

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

*Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de
Magistère en Biologie Végétale*

OPTION

Ecophysiologie et biotechnologie végétale

N° d'ordre :

N° de série :

THEME

Comportement des semis du Cèdre de l'Atlas en conditions de stress thermique

Présenté par :
M^{elle} ABDESSEMED Sanna

Devant la commission d'examen :

Président : Pr RAHMOUNE Chaâbane

Rapporteur : Pr ALATOU Djamel

Examineur : M.C Bentouati Abdallah

Examineur:Pr BENDERRADJI MedEl Habib

Université Mentouri –Constantine

Université Mentouri de Constantine

Université El Hadje lekhdare-Batna

Université Mentouri de Constantine

Remerciements

Le travail qui a fait l'objet de ce mémoire a été effectué dans le laboratoire de développement et valorisation des ressources phylogénétiques ainsi qu'au laboratoire de biochimie de l'Université Mentouri de Constantine, sous la direction du Professeur D. Alatou.

Il m'est particulièrement agréable d'exprimer ma gratitude et ma reconnaissance à Monsieur le Professeur D. Alatou. Je lui dit quelle a été ma joie de préparer ce mémoire sous sa direction. Sa disponibilité tout au long de ce travail, ses critiques judicieuses, son attention inlassable et son soutien moral. Qu'il soit assuré de ma profonde gratitude.

Mes profonds remerciements à tous les membres de cet honorable jury qui ont bien eu l'amabilité de siéger à cette soutenance et ont accepté de poser sur le présent travail leur clairvoyant regard d'évaluateur. 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 Bentouati Abdellah et Benderadji Mohamed el Kabib pour avoir accepté de participer au jury du mémoire.

Mes remerciements vont aussi à la direction de l'ONM de Batna, de m'avoir facilité l'accès aux données climatiques est personnellement M^c Bendada, j'oublie pas Ammare du laboratoire de biochimie qui ma été d'une grand aide ainsi qu'à tout les personnes qui ont participé a la réalisation de se modeste travail.

Enfin tous mes proches qui se sont investis dans ce travail, les membres de ma famille qui ont su éveiller mon sens de la curiosité et qui m'ont toujours encouragé. Un dernier remerciement à mes collègues Rima, Ahmed, Kenza, Djihane et Slimane qui m'ont apporté la force et la sérénité nécessaires pour mener à bien ce travail, mais également dans le reste de ma vie.

.

Sommaire

Introduction générale -----	1
----- Chapitre I -----	
Monographie du cèdre de l'Atlas	
1/Introduction-----	3
2/ Taxonomie et caractères botaniques-----	3
2.1/ Taxonomie-----	3
2.2/ Caractères botaniques et dendrologiques-----	5
3/ Aire de répartition-----	6
3.1/ Historique-----	6
3.2/ Situation géographique actuelle-----	6
4/ Ecologie-----	8
4.1/ Les conditions climatiques-----	8
4.2/ Conditions édaphiques et milieu végétal-----	12
----- Chapitre II -----	
Caractères généraux de la zone d'étude	
1/ Présentation de la zone d'étude-----	13
2/ Paramètres climatiques-----	16
2.1/ La pluviométrie-----	16
2.2/ Les températures-----	18
2.3/ Autres facteurs climatiques-----	21
3/ Synthèse climatiques-----	23
3.1/ Les indices climatiques-----	23
4/ Les corrections-----	28
Conclusion-----	31
----- Chapitre III -----	
Références bibliographiques et méthodes	
I - Références bibliographiques	
Introduction-----	32
1/ Les végétaux et le stress:-----	32
1.1/Définition-----	32
1.2/ Les stress abiotiques et les réponses des végétaux-----	32
2/ Stress thermique: les températures critiques-----	34
3/Généralités sur la réponse des plantes au stress thermique-----	35
4/ Effet du stress thermique sur les végétaux-----	37
4.1/ Le stress du froid-----	37
4.2/ Le stress du chaud-----	39
Conclusion-----	42
5/ Réponses des végétaux face au stress des basses températures-----	42
6/Réponses des végétaux face au stress des hautes températures-----	44
7/ Les composés synthétisés lors d'un stress thermique et taux en chlorophylle-----	47
7.1/ La proline-----	48
7.2/ Les sucres solubles-----	49
7.3/ Les protéines solubles-----	50
7.4/ La chlorophylle-----	51
8/ Les échanges gazeux foliaires et le stress-----	52
II - Matériels et méthodes-----	54
1/Matériel végétal-----	54
2/Traitements appliqués-----	54

