivement des traits d'adaptation morpho – biochimique en réponse à des fluctuations thermiques, ce qui explique le caractère sclérophylle de l'espèce.

## Références bibliographiques

- Achhal. 1979.** Le chêne vert dans le Haut Atlas central : Etde phytoécologique. Problèmes posé par les aménagements de la chênaie .Thèse Doct.3<sup>ème</sup> cycle, Univ.Aix.Marseille.116p.
- Acherar M., Rambal S. and Lepart J.** 1991. Evolution du potential hydrique foliaire et de la conductance stomatique de quatre chênes méditerranéens lors d'une période de dessèchement. *Annales des Sciences forestières*, 48, 561-573.
- Artus N, Uemera M, Steponkus PL, Gilmour SJ, Lin C, Thomashow MF .1996.** Constitutive expression of the cold-regulated Arabidopsis thaliana *COR15a* gene affects both chloroplast an protoplast freezing tolerance. *Proc Natl. Acad. Sci. USA.* 93, 13404-13409.
- Araus J.L, G.A., Slafer, M.P., Reynolds, C., Royo. 2002.** Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for? *Ann. Bot.* **89**, 925-940.
- Arnott JT, Grossnickle SC, Puttonen P, Mitchell AK, Folk RS. 1993.** Influence of nursery culture on growth, cold hardiness, and drought resistance of yellow cypress. *Can J For Res ; 23 :* 2537-47.
- Alatou D (1990)** Recherches sur le déterminisme de la croissance rythmique du chêne: *Quercus pedunculata* Ehrh, *Quercus mirbeckii* Durieu, *Quercus suber* L. Étude morphologique, biochimique et écophysologique. Thèse doct État, univ de Constantine, Algérie, 109p.
- Alcaraz C.1969.** Principaux types de successions géographiques concernant le pin d'Alep et ses principales espèces- climax concurrentes dans le Tell oranais, *Bull.Soc. Hist.Mat. Afr.Nord*, 60 :103-115.
- Alcaraz C.1970.** Détermination de la limite de l'influence de la brise marine, son action sur la répartition de la végétation oranaise. *Bull. Soc. Hist. Mat. Afr. Nord*, 61 :87-93.
- Ashworth E.N., Stirm V.E. and Volenec J.J.** 1993. Seasonal variations in soluble sugars and starch within woody stems of *Cornus serica* L. *Tree Physiology*, 13, 379-388.
- Barbero M. & Quezel P., 1989-** Structure, architecture forestière à sclérophylles et prévention des incendies. *Bull. Ecol. ; 20(1)*, pp7-14.
- Barbero M., Loisel R. and Quézel P.** 1992. Biogeography, ecology and history of Mediterranean *Quercus ilex* ecosystems. *Vegetatio* 99-100, 19-34.
- Barry J.P. Celles J.C et Faurell 1976.** Notice de la carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques - Feuille d'Alger au 1/1.000.000., *Soc. Hist. Nat. Nord, Alger.* 42p.
- Barbero M., Loisel R. 1980.** Le chêne vert en région méditerranéenne ; *Rev.For.Fr.*, 32 :531-543.
- Barry J.P. Celles J.C et Faurell 1976.** Notice de la carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques - Feuille d'Alger au 1/1.000.000., *Soc. Hist. Nat. Nord, Alger.* 42p.
- Baker, D., L. Hicke, M. Rexach, M. Schleyer, and R. Schekman . 1988 .** Recon- stitution of SEC gene product-dependent intercompartmental protein transport. *Cell.* 54 :335-344.
- Belrose V., Nageleisen L. M. et Renaud J. P. 2004.** Les conséquences de la canicule et de la sécheresse sur la sante des forets : bilan à la fin de l' année 2003. *La sante des forets [France] en 2003.*

- Bellinger Y. and Larher F. 1987.** Proline accumulation in higher plants: a redox buffer ?. *Plant Physiology (Life Sci. Adv.)*, **6**, 23-27.
- Belkhodja M. & M. Benkabilia. 2000.** Proline response of faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress. *Egypt. J. of Agric. Res.*, **78**, (1), p.185-195.
- Benkhaled L., A.M Gomez , M. Honrubia & A. Oihabi., 2003.** Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le Rhizobium. *Agronomie*, **23**, p.553-560.
- Bellinger Y. and Larher F. 1987.** Proline accumulation in higher plants: a redox buffer ?. *Plant Physiology (Life Sci. Adv.)*, **6**, 23-27.
- Bewley, J.D. and K.M. Larsen. 1980.** Cessation of protein synthesis in water-stressed pea roots and maize mesocotyls without loss of polyribosomes. Effects of lethal and non-lethal water stress. *J. Exp. Bot.* **31**: 1245-1256.
- Bensalem, M. 1993.** Etude comparative de l'adaptation à la sécheresse du blé, de l'orge et du triticale. Dans : Tolérance à la Sécheresse des Céréales en Zone Méditerranéenne. Diversité Génétique et Amélioration Variétale. *Les Colloques de l'INRA*, **64** : 275-298.
- Berry, J., O. Björkman, 1980.** Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **31**, 491-453.
- Boudy, P. 1952.** Guide de Forestier en Afrique du Nord. Paris, Maison Rustique. 509p, 94 fig, 1 carte.
- Boudy P. 1955.** Economie forestière Nord Africaine, description forestière de l'Algérie et de la Tunisie, T. IV: 483. Larose edit., Paris.
- Bruno Falissard. 2005.** Comprendre et utiliser les statistiques dans les sciences de la vie. *MASSON PARIS*. P372.
- Boutelier E., 1986.** Effet du NaCl sur la physiologie du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.). Son rôle dans l'acquisition de la résistance à la sécheresse. Thèse de *Doc. Univ.* Paris **6**, 142 p
- Boston R. S., Viitanen P. V., Vierling E., 1996.** Molecular chaperones and protein folding in plants. *Plant Mol Biol* **32**, 191-222.
- Brown P. W., Tanner C. B. 1983.** Alfalfa stem and leaf growth during water stress. *Agro. J.* Vol. **75** ( 5), 799-804.
- Boudy P. 1955.** Economie forestière Nord Africaine, description forestière de l'Algérie et de la Tunisie, T. IV: 483. Larose edit., Paris.
- Boyadgiev T.G., 1984.** Méthode Provisoire d'évaluation de la désertification. Mimeo. FAO Rome, 70 p.
- Blum, A., 1988.** Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, pp. 223.
- Boston, R. S., Viitanen, P. V., and Vierling, E. 1996.** Molecular chaperones and protein folding in plants. *Plant Mol. Biol.* **32**: 191-222.

- Bouzoubaa, Z., El Mourid, M., Karrou, M. et El Gharous, M. 2001.** *Manuel d'analyse chimique et biochimique des plantes*. Eds INRA Maroc.
- Bulletin de l'OIV.2000.** office international de la vigne et du vin. Articles originaux.
- Chunyang L et Kaiyun W. (2003).** Differences in drought responses of three contrasting *Eucalyptus microtheca* F. Muell. populations. Uni of Helsinki. Finland. Forest Ecology and Management., **179**, Pp 377 – 385.
- Chaumont et Paquin, 1971-** Cartes pluviométriques de l'Algérie. 4 feuilles au 1/50000. Soc. Nat. Afr. Nord. Alger.
- Clifford SC, Arndt SK, Corlett JE, Joshi S, Sankhla N, Popp M, Jones HG (1998)** The role of solute accumulation, osmotic adjustment and changes in cell wall elasticity in drought tolerance in *Ziziphus mauritiana* (Lamk.). J Exp Bot **49**: 967–977.
- Cornic , G. 2007.** Effet de la température sur la photosynthèse.
- Côme Daniel. 1992.** Les végétaux et le froid. HERMANN, Editeurs des sciences et des arts. pp78-103.
- Daget, P., 1977.** Le bioclimat méditerranéen : caractères généraux, modes de caractérisation, *Vegetatio*, n° 34, p. 1-20.
- Darbyshire, B. 1974.** The function of the carbohydrate units of tree fungal enzymes in their resistance to dehydration. *Plant Physiol.*, 54: 717-721.
- Damesin C., Rambal S. and Joffre R. 1998.** Seasonal and annual changes in leaf  $\delta^{13}C$  in two co-occurring Mediterranean oaks: relations to leaf growth and drought progression. *Functional Ecology*, 12, 778-785.
- David, J.C. et Grongnet, J.F. 2001.** Les protéines de stress. *INRA Prod. Anim.*, 14(1): 29-40. El Mourid, M. 1988. *Performance of wheat and barley cultivars under different soil moisture regimes in semi arid region*. Ph.D. dissertation, Iowa State University Ames USA, 229p.
- Donadieu, P. 1977.** Contribution à une synthèse bioclimatique et phytogéographique au Maroc. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Maroc. 155p.
- De Lillis M. and Fontanella A. 1992.** Comparative phenology and growth in different species of the Mediterranean maquis of central Italy. *Vegetatio*, 99-100, 83-96.
- Diehl. 1975.** Agriculture générale. 2ème édition. 392p
- DGF, 2007-** Superficies, potentialités, et bilan d'incendies des forêts algériennes.
- Djebaili, S. 1984.** « Steppe algérienne, Phytosociologie et écologie ». O.P.U. Alger, 171 p.
- Dulai, S., I., Molnár, J., Prónay, M., Marschall, Á., Csernák, R., Tarnai, M., Molnár-Láng. 2005.** Effects of drought on thermal stability of photosynthetic apparatus in bread wheat and in *Aegilops* species originating from various habitats. *Acta Biologica Szegediensis*. **49 (1-2)**, 215-217.

- Emberger L., 1954-** Une classification biogéographique des climats. Rec. Trav. Lab. Bot. Géol. Zool. Univ. Montpellier, série Bot., n°7, pp 3-43.
- Emberger L., 1930-** La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. Rev. Gén. Bot, Vol 43, pp 641-662 et pp 705-729.
- Emberger L. 1943.** Les limites de l'aire de végétation méditerranéenne en France. *Bull. Soc.Hist.Mat. Toulouse*, 78 :159-180.
- Emberger L. 1936.** Remarques critiques sur les étages de végétations dans les montagnes marocaines. *Bull. Soc. Bot. Suisse* 46 :614-631.
- Emberger L. 1955.** Une classification biogéographique des climats. *Rev. Trav. Lab. Bot. Geo. Zool* ; (Fac. Sci. Univ. Montpellier), Fasc. 7, p. 1-43.
- Emberger L. 1943.** Les limites de l'aire de végétation méditerranéenne en France. *Bull. Soc.Hist.Mat. Toulouse*, 78 :159-180.
- Emberger L. 1936.** Remarques critiques sur les étages de végétations dans les montagnes marocaines. *Bull. Soc. Bot. Suisse* 46 :614-631.
- Fosa, 2000 -** L'étude prospective du secteur forestier en Afrique. Algérie. FAO, Rome, 60 p.
- Faye, M.J. 1963.** Milieu Géographique et agronomique de l'Algérie. Stage de Préparation au travail volontaire de la jeunesse (Cheraga).
- Franks, P. J., T. N. Buckley, J. C. Shope, & K. A. Mott. 2001.** Guard Cell Volume and Pressure Measured Concurrently by Confocal Microscopy and the Cell Pressure Probe. *Plant Physiol.* 125(4): 1577-1584.
- Franks, P. J. 2003.** Use of the pressure probe in studies of stomatal function. *J. Exp. Bot.* 54(387): 1495-1504.
- Franks, P. J., Cowan, I. R. & G. D. Farquhar. 1998.** A study of stomatal mechanics using the cell pressure probe. *Plant Cell Environ* 21(1): 94-100.
- Farquha (RG . D.), Schuue (E. D.), Kupper (SM .), 1980 -** Responses to humidity by stomata of *Nicotiana glauca* L. and *Corylus avellana* L. are consistent with the optimisation of carbon dioxide uptake with respect to the water loss. *Aust. J. Plant. Physiol.*, 7: 31 5-327.
- Feder, M.E., Hoffman, G.E., 1999.** Heat-shock proteins, molecular chaperones, and the stress response: evolutionary and ecological physiology. *Annu. Rev. Physiol.* 61, 243–282.
- Feitosa LC., J.Cambraia, MA.OlivoCano & HA. Ruiz.,2001.**Plant growth and solute accumulation and distribution in two sorghum genotypes under NaCl stress. *Braz.J.Plant. Physiol* ,13,270284.
- Feller, U., S. Crafts-Brandner, M. E. Salvucci, 1998.** Moderately high temperatures inhibit ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco). Activase-mediated activation of Rubisco. *Plant Physiol.*, 116, 539–546.
- Gallais A. 1984.***Physiologie du maïs.* (Ed.). Paris : INRA, p. 303–319.

- Gharzouli M., (1989).** Contribution à l'étude de la végétation de la chaîne des Babors. Thèse Magister, I.N.E.S. de Biologie, Sétif, 235p.
- Girardin, P. 1998.** Ecophysiologie du maïs.
- Greenway H, Munns R (1980).** Mechanisms of salt tolerance in non halophytes. *Ann Rev Plant Physiol* 31: 149-190.
- Gilmour SJ, Hajela RK, Thomasshow MF. (1988).** Cold acclimatation in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Phys* ; 87 : 745-750.
- Goudriaan, J. and Unsworth, M.H. 1990.** Implications of increasing carbon dioxide and climate change for agricultural productivity and water resources. In: *Impact of Carbon Dioxide, Trace Gases, and Climate Change on Global Agriculture. ASA Spec. Pub No. 53.* pp. 111-130.
- Hall, A.E., 1992.** Breeding for heat tolerance. *Plant Breed. Rev.* 10, 129–168.
- Havaux, M., F., Tardy. 1996.** Temperature-dependent adjustment of the thermal stability of photosystem II *in vivo*: possible involvement of xanthophyllcycle pigments. *Planta*. **198**, 324-333.
- Hare P.D., Cress W.A. and Van Staden J. (1998).** Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant Cell and Environment* ; **21**, 535-553.
- Hsieh, S.L. et Campbell, R.D. 1992.** Evidence that gene G7a in the human major histocompatibility complex encodes valyl-tRNA synthetase. *Biochem. J.* **278**, 809-816.
- Haldimann, P. 1999.** How do changes in temperature during growth affect leaf pigment composition and photosynthesis in *Zea mays* genotypes differing in sensitivity to low temperature? *Journal of Experimental Botany* 50:543-550.
- Hopkins William G. 2003.** Physiologie végétale. Deuxième édition. pp 460-464.
- Howarth, C.J., 2005.** Genetic improvements of tolerance to high temperature. In: Ashraf, M., Harris, P.J.C. (Eds.), *Abiotic Stresses: Plant Resistance Through Breeding and Molecular Approaches.* Howarth Press Inc., New York.
- Ighil Hariz Z., 1990.** Etude du comportement physiologique, biochimique et structurale du *Retama retam* vis à vis du NaCl. *Thèse de Magister*, Université d'Oran Algérie, 120 p
- Iba, K., 2002.** Acclimative response to temperature stress in higher plants: approaches of gene engineering for temperature tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 53, 225–245.
- Joyce P.A., Aspinall D. and Paleg L.G. (1992).** Photosynthesis and the accumulation of proline in response to water deficit. *Aust. J. Plant physiol.*, 19, 249 – 261.
- John, A.W.G., Reid, P.C. Batten, S.D. and Anang, E.R. 2002.** Monitoring Levels of “phytoplankton colour” in the Gulf of Guinea Using Ships of Opportunity. P. 141-146, in McGlade, J.M., Cury, P., Koranteng, K.A. and Hardman-Mountford, N.J. (réd.) *The Gulf of Guinea Large Marine Ecosystem : Environmental forcing and sustainable development of marine resources.* Elsevier, Amsterdam, 392 p.
- Jackson, R.B., Sala, O.E., Field, C.B. and Mooney, H.A. 1994.** CO<sub>2</sub> alters water use, carbon gain, and yield for the dominant species in a natural grassland. *Oecologia* **98**: 257-262.