3/Paramètres mesurés	54
3.1/Paramètres morphologiques	54
3.2/Paramètres biochimiques	55
3.3/ Mesure de la résistance stomatique	55
4/ Modalités d'interprétation	55

-----*Chapitre IV*-----

Résultats et discussions

I - Analyses des températures tri horaires pour la période 2005-2008	57
1/ Analyse des températures extrêmes	57
1.1/ Analyse descriptive des données thermiques	57
1.2/Analyse des durées et des fréquences des températures extrêmes	59
1.3/Comparaison des (Tmin, Tmax) du même mois de la saison hivernale et des gelées	65
1.4/Comparaison des (Tmin, Tmaax) du même mois de la saison estivale	65
1.5/Comparaison des (Tmin, Tmax) pour chaque saison des 4 ans	66
1.6/Comparaison des (Tmin, Tmax) de la même saison entre les 4 années	67
2/ Les différents stress observés durant l'année 2008	68
2.1/Amplitude thermique de l'année 2008	69
2.2/ Cinétique des stress observés durant l'année 2008	69
II - Les paramètres biométriques	74
1/Effet des variations thermiques saisonnières sur les paramètres biométriques des semis du cèdre de l'Atlas:	74
1.1/ La hauteur de la partie aérienne	74
1.2/ Les variation du poids frais et du poids sec de la partie aérienne	75
1.3/ Les variation du poids frais et du poids sec de la partie souterraine	76
1.4/ Le rapport de biomasse sèche partie aérienne/partie souterraine	77
1.5/ Taux de mortalité	78
III - Les paramètres biochimiques	79
A/ La réponse des semis en chambre de culture face au stress thermique	79
1/Accumulation des sucres solubles	79
1.1/ Les basses températures	79
1.2/ Les hautes températures	81
1.3/ Effet de la contrainte thermique sur l'accumulation des sucres solubles	83
2/ Variation des teneurs en proline	84
2.1/ Les basses températures	84
2.2/ Les hautes températures	85
3/ Variation des teneurs en protéines totales	88
3.1/ Les basses températures	88
3.2/ Les hautes températures	90
3.3/Effet de la contrainte thermique sur la variation des teneurs en protéines total	92
4/ Effet de la contrainte thermique sur la synthèse chlorophyllienne	93
4.1/ Les basses températures	93
4.2/ Les hautes températures	98
4.3/ Variation des teneurs en chlorophylle totale en fonction des différents niveaux de stress thermique	103
5/La résistance stomatique en conditions naturelles	104
5.1/Evolution de la résistance stomatique	105
B/ Réponse des semis en conditions naturelles	106
1/Effet des variations thermiques inter saisonnière sur l'accumulation des sucres solubles	
1.1/ Variation saisonnière	106
1.2/ Accumulation des sucres solubles au niveau de la plante entière	107

2/Effet des variations thermiques inter saisonnière sur les teneurs en proline -----	108
2.1/ Variation saisonnière -----	108
2.2/ Variation du taux de proline dans la plante entière-----	109
3/Effet des variations thermiques inter saisonnière sur la synthèse chlorophyllienne-----	110
3.1/ Les chlorophylles (a) et (b) -----	110
3.2/ La chlorophylle total et le rapport a/b -----	110
Conclusion -----	116
Références bibliographiques-----	119
Annexes -----	128