- Kadik B. 1987.** Contribution à l'étude de Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) en Algérie, dendrométrie, morphologie, office de publication universitaire, Alger.580p.
- Kameli, A. et Lösel, D.M. 1995.** Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. *J. Plant Physiol.*, 145 : 363-366.
- Kauss H. 1977.** Biochemistry of osmotic regulation. In: Northcote D, ed. *International review of biochemistry*, Vol. II. *Plant biochemistry*. 119-39.
- Key, J.L., Kimpel, J.A., Lin, C.Y., Nagao, R.T. and Vierling, E. 1985.** The neat shock re-sponse in soybean. 161-179. In: J.L. Key, T. Kosuge. (Eds.). *Cellular and molecular biology of plant stress*. Liss. New York.
- Kermode, A.R. and Bewley, J.D.1989.** Developing seeds of *Ricinius communis* L., when detached and maintained in an atmosphere of high relative humidity, switch to a germinative mode without the requirement for complete desiccation. **Plant Physiology**, 90:702-707.
- Katerji N., Van Hoorn J.W., Hamdy A., Karam F., Mastrorilli M. 1994** - Effect of salinity on emergence and on water stress and early seedling growth of sunflower and maize. *Agric. Water. Manag.*, 26, 81-91.
- Kummerov J., Montenegro G. and Krause D. 1981.** Biomass, Phenology, and Growth. Ressource Use of Chaparral and Matorral, *Ecological Studies* 39, Springer-Verlag, New York Heidelberg Berlin, 69-96.
- Larcher W. and Thomaser-Thin W. 1988.** Seasonal changes in energy content and storage patterns of Mediterranean sclerophylls in a northernmost habitat. *Acta OEcologica*, 9 (3), 271-283.
- Lahmar R & Khalfi N., (2005)** : L'effet du froid sur l'accumulation sucres solubles, proline et chlorophylles chez les semis de Chêne liège (*Quercus suber* L). Mémoire d'ingénieur en écologie, I.S.N. Univ de Constantine.69p.
- Le Houérou H. N., 1980-** L'impact de l'homme et de ses animaux sur les forêts méditerranéennes. Forêt méditerranéenne II, I, pp31-34.
- Le Houérou H. N., 1990-** La forêt et l'utilisation des terres dans le bassin méditerranéen en 2050. le modèle de circulation mondial « global change ». Forêt méditerranéenne, XII ;3, pp 225-224.
- Loisel R., 1992-** Incidence des différentes techniques de débroussaillage sur les écosystèmes forestiers et pré forestiers méditerranéens. Commission des communautés européennes. Inst. Medit. d'Ecol. Paléobot. Fac. Sci. St Jérôme, 93p.
- Le Houérou H. N., 1971-** Les bases écologiques de la production pastorale et fourragère en Algérie. FAO, Rome, 60p.
- Le Houérou H. N., 1993-** Changements climatiques et desertisation. *Rev. secheresse*; Vol. 4, pp 95-111.
- Le Houérou H. N., 1995-** Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du nord de l'Afrique. *Opt. médit.*, série, Bull. n°10, CIHEAM, Montpellier, 396p.

- Levitt, J. 1980.** *Responses of plants to environmental stresses*, Vol. 1, 2<sup>nd</sup> ed. Academic Press, New York.
- Leuning, R. 1995.** A critical appraisal of a combined stomatal-photosynthetic model for C<sub>3</sub> plants. *Plant Cell Environ.* **18**: 339-355.
- Le Houérou H.N., 1969.-** La végétation de la Tunisie steppique (avec référence aux végétations analogues d'Algérie, de Libye et du Maroc). *Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. de Tunisie*, **42 (5)**, 624 p. et 1 carte couleur au 1:500 000.
- Liushu. 1984.** Application of ecological principles to rehabilitation of desertified lands as exemplified by the arid steppe in Eastern Mongolia. Mimeo proceed. Symposium AAAS/CAST.Desrt Ins. Lanzhou. China, 16 p.
- Letreuch-Belarouci, N. 1991.** Les reboisements en Algérie et leurs perspectives d'avenir. Thèse. Doc. D'Etat : Gembloux. Belgique .588 p ;
- Lucido M., 1972.** - Climatologie et hydroclimatologie du HODNA, (Algérie). F.A.O. Rome.
- Lee, E.A., M.A. Staebler, and M. Tollenaar. 2002.** Genetic variation in physiological discriminators for cold tolerance-early autotrophic phase of maize development. *Crop Science* 42:1919-1929.
- Maire R., 1926.** Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie. *Notice. Alger. Bacconier*, 78 p.
- Mazorra, L.M., Nunez, M., Echerarria, E., Coll, F., S´anchez-Blanco, M.J., 2002.** Influence of brassinosteroids and antioxidant enzymes activity in tomato under different temperatures. *Plant Biol.* 45, 593–596.
- Marguery P. 1992.** Contribution à l'étude et à l'amélioration de la croissance du fruit chez le pommier (*Malus domestica* Dork. cv Golden delicious) Thèse de doctorat, Université d'Amiens,177 p.
- Mastrangelo A.M., Rascio A., Mazzucco L., Russo M., Cattivelli L. and DI Fonzo N. (2000).** Molecular aspects of abiotic stress resistance in durum wheat. *Option méditerranéenne*, N°40, 207 - 213.
- Mansfield MA, Key JL (1987)** Synthesis of the low molecular weight heat shock proteins in plants. *Plant Physiol*84 1007-1017
- M'hirit O., 1982-** Etude écologique et forestière du Rif marocain. Essai sur une approche multi dimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du cèdre. *Ann. Rech. For. Maroc*, Vol 2, pp 1-502.
- Montero G. & Canellas I., 1998-** Salviculturay gestion soslenible de sistemas forestales, Actas de Los Primeros Encuentros Cientificos del parque natural de Penalara, 29-31 Mai. Conserjeria de Medio Ambienté de Madrid.
- Mitrakos, K. 1982,** some bioclimatic remarks, *Ecologia mediterranea*, T. VIII Fasc., 1/2, p 95-102;

- Mc Millin JD, Wagner MR. 1995.** Effects of water stress on biopartitioning of ponderosa pine seedlings during primary root growth and shoot periods. *For Sci*; 41 : 594-610.
- Miedema, P. 1982.** The effects of low temperature on *Zea mays*. *Advances in Agronomy* 35:93-128.
- 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*. Paris : UIBS pub : 247-53.
- M.Belkhodja et Y.Bidai., (2004).** Réponse de la germination des graines d'*Atriplex halimus* L. sous stress salin. *Revue Sécheresse*, N°4, vol.15,331-335.
- Meloni DA., MR. Gulotta , CA.Martinez and MA. Oliva.,2004.**The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. *Braz.J.Plant.Physiol.*,Vol 16, N°1,8p.
- Munns (R.), Bravdy (C.J.), Barlow (E. W.), 1975.** – Solute accumulation in the apex and leaves of wheat during water stress. *Austr. Jour. Plant. Physiol.*, **6**, 379-389.
- Miernyk, J. A.1999.** Protein folding in the plant cell. *Plant Physiology* 121: 695-703.
- Mikulska M, Maleszewski S. 1990.** Oxygen at high concentration reduces the response of phaseolus stomata to light. *Photosynthetica* ; 24 : 607-12.
- Morison, J.I.L. 1987.** Intercellular CO<sub>2</sub> concentration and stomatal response to CO<sub>2</sub>. In: *Stomatal Function*. E. Zeiger, G.D. Farquhar and I.R. Cowan (eds.). Stanford Univ. Press, California, pp. 229-251. Morison, J.I.L. 1993. Response of plants to CO<sub>2</sub> under water limited conditions. *Vegetatio* **104/105**: 193-209.
- Morison, J.I.L. and Gifford, R.M. 1983.** Stomatal sensitivity to carbon dioxide and humidity. *Plant Physiol.* 71: 789-796.
- Mott K. A. and Parkhurst D. F. 1990.** Stomatal responses to humidity in air and helox. *Plant, Cell and Environment*, (14): 509-515.
- Monneveux P., Belhassen E., 1996.** The siversity of drought adaptation in the wide. *Plant Growth Regulation* 20,85-92.
- Nover, L., D. Neumann, and K. D. Scharf:** Heat shock and other stress response systems of plants. Springer, Berlin, Heidelberg (1997).
- Nouri L. 2002.** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf.), en conditions de déficit hydrique. Thèse de magister en Biologie Végétale, 4 – 16.
- Nishida I., Murata N. 1996.** Chilling sensitivity in plants and cyanobacteria. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 47, 541-568.
- Noiraud N., Delrot S. and Lemoine R. (2000).** The sucrose transporter of Celery. Identification and expression during salt stress 1. *Plant physiol.*, **Vol.122**, Pp 1447-1456.
- Ottander C, Campbell D, Öquist G (1995):** Seasonal changes in photosystem II organization and pigment composition in *Pinus sylvestris*. *Planta*, 197, 176-183.