Introduction

Pourquoi s'inquiéter des changements climatiques ? Parce que des faits sont observables. Au cours du dernier siècle, la température moyenne s'est accrue. On doit également noter que les 10 années les plus chaudes du dernier siècle sont survenues depuis 1980. La communauté scientifique prévoit que le réchauffement climatique pourrait entraîner des perturbations des cycles naturels et une augmentation des événements climatiques exceptionnels. Les changements climatiques futurs auront probablement un impact irréversible. Prédire la réponse du vivant à de futurs changements climatiques peut se révéler très complexe. Un bilan prospectif pour la région méditerranéenne a été réalisé par **LE Houérou, 1990** qui qu'il est bien difficile de se faire une idée précise de l'impact que pourraient avoir ces changements sur la végétation, dans un laps de temps de quelques décennie c'est-à-dire relativement bref à l'échelle de la restructuration éventuelle de la végétation. Du point de vue thermique, les fourchettes fournies se situent entre une élévation de 0 et 2 à 2,5 °C sur une trentaine d'année. En effet, si la couverture végétale de la région méditerranéenne est réduite, la diminution des précipitations sera accompagnée d'une puissante dynamique érosive des versants et, dans le meilleur des cas, d'une dégradation de la qualité du sol. L'adaptation des espèces arborées composant ces écosystèmes pourrait s'avérer difficile car la vitesse de changement climatique pourrait ne pas leur permettre de migrer progressivement vers des aires plus favorables.

Les écosystèmes forestiers méditerranéens sont composés d'arbres à feuilles sclérophylles et décidus ainsi que de conifères dont des espèces endémiques et emblématiques telles que le cèdre de l'atlas "*Cedrus atlantica*". Les aires de répartition de ces espèces ont varié sensiblement durant les derniers 20 millénaires en relation avec les changements climatiques globaux.

Bréda et Badeau rappellent que les espèces d'arbres forestiers présentent des réponses contrastées aux aléas climatiques, en fonction de leur sensibilité au déficit en eau ou à la sévérité des températures. L'espèce végétale étudiée dans ce mémoire, ***Cedrus atlantica*** ou cèdre de l'Atlas, n'est peut être pas la plus importante ou la plus nécessaire des réalités naturelles d'Afrique du Nord, mais c'est certainement l'une des plus prestigieuses. Elle représente l'essence noble par excellence des pays constituant son aire naturelle : le Maroc et l'Algérie. Le simple fait d'avoir associé « Atlas » au nom de l'espèce traduit toute son importance. Le dépérissement du cèdre n'est pas nouveau, les premiers signalements ont été observés en 1982, l'état des cédraies s'est aggravé ces dernières années par le phénomène des changements climatiques, c'est-à-dire l'élévation de la température, et de la modification des régimes pluviométriques.

La sécheresse serait la principale cause du phénomène de dépérissement du cèdre de l'Atlas dans la région des Aurès et particulièrement le Belezma. En effet ce sont des dizaines voire des centaines d'hectares de forêts de cèdre qui sont touchées par le dépérissement. La mortalité, stade ultime du phénomène, concerne à la fois individus et peuplements (massifs forestiers), une récente étude réalisée par des experts d'un laboratoire de recherche de l'université américaine de l'Arizona a révélé que 62% du phénomène de dépérissement est dû aux périodes rapprochées de sécheresse enregistrées entre 1998 et 2002.

Donc le cèdre est confronté à un stress thermique et à une sécheresse susceptible de se répercuter sur le comportement de l'essence sachant que lors d'une contrainte thermique, des modifications de la morphologie, de la physiologie et du métabolisme sont observés au niveau de la plante entière. Une analyse climatique portant sur la zone de Batna pour une période de 10 ans réalisée afin d'évaluer la variabilité des températures extrêmes des deux saisons (froides et chaudes) ; notre objectif est de traiter statistiquement des données climatiques recueillies auprès du service météorologique de Batna afin de définir les fréquences, la durée et l'intensité de ces stress, la variabilité des températures mensuelles et leurs incidences sur le cèdre. Après la fixation des températures qui peuvent susciter un stress thermique, on a procédé après l'élevage des semis en chambre de cultures en conditions contrôlées, et après un stress thermique froid ou chaud d'une durée de trois heures au dosage de quelques marqueurs biochimiques tel que l'accumulation des sucres solubles, la variation de la teneur en proline, des protéines solubles et enfin l'impact sur le contenu en chlorophylle totale. Ensuite notre étude s'est attaché à suivre le comportement des semis dans les conditions naturelles ou les variations pluviométriques et surtout thermiques et conditionnent la survie des semis. Un suivi saisonnier sera établi au niveau des marqueurs biochimiques comme les sucres pour tester sa capacité d'endurcissement, la proline pour estimer sa résistance et l'intensité du stress. L'analyse écophysiological étudiera la capacité de régulation stomatique des échanges gazeux foliaires. Des mesures de la croissance sont aussi réalisées.

Chapitre I

Monographie du cèdre de l'Atlas

- 1/ Introduction
- 2/ Taxonomie et caractères botaniques
- 3/ Aire de répartition
- 4/ Ecologie

1/Introduction

Cedrus atlantica, *Arz el Atlas* en Arabe ou *Bignoun* en berbère, est l'une des espèces économiquement et écologiquement les plus importantes de la montagne méditerranéenne. Le plaidoyer de Michel TARRIER et de Jean DELACRE (2006) en faveur des cédraies cerne bien les causes de cette importance :

« Par la biomasse qu'elle engendre, pour sa fonction protectrice du sol et parce qu'elle est la formation essentielle s'inscrivant dans le rôle salubre et légitime de « ceinture verte » de l'Atlas, ultime rempart contre la désertification menaçante, pour être un incommensurable réservoir génétique où prospère une riche biodiversité, pour l'outil fidèle que son ambiance forestière représente pour les collectivités locales et les populations rurales (vocation sylvo-pastorale, bois de chauffe, bois d'œuvre, plantes médicinales, loisirs) et pourquoi pas pour la dimension poétique, esthétique et culturelle qu'elle induit, la cédraie joue un rôle considérable à l'échelle nationale et méditerranéenne. »

2/ Taxonomie et caractères botaniques

2.1/ Taxonomie

Le genre *Cedrus* Link (1841) appartient à la systématique suivante:

Embranchement des Spermaphytes ;

Sous embranchement des Gymnospermes

Classe des Vectrices ;

Ordre des Coniferales ;

Famille des Pinacées ;

Sous famille des Abiétés ;

Genre *Cedrus* ;



Bien que sa valeur taxonomique exacte soit controversée, certains auteurs comme HOLMBE en 1931, MAIRE en 1952 et DAVIS en 1952 cités par QUEZEL (1980) ont ce taxon intégré dans une seule espèce : *Cedrus libanotica* Link.

Cependant, la plupart des auteurs ARBEZ et *al* (1978), QUEZEL (1980), BARITEAU et FERRANDES (1992) le classe en 4 espèces montagnardes dont trois méditerranéennes : Cèdre de l'Atlas ou *Cedrus atlantica* Manetti (Maroc et Algérie) ; Cèdre du Liban ou *Cedrus libani* A. Rich (Liban, Syrie et Turquie) ; Cèdre de Chypre ou *Cedrus brevifolia* Henry (Chypre) et une espèce himalayenne Cèdre de l'Himalaya ou *Cedrus deodara* G. Don (Inde et Afghanistan).