- Oukarroum Abdallah. 2007.** Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse doctorat. Université De Genève.
- Paquin R., 1986.** Effet de l'humidité du sol sur la teneur en proline libre et des sucres totaux de la luzerne enduree au froid et à la sécheresse. *Can.J.Plant Science*, 66, p.95101.
- Peet, M.M., Willits, D.H., 1998.** The effect of night temperature on greenhouse grown tomato yields in warm climate. *Agric. Forest Meteorol.* 92, 191–202.
- Péguy, Ch. P. 1961.** Précis de climatologie. *Masson, Paris.* 347 p.
- Pesci, P. and Beffagna, N. (1984).** Inhibiting effect of fusicoccin on abscisic acid-induced proline accumulation in barley leaf segments. *Plant Sci. Lett.*, 36: 7-12.
- Quezel, P. 1976.** Les forêts du pourtour méditerranéen. In *Forêts et maquis méditerranéens: écologie, conservation et aménagement. Note technique MAB*, 2: 9-33. UNESCO, Paris.
- Quezel, P. 1979.** La Région Méditerranéenne française et ses essences forestières. Signification écologique dans le contexte circum-méditerranéen. *Font Medit.* 1 (1): 7-18.
- Quezel, P. 1979.** La Région Méditerranéenne française et ses essences forestières. Signification écologique dans le contexte circum-méditerranéen. *Font Medit.* 1 (1): 7-18.
- Quezel P., 1986-** Les pins du groupe halepensis, écologie, végétation, écophysiologie. CIHEAM, Opt. Médit. Vol 86/1, pp11-23.
- Quezel P. & Barbero M., 1990-** Les forêts méditerranéennes, problème posés par leur signification historique, écologique et leur conservation. *Acta botanica Malacitana*, n°15, pp 145-178.
- Quezel P. & Barbero M., 1989-** Les formations à genévrier rampant du Djurjura. Leur signification écologique, dynamique et syntaxonomique dans une approche globale des cédraies Kabyles. *Lazaroa*, II, pp 85-99.
- Qian YL., S.J. Wilhelm & K.B. Marcum., 2001.** Comparative Responses of Two Kentucky Bluegrass Cultivars to Salinity Stress. *Crop Science*, 41, p.18951900.
- Rivas-Martinez S., 1982-** Etages bioclimatiques secteurs chorologiques et série de végétation de l'Espagne méditerranéennes. *Ecol. Med.* Vol 8, pp 275-288.
- Rivas-Martinez S., 1981 -** Les étages bioclimatiques de la végétation de la Péninsule Ibérique. *Anales Jard. Bot.*, Madrid, 37 (2), 215-268.
- Roeder vincent .2006.** Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune *Laminaria digitata* . Thèse doctorat. Université de Renne. pp 33-39
- René H. 1977.** Physiologie végétale. NUTRITION. Paris.
- Ramade F., 2003.** Eléments d'écologie, Ecologie fondamentale. 3ème édition. Paris.690p.
- Rodriguez HG, RA. Richards, WR.Jordan and MC.Drew.,1997.** Growth, water relations and accumulation of organic and inorganic solutes in roots of maize seedlings during salt stress. *Plant Physiology*, 25, 88193.
- Rai V. K. (2002).** Role of amino acids in plant responses to stresses. *Biologia Plantarum* 45 (4), 481 – 487.

- Rizhsky L. et al. 2004.** When defense pathways collide. The response of Arabidopsis to a combination of drought and heat stress. *Plant Physiology* 134: 1683-1696.
- Salmon Yann.2004.** Déphasages phénologiques chez le chêne vert (*Quercus ilex* L.) et conséquences fonctionnelles. Mémoire du diplôme d'études approfondies (DEA) biologie de l'évolution et écologie. Université Montpellier ii sciences et techniques du Languedoc
- Sauvage CH., 1960 :** *Recherches Géobotaniques sur les Subérais Marocaines*. Thèse de Doct. Es-Sciences naturelles. Fac des Sciences de Montpellier. 414 p.
- Sauvage Ch. 1961.** Recherches géobotaniques sur les subérais marocaines. *Trav. Inst. Sci. Chérifien*, Rabat, sér. botanique, 21, 462 p.
- Sauvage Ch. 1961.** Recherches géobotaniques sur les subérais marocaines. *Trav. Inst. Sci. Chérifien*, Rabat, sér. botanique, 21, 462 p.
- Slatyer (R.O.), 1973.** The effect of internal water status on plant growth development and yield. In UNESCO Plant responses to climatic factors. Proc. Uppsala Symp., 177-189.
- Schöfl, F., Prandl, R., Reindl, A., 1999.** Molecular responses to heat stress. In: Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K. (Eds.), *Molecular Responses to Cold, Drought, Heat and Salt Stress in Higher Plants*. R.G. Landes Co., Austin, Texas, pp. 81–98.
- Sivaramakrishnan S., V.Pattel, G.Flower and LG. Paleg.,1988.** Proline accumulation and nitrate reductase activity in contrasting sorghum lines during mid season drought stress. *Plant Physiol.*,74,p.418426.
- Singh SK, Sharma HC, Datta SP, Singh SP (2000).** *In vitro* growth and leaf composition of grapevine cultivars affected by sodium chloride. *Biologia Plantarum* 43(2): 283-286.
- Stewart, C.R. et Lee, J.A. (1974).** The role of proline accumulation in halophytes. *Planta*, 120 : 279-289. Touraine, B. et Ammar, M. (1985). Etude comparée de la sensibilité au sel d'un triticales et d'une orge. *Agronomie*, 5 : 391-395.
- Seltzer. 1946.** Le climat de d'Algérie. Trav. Tnst. Météo. Et phys. Glob. Univ. d'Alger. 219, 54 tab, 53 Fig., Typ. Litho. Alger.
- Singsaas, E. L., Laporte, M. M., Shi, J.-Z., Monson, R. K., Browling, D. R., Johnson, K., Lerdau, M., Jasentuliytana, A., and Sharkey, T. D. 1999:** Kinetics of leaf temperature fluctuation affect isoprene emission from red oak (*Quercus rubra*) leaves, *Tree Physiology*, 19, 917–924.
- Schöfl, F., Prandl, R., Reindl, A., 1999.** Molecular responses to heat stress. In: Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K. (Eds.), *Molecular Responses to Cold, Drought, Heat and Salt Stress in Higher Plants*. R.G. Landes Co., Austin, Texas, pp. 81–98.
- Simoes-Araujo, J.L., Rumjanek, N.G., Margis-Pinheiro, M., 2003.** Small heat shock proteins genes are differentially expressed in distinct varieties of common bean. *Braz. J. Plant Physiol.* 15, 33–41.

- Seltzer. 1946.** Le climat de d'Algérie. Trav. Tnst. Météo. Et phys. Glob. Univ. d'Alger. 219, 54 tab, 53 Fig., Typ. Litho. Alger.
- Strasser R.J. 1988.** A concept for stress and its application in remote sensing. In: Lichtenthaler HK (ed) Application of chlorophyll Fluorescence, pp 333-337. Klumer Academic Publisher, Dordrecht.
- Stanghellini, C.; Bunce, J.A. 1994.** Response of photosynthesis and conductance to light, CO<sub>2</sub>, temperature and humidity in tomato plants acclimated to ambient and elevated CO<sub>2</sub>. *Photosynthetica*, v. 29, p. 487-497.
- Seigue A., 1985-** La forêt circum-méditerranéenne et ses problèmes. Techniques agricoles et productions méditerranéennes. G.-P. Maisonneuve et Larose. 502 p.
- Srivastava, A. and Strasser, R. J.** Stress and stress management of land plants during a regular day. *J. Plant Physiol.* 148: 445-455 (1996).
- Tahri, E.H.; Belabed, A. & Sadki, K. 1998.** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, n°21 (1997-1998), pp. 81-87.
- Tardieu, F. 2005.** *Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress.* In: Académie des Sciences, Comptes Rendus Geoscience, n° 337, pp.57-67.
- Tomasselli R., 1976-** La dégradation du maquis méditerranéen In forêts et maquis méditerranéens. Ecologie, conservation et aménagement. Note technique MAB., 2, Unesco, Paris, pp 34-75.
- Tsimilli-Michael, M., M., Pêcheux, R.J., Strasser. 1998.** Vitality and stress adaptation of the symbionts of coral reef and temperate foraminifers probed *in hospite* by the fluorescence kinetics O J-I-P. *Archs. Sci. Genève* 51, 205-240.
- Touchard christelle. 2006.** Recherche de QTLs et choix de cibles stratégiques pour l'amélioration de la tolérance aux basses températures chez le maïs. Thèse doctorat. Université de technologie Compiègne (UTC). pp23-25
- Tenhunen, J.D., Pearcy, R.W., Lange, O.L., 1979.** Diurnal variations in leaf conductance and gas exchange in natural environments. In: Zeiger, E., Farquhar, G.D., Cowan, I.R. (Eds.), *Stomatal Function*. Standford University Press, Standford, pp. 321–351.
- Trinchant J.C, Boscari A, Spennato G, Van de Sype G, and Le Rudulier D. (2004).** Proline Betaine Accumulation and Metabolism in Alfalfa Plants under NaCl Stress. Exploring Its Compartmentalization in Nodules *Plant Physiology*, Vol. 135, pp.1583-594.
- Tal, M. et Rosenthal, I. 1979.** - Salt tolerance in *Simmondria chenensis* water balance and accumulation of chloride sodium and proline under low and high salinity. *Ann. Bot.*, 34, pp. 701-708.
- Tyree, M.T. and Alexander, J.D. 1993.** Plant water relations and the effects of elevated CO<sub>2</sub>: a review and suggestions for future research. *Vegetatio* 104/105: 47-62.

- Vallauri D., 1997-** Restauration, conservation et gestion durable des forêts dans les préAlpes sud occidentales français. Contexte écologique de la problématique forestière. Mémoire volontaire présenté au onzième congré forestier mondial, Antalya (Turquie) en Octobre 1997, 6p.
- Van Hees AFM.1997.** Growth and morphology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings in relation to shading and drought. *Ann Sci For* ; 54 : 9-18.
- Vierling, E. 1997.** Chloroplast-localized Clp proteins. In: Guidebook to molecular chaperones and Protein-Folding Catalysts. M.J. Gething, ed. Sambrook and Tooze Publications at Oxford University Press. pp.255- 258.
- Weimberg R.,1987.** solutes adjustments in leave of two species of wheat at two different stages of growth in response of salinity. *Physiol.Plant*,70,p.381388.
- Winter, H., and S.C. Huber. 2000.** Regulation of sucrose metabolism in higher plants: Localization and regulation of activity of key enzymes. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology* 35:253-289.
- Wanner LA, Junttila O (1999)** Cold induced freezing tolerance in Arabidopsis. *Plant Physiol.* 120, 391-399.
- Wolfe, D.W. 1994.** Physiological and growth responses to atmospheric carbon dioxide concentration. In: *Handbook of Plant and Crop Physiology*. M. Pessarakli (ed.). Marcel Dekker, New York. pp. 223-242.
- Yordanov, I., Tsonev, T., Goltsev, V., Kruleva, L., Velikova, V. 1997.** Interactive effect of water deficit and high temperature on photosynthesis of sunflower and maize plants. 1. Changes in parameters of chlorophyll fluorescence induction kinetics and fluorescence quenching. *Photosynthetica* **33**, 391-402.
- Zhang SH (1987)** Contribution à l'étude de la croissance en diamètre du Chêne vert (*Quercus ilex* L) en relation avec le climat. Thèse de doctorat. Univ Sci Tech du Languedoc, Montpellier.
- Zerrad W., Hillali S., Mataoui B., El Antri S., Hmyene A. 2006.** Étude comparative des mécanismes biochimiques de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Lebanese Science Journal*, Vol. 9, No. 2.

## ANNEXE I-I : DOSAGE DE LA PROLINE

D'après TROLL et LINDSLEY (1955).

- Prendre **100 mg** de la matière végétale
- Ajouter **2 ml** de méthanol à **40%**, laisser **24** heures, le tout est chauffé à **85°C** dans un bain marie pendant **60 mn**.
- Après refroidissement, on prélève 1 ml d'extrait auquel il faut ajouter :
  1. **2ml** d'acide acétique
  2. **25 mg** de ninhydrine
  3. **1 ml** de mélange (**120 ml** d'eau distillée, **300ml** d'acide acétique et **80 ml** d'acide orthophosphorique).
- Faire bouillir le mélange (**100°C**) durant **30 mn**, la solution vire au rouge
- Après refroidissement, **5 ml** du toluène sont ajoutés à la solution qui est agitée, deux phases se séparent (une phase supérieure et une phase inférieure) ;
- La phase supérieure est récupérée et déshydratée par la jonction d'une spatule de sodium **Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** anhydrate ;
- La densité optique a été mesurée à **528 nm** par spectrophotomètre après **48 heures**.

**Détermination du poids sec**

La détermination de la matière sèche est obtenue en transférant les résidus de l'extraction dans une étuve à **80°C** pendant **24heures**.

## ANNEXE I-II : DOSAGE DES SUCRES SOLUBLES

La méthode DUBOIS et al (1956). Elle consiste à :

- Peser **100 mg** de matière végétale, la mettre dans un tube à essai.
- Ajouter **3 ml** de l'éthanol à **80%**.
- Laisser pendant **48 h** à l'obscurité, puis filtrer le contenu.
- Ajouter **20 ml** d'eau distillée.
- Prendre **1 ml** de la solution obtenue.
- Ajouter **1 ml** de phénol à **5%**.
- Ajouter **5 ml** d'acide sulfurique à **1,8 N**.
- Incuber pendant **15 à 20 min** à **30°C** dans un bain marie.
- Lire la densité optique sur une longueur d'onde de **490 nm**.

## ANNEXE I-III : DOSAGE DES PROTEINES

La méthode de LOWRY et al (1951).

- Peser 2g de tissu végétal
- Les broyer dans 1 ml de soude 1N au cours de broyage 3 ml de soude sont ajoutées
- Transvaser le broyat dans un tube de centrifuger et rincer le mortier et le pilon soigneusement avec 2×1 ml de soude 1M
- Le très fin broyat obtenu est centrifugé 10 minutes à 4000 RPM puis le surnageant recueilli est amené à 10 ml dans une éprouvette (avec NaOH 1N)
- La méthode de lowry en 1951 consiste à préparer quatre type de solution A, B, C, D et M
  - ✓ La solution A : carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$  : 2%) dans NaOH 0.1N
  - ✓ La solution B : Tartrate double de Na et K (2%) dans l'eau distillée
  - ✓ La solution C : sulfate de cuivre ( $\text{CuSO}_4$  : 1%) dans l'eau distillée
  - ✓ La solution M : est un mélange des 3 solutions (50 ml de la solution A+0.5 ml de la solution B+0.5 ml de la solution C)
- Ajouter à 1 ml d'échantillon 5 ml de la solution M, puis agiter et laisser reposé 10 minutes à température ambiante
- Ajouter 0.5 ml de réactif de folin dilué 1 /3 après le développement de la réaction colorée, on laisse les échantillons à l'obscurité pendant 30 minutes, la lecture est faites à 650 nm
- Les teneurs des protéines obtenus à partir de l'équation suivante :

$$Y = 1,4751 X$$

Y : densité optique

X : concentration des protéines.

## ANNEXE I-VI : DOSAGE DES PIGMENTS CHLOROPHYLLIENS

La méthode de MAC KINNEY (1941).