La première espèce fait l'objet de ce mémoire. Elle est endémique des montagnes nord africaines. La seconde est présente en Asie mineure, au Liban et en Turquie. La répartition de *Cedrus brevifolia* est plus confidentielle. En effet, elle ne couvre que quelques dizaines d'hectares dans l'île de Chypre. Enfin, *Cedrus deodara* est la plus répandue des espèces, elle peuple une partie de l'Inde, de l'Afghanistan et du Népal (TOTH, 2005).

Des études récentes utilisant des marqueurs biochimiques (les isoenzymes), montrent que le cèdre de l'Atlas et le Cèdre du Liban sont proches et peu différenciés l'un de l'autre, mais se distinguent clairement du Cèdre de l'Himalaya et celui de Chypre (PANESTSOS et *al* ; 1992).

Ces quatre espèces se distinguent selon différents critères repris dans le tableau (1).

Tableau 1: Caractères botaniques et biologiques des quatre espèces du cèdre
(FARJON, 1990 et TOTH, 2005)

Espèces	<i>C. atlantica</i>	<i>C. libani</i>	<i>C. brevifolia</i>	<i>C. deodara</i>
Taille des aiguilles (cm)	1 à 2.5	1 à 3.5	0.5 à 1.5	2 à 6
Cônes - longueur (cm) -diamètre (cm)	5 à 8 3 à 5	8 à 12 3 à 6	5 à 10 3 à 6	7 à 13 5 à 9
Graine- longueur (cm) - envergure (cm)	0.8 à 1.3 2.5 à 3.5	1.0 à 1.4 3.5 à 4.0	0.8 à 1.4 3.0 à 4.0	1.0 à 1.5 3.5 à 4.5
Epoque de pollinisation	mi - septembre	mi - septembre	début septembre	début novembre
Durée de maturité	2 ans	2 ans	2 ans	1 ans

2.2/ Caractères botaniques et dendrologiques

- **Le port** : c'est un arbre de haute taille, dépassant souvent 50m, et en moyenne 40m dans les peuplements soit anciens en sol profond, soit serrés (BOUDY, 1952 ; TOTH, 1990). Le port de l'arbre est pyramidal avec un fût droit, cime régulière et pointue à flèche courbée quand il est jeune ou d'âge moyen, il prend une forme tabulaire en vieillissant (BOUDY, 1952).

- **Racines** : le système racinaire est développé, mais rarement pivotant et la stabilité de l'arbre est assurée (BOUDY, 1952).

- **Ecorce** : lisse et brune quand il est jeune, puis petites écailles grises foncés, enfin crevasses sinueuses quand il est âgé.

- **Feuilles** : aiguilles persistantes 3-4 ans, aiguës, assez rigides, 15 à 20mm, leur couleur allant du vert clair foncé ou glauque jusqu'au bleu. Sur rameaux longs : isolées et soudées à l'écorce ; sur rameaux courts : par rosettes (BOUDY, 1952 ; TOTH, 1990).

- **Les organes reproducteurs** : le cèdre est une espèce monoïque. Floraison en automne ; les fleurs mâles sont des chatons cylindriques dressées, jaunes verdâtres ; les fleurs femelles : chatons ovoïdes (cônes) dressés, vert bleuâtre (JACAMON, 1987).

- **Fruit** : la maturité des cônes dure 2ans après la floraison, de couleur brune violacée, ils ont 5-8 cm de dimension. Atteignent au plus 10cm (QUEZEL et SANTA, 1962).

- **Graine** : triangulaire, grosse, 10-15 mm, marron roux se termine par une large aile, très résineuse enveloppée dans une pellicule résineuse protectrice.

- **Longévité** : sa longévité parait fabuleuse dépasse certainement 600 à 700 ans, on lui attribue 1000 ans et plus (CHEBOUKI, 1994 ; ARNAUD, 1997), il peut donner des graines fertiles jusqu' un âge avancé (BOUDY, 1952).

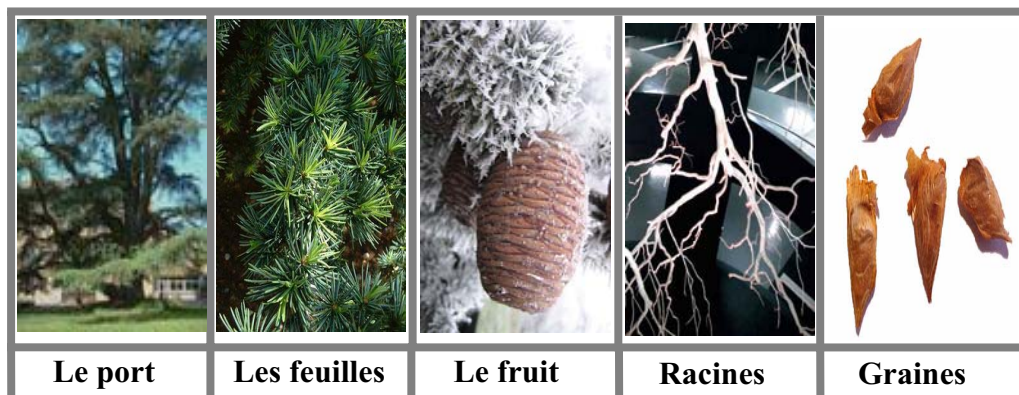


Figure 1: Caractères botaniques

3/ Aire de répartition

3.1/ Historique

La présence de *Cedrus atlantica* en Afrique du nord n'est pas récente. Il y est certainement établi depuis le Pléistocène moyen, voir inférieur. Cependant sa répartition ne fut pas toujours celle que nous connaissons actuellement. Aux pays du Maghreb il a été identifié par le pollen dans le Hoggar (PONS et QUEZEL ,1958 in ABDESSEMED, 1982), au Sud et au Nord-Ouest de la Tunisie, dans le Rif, le Moyen Atlas et le Haut Atlas Oriental (Maroc), montrant ainsi la vaste distribution des lointains ancêtres des cèdres (NADJAH, 1988).

D'une manière générale, il semble que son ancienne aire naturelle, plus ou moins étendue en fonction des différents paléoclimats, montrait des frontières plus orientales, en Tunisie et méridionales, dans le Haut Atlas, que l'actuelle (DAMBLON, 1989). En plus de cette migration longitudinale et latitudinale, on constate une variation altitudinale de l'arbre au cours du temps.

3.2/ Situation géographique actuelle

✓ Aire naturelle

Le cèdre de l'Atlas est localisé sur les montagnes du Maghreb ; le Maroc détient à lui seul la plus grande surface, répartie sur deux blocs d'inégale importance, le premier dans le moyen Atlas et le grand Atlas oriental (116 000 ha), le second dans le Rif occidental et central avec une superficie d'environ 16 000 ha (M'HIRIT, 1982).

En Algérie, les massifs cédraies sont dispersées et beaucoup plus réduits qu'au Maroc. Le cèdre occupe une surface d'environ 30 000 ha répartie sur deux ensembles naturels, d'écologie sensiblement différente : le premier est localisé sur les montagnes littorales bien arrosées (Babors, massif de Djurdjura, l'Atlas Blidéen, Ouarsenis), ce sont les cédraies humides. Le second ensemble est le plus important du point de vue superficie, il occupe les montagnes méridionales continentales de l'Atlas saharien, ce sont les cédraies sèches. Il est représenté à l'Est par les cédraies des Aurès et de Belezma, qui couvrent 17 000 ha environ, réparties entre les massifs de Chélia, S'gag, Aidel, Ouled yacoub et du Belezma, à l'Ouest les massifs de Maadid, Boutaleb et Guthiane (Hodna). Ces dernières sont réparties en cantons isolés couvrant environ 8 000 ha (NEDJAH, 1988).