- Peser **100 mg** de matière fraîche.
- Ajouter **10 ml** d'une solution préparée de **75 %** d'acétone et **25%** d'éthanol.
- Conserver dans des boites noires fermés pendant **48 h** à **30°C** et à l'obscurité.
- La lecture des densités optiques se fait à  $\lambda=663 \text{ nm}$  pour la **chlorophylle a** et à  $\lambda= 645 \text{ nm}$  pour la **chlorophylle b**

Les concentrations en pigments sont ensuite calculées grâce aux équations suivantes :

$$\text{Chlorophylle a } (\mu\text{mole/mg MF}) = 12,7.\text{DO } 663 - 2,69.\text{DO } 645$$

$$\text{Chlorophylle b } (\mu\text{mole/mg MF}) = 22,9.\text{DO } 645 - 4,68.\text{DO } 663$$

$$\text{Chl.a} + \text{Chl.b } (\mu\text{mole/mg MF}) = 8.02 \text{ DO}(663) + 20.20 \text{ DO}(645)$$

ANNEXE III-I : AV<sub>1</sub> PROLINE

	Source	DL	SC	CM	F	P
25°C±2°C	Org	3	1,59685	0,53228	75,68	0,000 ***
2°C	Org	3	3,911	1,304	5,67	0,006**
-2°C	Org	3	6,659	2,220	15,26	0,000***
-6°C	Org	3	7,25	2,42	2,28	0,111 NS
-10°C	Org	3	8,14	2,71	1,53	0,236 NS
38°C	Org	3	3,4107	1,1369	41,77	0,000***
40°C	Org	3	4,128	1,376	2,49	0,090 NS
42°C	Org	3	3,963	1,321	1,35	0,286 NS
44°C	Org	3	7,13	2,38	1,71	0,198 NS
S/hivernale	Org	3	5,0023	1,6674	23,01	0,000***
S/printemps	Org	3	2,1190	0,7063	29,87	0,000***
S/été	Org	3	5,0140	1,6713	29,27	0,000***
S/automne	Org	3	2,4305	0,8102	19,89	0,000***

		Source	DL	SC	CM	F	P
T° froides	plante	T° C	4	45,902	11,476	22,21	
	V1	T° C	4	8,565	2,141	13,95	0,000***
	V2	T° C	4	7,8107	1,9527	35,95	0,000***
	T	T° C	4	13,1533	3,2883	45,98	0,000***
	R	T° C	4	18,512	4,628	29,88	0,000***
T° chaudes	plante	T° C	4	38,694	9,673	21,13	0,000***
	V1	T° C	4	8,1735	2,0434	39,28	0,000***
	V2	T° C	4	8,973	2,243	5,14	0,016*
	T	T° C	4	8,382	2,095	7,21	0,005**
	R	T° C	4	15,016	3,754	37,14	0,000***

ANNEXE III-II : AV<sub>2</sub> PROLINE

Sources	DL	SC	CM	F	P
T° basses	4	45,902	11,476	105,72	0,000***
Organes	3	21,941	7,314	67,38	0,000***
Interaction	12	2,139	0,178	1,64	0,119 NS
Erreur	40	4,342	0,109		
Total	59	74,324			

Sources	DL	SC	CM	F	P
T° chaudes	4	38,694	9,673	43,98	0,000***
Organes	3	14,526	4,842	22,01	0,000***
Interaction	12	1,851	0,154	0,70	0,741 NS
Erreur	40	8,799	0,220		
Total	59	63,869			

Sources	DL	SC	CM	F	P
Saison	4	6,7696	1,6924	145,34	0,000***
Organes	3	7,6077	2,5359	217,77	0,000***
Interaction	12	1,4369	0,1197	10,28	0,741 NS
Erreur	60	0,6987	0,0116		
Total	79	16,5129			

## ANNEXE III

## ANNEXE III-III : GROUPES HOMOGENES PROLINE

Proline/ Basses températures								
organes	25°C±2°C		2°C		-2°C		-6°C NS	-10°C NS
	Moyenne ( $\mu\text{mol/g MS}$ )	groupe	Moyenne ( $\mu\text{mol/g MS}$ )	groupe	Moyenne ( $\mu\text{mol/g MS}$ )	groupe		
R	1,575	A	1,945	A	2,143	A		
T	1,011	B	1,366	B	1,149	B		
V2	0,788	C	1,039	B	0,923	B		
V1	0,605	D	0,895	B	0,807	B		

Proline/ Basses températures										
	Plante entière		V1		V2		T		R	
	Moyenne ( $\mu\text{mol/g MS}$ )	Groupes								
-10°C	3,365	A	2,624	A	2,718	A	3,490	A	4,628	A
-6°C	2,771	B	2,173	A	2,153	B	2,787	B	3,972	A
2°C	1,628	C	1,186	B	1,290	C	1,721	C	2,710	B
-2°C	1,516	C	1,009	B	1,059	C	1,287	CD	2,314	B
Témoin	0,995	D	0,605	B	0,788	C	1,011	D	1,575	C

Proline/ Hautes températures					
	38°C		40°C	42°C	44°C
	Moyenne ( $\mu\text{mol/g MS}$ )	groupe	NS	NS	NS
R	1,683	A			
T	1,059	B			
V <sub>2</sub>	0,807	C			
V <sub>1</sub>	0,719	C			

Proline/ Hautes températures										
	Plante entière		V1		V2		T		R	
	Moyenne ( $\mu\text{mol/g MS}$ )	Groupes								
44°C	3,047	A	2,377	A	2,630	A	2,919	A	4,263	A
42°C	2,621	B	2,235	A	2,395	A	2,462	A	3,394	B
40°C	2,006	C	1,050	B	1,918	AB	2,048	AB	2,692	C
38°C	1,139	D	0,833	B	0,826	B	1,107	B	1,791	D
Témoin	0,995	D	0,605	B	0,788	B	1,011	B	1,575	D

Proline/ saison								
	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
R	1,863	A	1,353	A	1,817	A	1,272	A
T	1,179	B	0,927	B	1,232	B	0,862	B
V <sub>2</sub>	1,013	C	0,902	B	0,956	C	0,662	C
V <sub>1</sub>	0,812	D	0,634	C	0,769	D	0,548	C

Proline				
saisons	Moyenne	Groupes		
Hiver	1,439	A		
Eté	1,392	A		
Témoin	0,995		B	
Printemps	0,913		B	
Automne	0,677			C

ANNEXE IV-I : AV<sub>1</sub> SUCRES SOLUBLES

	Source	DL	SC	CM	F	P
25°C±2°C	Org	3	210581,3	70193,8	4929,04	0,000***
2°C	Org	3	321838	107279	87,72	0,000***
-2°C	Org	3	360570	120190	33,85	0,000***
-6°C	Org	3	441266	147089	20,63	0,000***
-10°C	Org	3	461506	153835	14,10	0,000***
38°C	Org	3	319786	106595	76,74	0,000***
40°C	Org	3	303481	101160	30,09	0,000***
42°C	Org	3	384251	128084	15,47	0,000***
44°C	Org	3	387994	129331	12,13	0,000***
S/hivernale	Org	3	497497	165832	11,05	0,000***
S/printemps	Org	3	225575	75192	14,35	0,000***
S/été	Org	3	854514	284838	7,35	0,001**
S/automne	Org	3	265127	88376	39,22	0,000***

		Source	DL	SC	CM	F	P
T° froides	plante	T° C	4	265269	66317	3,61	0,011*
	V1	T° C	4	139527	34882	151,01	0,000***
	V2	T° C	4	170346	42587	104,96	0,000***
	T	T° C	4	28835,0	7208,7	76,41	0,000***
	R	T° C	4	89707	22427	118,37	0,000***
T° chaudes	plante	T° C	4	265518	66380	4,44	0,004**
	V1	T° C	4	114971	28743	144,60	0,000***
	V2	T° C	4	35309	8827	61,02	0,000***
	T	T° C	4	44041	11010	25,73	0,000***
	R	T° C	4	109681	27420	69,31	0,000***

ANNEXE IV-II : AV<sub>2</sub> SUCRES SOLUBLES

Sources	DL	SC	CM	F	P
T° Froides	4	265269	66317	334,17	0,000***
Organes	3	962378	320793	1616,46	0,000***
Interaction	12	39347	3279	16,52	0,000***
Erreur	40	7938	198		
Total	59	1274932			

Sources	DL	SC	CM	F	P
T° Chaudes	4	265518	66380	227,52	0,000***
Organes	3	772142	257381	882,19	0,000***
Interaction	12	38484	3207	10,99	0,000***
Erreur	40	11670	292		
Total	59	1087815			

Sources	DL	SC	CM	F	P
Saison	4	1455718	363929	257,61	0,000***
Organes	3	903090	301030	213,09	0,000***
Interaction	12	302988	25249	17,87	0,000***
Erreur	60	84763	1413		
Total	79	2746559			

## ANNEXE IV-III : GROUPES HOMOGENES SUCRES SOLUBLES

Sucres solubles/ Basses températures										
organes	25°C±2°C		2°C		-2°C		-6°C		-10°C	
	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe
V1	481,547	A	381,210	A	417,657	A	470,509	A	496,316	A
V2	391,849	B	328,228	B	361,050	B	378,274	B	391,607	B
T	195,821	C	150,017	C	163,009	C	185,014	C	195,818	C
R	187,273	C	106,482	D	133,764	C	141,000	D	159,967	C

Sucres solubles/ Basses températures										
Température	Plante entière		V1		V2		T		R	
	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe
-10°C	402,072	A	618,083	A	463,524	A	255,433	A	294,847	A
-6°C	367,615	B	566,468	B	436,857	A	233,824	B	259,642	A
-2°C	317,957	C	460,764	C	402,409	B	189,815	C	191,871	B
2°C	263,186	D	387,871	D	336,766	C	163,831	D	162,503	B
Témoin	219,783	E	374,550	D	319,690	C	136,202	E	48,687	C

Sucres solubles/ Hautes températures								
organes	38°C		40°C		42°C		44°C	
	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe
V1	384,878	A	405,447	A	471,944	A	478,468	A
V2	333,170	B	338,123	B	364,523	B	387,397	B
T	164,134	C	197,440	C	204,862	C	204,234	C
R	105,595	D	120,279	D	154,165	D	171,767	C

Sucres solubles/ Hautes températures										
Température	Plante entière		V1		V2		T		R	
	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe
44°C	401,150	A	582,385	A	455,104	A	273,522	A	294,847	A
42°C	377,965	A	569,337	A	409,356	B	272,265	A	259,642	A
40°C	310,862	B	436,343	B	356,555	C	258,678	A	191,871	B
38°C	274,106	C	395,205	C	346,649	C	192,065	B	162,503	B
Témoin	219,783	D	374,550	C	319,690	D	136,202	C	48,687	C

Sucres solubles/ SAISON								
organes	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe
V1	499,151	A	364,291	A	617,885	A	335,610	A
V2	395,229	B	305,737	A	475,946	B	298,733	A
T	235,478	C	191,641	B	302,454	C	164,738	B
R	187,214	D	156,692	B	189,989	D	115,937	C

SAISON	Moyenne	Groupes			
Eté	573,354	A			
Hiver	438,753		B		
Printemps	289,398			C	
Automne	237,727				D
Témoin	219,783				D

ANNEXE V-I : AV<sub>1</sub> PROTEINES

	Source	DL	SC	CM	F	P
25°C±2°C	Org	3	0,03533	0,01178	5,29	0,027*
2°C	Org	3	0,06578	0,02193	9,32	0,000***
-2°C	Org	3	0,08748	0,02916	7,09	0,002*
-6°C	Org	3	0,13041	0,04347	5,22	0,008*
-10°C	Org	3	0,2109	0,0703	3,57	0,032*
38°C	Org	3	0,05240	0,01747	11,75	0,000***
40°C	Org	3	0,1820	0,0607	2,16	0,125 NS
42°C	Org	3	0,2426	0,0809	1,69	0,201 NS
44°C	Org	3	0,957	0,319	1,74	0,190 NS

	Source	DL	SC	CM	F	P	
	Plante	T° C	4	0,37681	0,09420	9,97	0,000***
T° froides	V <sub>1</sub>	T° C	4	0,25394	0,06348	14,70	0,000***
	V <sub>2</sub>	T° C	4	0,078879	0,019720	46,55	0,000***
	T	T° C	4	0,087952	0,021988	27,69	0,000***
	R	T° C	4	0,025625	0,006406	13,06	0,001**
	Plante	T° C	4	3,7205	0,9301	21,92	0,000***
T° chaudes	V <sub>1</sub>	T° C	4	1,9552	0,4888	16,63	0,000***
	V <sub>2</sub>	T° C	4	1,71829	0,42957	99,50	0,000***
	T	T° C	4	0,67930	0,16983	49,12	0,000***
	R	T° C	4	0,14383	0,03596	31,98	0,000***

ANNEXE V-II : AV<sub>2</sub> PROTEINES

Sources	DL	SC	CM	F	P
T° Froides	4	0,37681	0,09420	62,52	0,000
Organes	3	0,38963	0,12988	86,20	0,000
Interaction	12	0,06958	0,00580	3,85	0,001
Erreur	40	0,06027	0,00151		
Total	59	0,89629			

Sources	DL	SC	CM	F	P
T° Chaudes	4	3,72053	0,93013	97,16	0,000
Organes	3	1,17514	0,39171	40,92	0,000
Interaction	12	0,77613	0,06468	6,76	0,000
Erreur	40	0,38293	0,00957		
Total	59	6,05472			

## ANNEXE V-III : GROUPES HOMOGENES PROTEINES

Protéines/Basses températures										
organes	25±2°C		2°C		-2°C		-6°C		-10°C	
	Moyenne	groupe								
v1	0,180	A	0,209	A	0,239	A	0,294	A	0,363	A
v2	0,143	AB	0,164	A	0,166	B	0,192	B	0,248	B
T	0,069	B	0,112	B	0,119	BC	0,148	BC	0,184	B
R	0,047	B	0,070	B	0,076	C	0,093	C	0,107	C

Protéines/Basses températures										
organes	Plante entière		V1		V2		T		R	
	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe
-10°C	0,341	A	0,546	A	0,353	A	0,298	A	0,168	A
-6°C	0,254	B	0,408	B	0,241	B	0,227	B	0,140	AB
2°C	0,190	C	0,297	BC	0,185	C	0,155	C	0,094	B
-2°C	0,168	C	0,237	C	0,189	C	0,170	C	0,105	B
Témoin	0,110	D	0,180	C	0,143	C	0,069	D	0,047	C

Hautes températures					
organes	38°C		40°C	42°C	44°C
	Moyenne	groupe	NS	NS	NS
v1	0,188	A			
v2	0,155	A			
T	0,090	B			
R	0,074	B			

Protéines/Hautes températures										
organes	Plante entière		V1		V2		T		R	
	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe	Moyenne	groupe
44°C	0,792	A	1,169	A	1,074	A	0,601	A	0,323	A
42°C	0,487	B	0,630	B	0,570	B	0,519	A	0,230	B
40°C	0,397	B	0,527	B	0,486	B	0,360	B	0,215	B
38°C	0,143	C	0,196	C	0,166	C	0,110	C	0,101	C
Témoin	0,110	C	0,180	C	0,143	C	0,069	C	0,047	C

## ANNEXE VI-I : AV2 Chlorophylle

Chl a/ v1 et v2					
Sources	DL	SC	CM	F	P
T froides	4	6,382975	1,595744	1834,07	0,000***
Organes	1	2,621791	2,621791	3013,36	0,000***
Interaction	4	0,252649	0,063162	72,60	0,000***
Erreur	20	0,017401	0,000870		
Total	29	9,274815			

Chl b/ v1 et v2					
Sources	DL	SC	CM	F	P
T froides	4	2,631090	0,657772	892,99	0,000***
Organes	1	0,395025	0,395025	536,28	0,000***
Interaction	4	0,772643	0,193161	262,23	0,000***
Erreur	20	0,014732	0,000737		
Total	29	3,813490			

Chl a+b/ v1 et v2					
Sources	DL	SC	CM	F	P
T froides	4	17,08599	4,27150	3066,56	0,000***
Organes	1	5,05218	5,05218	3627,02	0,000***
Interaction	4	1,71456	0,42864	307,73	0,000***
Erreur	20	0,02786	0,00139		
Total	29	23,88058			

Chl a/b v1 et v2					
Sources	DL	SC	CM	F	P
T froides	4	0,13289	0,03322	16,82	0,000***
Organes	1	0,30811	0,30811	155,97	0,000***
Interaction	4	0,39992	0,09998	50,61	0,000***
Erreur	20	0,03951	0,00198		
Total	29	0,88043			

Chl a / v1 et v2					
Sources	DL	SC	CM	F	P
T chaudes	4	3,66062	0,91515	548,21	0,000***
Organes	1	1,01235	1,01235	606,43	0,000***
Interaction	4	0,12673	0,03168	18,98	0,000***
Erreur	20	0,03339	0,00167		
Total	29	4,83308			

Chl b/ v1 et v2					
Sources	DL	SC	CM	F	P
T chaudes	4	1,75062	0,43766	214,88	0,000***
Organes	1	0,97302	0,97302	477,73	0,000***
Interaction	4	0,14114	0,03529	17,32	0,000***
Erreur	20	0,04073	0,00204		
Total	29	2,90552			

Chl a+b/ v1 et v2					
Sources	DL	SC	CM	F	P
T chaudes	4	9,15616	2,28904	1695,68	0,000***
Organes	1	3,97035	3,97035	2941,17	0,000***
Interaction	4	0,44199	0,11050	81,85	0,000***
Erreur	20	0,02700	0,00135		
Total	29	13,59549			

Chl a/b/ v1 et v2					
Sources	DL	SC	CM	F	P
T chaudes	4	1,9668	0,4917	39,14	0,000***
Organes	1	0,2063	0,2063	16,43	0,001**
Interaction	4	0,7268	0,1817	14,47	0,000***
Erreur	20	0,2512	0,0126		
Total	29	3,1512			

## ANNEXE VI-II : AV1 Chlorophylle

	Source	DL	SC	CM	F	P
chl	T° froides					
chl	T° chaudes					

Hiver	Source	DL	SC	CM	F	P
chl a	Org	1	0,288	0,288	0,46	0,509
Chl b	Org	1	0,462	0,462	1,39	0,259
Chl a+b	Org	1	1,48	1,48	0,80	0,388
Chl a/b	Org	1	1,48	1,48	0,80	0,388

printemps	Source	DL	SC	CM	F	P
chl a	Org	1	0,008	0,008	0,06	0,811
Chl b	Org	1	0,020	0,020	0,20	0,663
Chl a+b	Org	1	0,003	0,003	0,01	0,934
Chl a/b	Org	1	0,0272	0,0272	0,58	0,460

Eté	Source	DL	SC	CM	F	P
chl a	Org	1	0,318	0,318	0,71	0,415
Chl b	Org	1	0,098	0,098	0,42	0,525
Chl a+b	Org	1	0,77	0,77	0,58	0,457
Chl a/b	Org	1	0,0617	0,0617	1,23	0,286

Automne	Source	DL	SC	CM	F	P
chl a	Org	1	0,323	0,323	1,42	0,253
Chl b	Org	1	0,242	0,242	0,93	0,352
Chl a+b	Org	1	1,124	1,124	1,16	0,300
Chl a/b	Org	1	0,256	0,256	0,97	0,341

**Abstract :**

Tolerance of seedlings of holm oak (*Quercus ilex L.*) to heat stress is a complex mechanism linked to morphological, biochemical and ecophysiological changes.

This tolerance was characterized by dynamic culture under controlled conditions and natural. A biochemical approach to jointly to measure the accumulation of solutes (proline, sugars, proteins and chlorophyll) in the various organs after applying heat stress ranging from fresh warm (-10 ° C to 44 ° C). Significant variations of these accumulations are observed, increasing as the level of stress becomes more severe. The different accumulation of these metabolites have varied depending on the organ and the degree of stress, the accumulation of sugars, proteins and degradation of chlorophylls was higher in the leaves of the 1st and 2nd wave of growth at extreme temperatures (-10 ° C and 44 ° C) and during the winter and summer seasons, while the accumulation of proline is in roots.

For all the results for the morphological parameters during the period when heat stress is severe (winter and summer), a reduction of the height, biomass, and increased the length of the root as well as preferential allocation of biomass to roots, however, was recorded. An ecophysiological approach to measure the stomatal resistance showed that the seedlings of oak showed a better capacity to resist following the closure of their stomata in response to the elevation of temperature and illumination. These changes in the markers show that the Green Oak has a capacity to adapt to thermal variability.

**Key words:** *Quercus ilex L.*, extreme temperatures, proline, sugars, proteins, chlorophyll, stomatal resistance

**المخلص**

إن مقاومة شجيرات البلوط الأخضر للإجهاد الحراري هي صفة معقدة تربط بتغيرات مورفولوجية، بيوكيميائية و ايكوفيزيولوجية. درست هذه المقاومة تحت ظروف طبيعية و مراقبة. الدراسة كيميائية تهدف إلى قياس تراكم البرولين، السكريات القابلة للتحلل، البروتينات و الكلوروفيل في مختلف الأعضاء النباتية للبلوط بعد تطبيق إجهاد حراري يتراوح بين 10- درجة مئوية و 44 درجة مئوية. دلت النتائج على وجود اختلافات تدرجية في التراكومات، تتزايد مع مستوى الإجهاد.

تراكم هذه الأيضات اختلف حسب الجزء النباتي و درجة الإجهاد، تراكم السكريات، البروتينات، و انحلال الكلوروفيل كان بصورة كبيرة على مستوى أوراق المرحلة الأولى و الثانية من النمو عند درجات الحرارة الحدية -10 درجة مئوية و 44 درجة مئوية، و خلال الفترات الشتوية و الصيفية، بينما تراكم البرولين كان على مستوى الجذور.

الإجهاد الحراري ادى الي تغير في معايير النمو لنبات البلوط الأخضر (تناقص في الطول، ارتفاع طول المجموع الجذري، الكتلة الحيوية...) في الفترات التي يكون فيها الإجهاد الحراري (الصيفية و الشتوية).

الدراسة اليكوفيزيولوجية تنص على قياس المقاومة الثغرية، دلت النتائج على أن البلوط الأخضر يتميز بقدرة جيدة على المقاومة بعد إغلاق الثغور استجابة لارتفاع درجة الحرارة و الإضاءة.

هذه التغيرات في علامات تدل على أن البلوط الأخضر له القدرة على التكيف ومقاومة التغيرات الحرارية.

**الكلمات المفتاحية:** *Quercus ilex L.* , درجات الحرارة الحدية، البرولين، السكريات، البروتينات، الكلوروفيل، المقاومة الثغرية.

Nom : HAICHOOR Prénom : Rima	Date de soutenance / / 2009
THEME <b>Stress thermique et limite écologique du <i>Chêne vert</i> en Algérie</b>	
RESUME	
<p>La tolérance des jeunes plants de <i>Chêne vert</i> (<i>Quercus ilex L.</i>) au stress thermique est un caractère complexe lié à des modifications au niveau morphologique, biochimique et éco physiologique.</p> <p>Cette tolérance a été caractérisée en dynamique de culture en conditions contrôlées et naturelles. Une approche de type biochimique destinée à mesurer conjointement l'accumulation de solutés (proline, sucres solubles, protéines et chlorophylles) dans les différents organes après l'application d'un stress thermique variant du frais au chaud (-10°C à 44°C). Des variations importantes de ces accumulations sont observées, s'accroissent au fur et à mesure que le niveau de stress devient plus sévère. Les différentes accumulations de ces métabolites ont variés selon l'organe et le degré de stress, l'accumulation des sucres, des protéines et la dégradation des chlorophylles est plus élevée dans les feuilles de la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> vague de croissance aux températures extrêmes (-10°C et 44°C) et durant les saisons hivernale et estivale alors que l'accumulation de la proline est plutôt racinaire.</p> <p>Pour l'ensemble des résultats concernant les paramètres morphologiques, durant la période où le stress thermique est sévère (saison hivernale et estivale), une réduction de la hauteur, de la biomasse, et une augmentation de la longueur de la partie racinaire ainsi qu'une allocation préférentielle de biomasse vers les racines a été toutefois enregistrée.</p> <p>Une approche écophysio logique consistant à mesurer la résistance stomatique montre que les jeunes plants de chêne vert ont montré une meilleure capacité de résistance suite à la fermeture de leurs stomates en réponse à l'élévation de la température et l'éclairement.</p> <p>Ces changements dans les marqueurs prouvent que le <i>Chêne vert</i> possède une capacité d'adaptation à la variabilité thermique.</p>	
<b>Mots clés :</b> <i>Quercus ilex L.</i> , Températures extrêmes, proline, sucres solubles, protéines, chlorophylle, Résistance stomatique.	
Laboratoire de recherche : <b>Laboratoire de développement et valorisation des ressources phytogénétiques.</b>	
Directeur de recherche : <b>Monsieur: ALATOU Djamel.</b>	<b>Prof. Université de Constantine.</b>