La carte que Roche (2006) est utilisé (figure 2) donne une bonne idée de la localisation de ces îlots. On trouve d'est en ouest :



1. Massif de l'Aurès,
2. Monts de Belezma,
3. Monts du Hodna,
4. Djbel Babor,
5. Massif du Djurdjura,
6. Monts de Blida,
7. Massif de l'Ouarsenis.

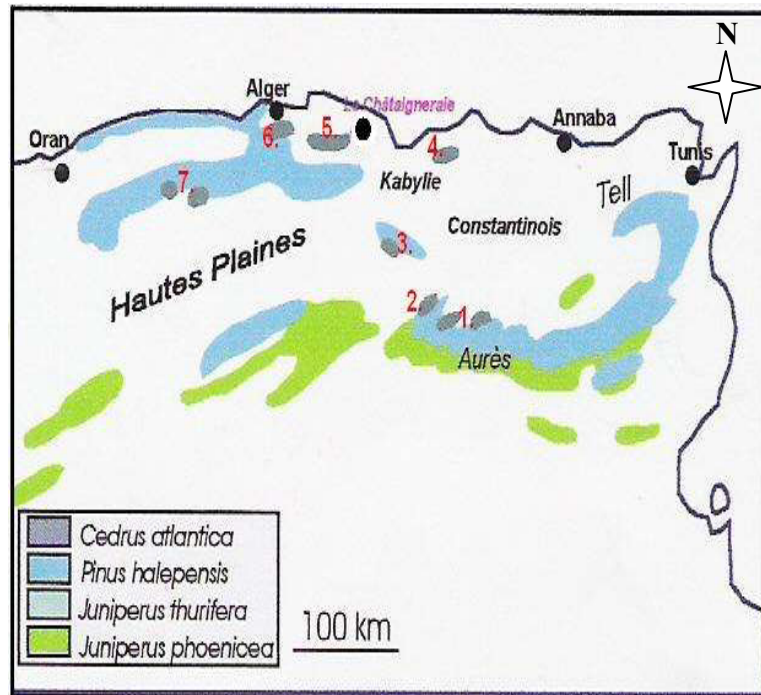


Figure 2: Localisation de *Cedrus atlantica* en Algérie (Roche, 2006)

✓ Aire d'introduction

Le cèdre de l'Atlas espèce circumméditerranéenne a été utilisé en dehors de son aire naturelle d'abord comme espèce ornementale ensuite comme espèce de reboisement. Les principaux pays dont il a été introduit sont :

• France :

Son introduction remonte à 1862, sur le flanc du Mont Ventoux. Depuis lors, la France est en tête des pays possédant des cédraies en dehors de l'aire naturelle de l'espèce. Une des raisons de son importance est son utilisation pour reboiser les grands espaces forestiers laissés libres par les froids intenses, les grands incendies ou encore les attaques d'insectes ravageurs de ces dernières années (TOTH, 1980 ; BARRITEAU et FERRANDES, 1990). Aujourd'hui, *Cedrus atlantica* est présent plus ou moins abondamment dans 25 départements de la partie méridionale du pays (TOTH, 2005). *Cedrus atlantica* couvre environ 20.000 ha de forêts avec un taux de boisement de plus ou moins 1.000 ha/an. Sa progression ne devrait pas s'arrêter là, car son aire potentielle serait de 200 000 ha (FABRE, 1994). Les forestiers spécialisés estiment qu'il présente de fortes potentialités pour la reconstruction de la forêt méditerranéenne française.

• **Italie :**

Le cèdre de l'Atlas est également utilisé dans ce pays comme espèce de reboisement. Son introduction remonte au 19ème siècle, période où il fut planté en Toscane. Depuis, les cèdres peuplent sur près de 1.000 ha plusieurs régions du sud et du centre de l'Italie (MICHELE et al, 2001). Andrea et Roberto (1994), tout comme Pandolfi et al (1996), renseignent aussi le cèdre au centre de l'Italie, les premiers au sud de la montagne Pratomagno, les seconds dans la région de Marche.

• **Bulgarie :**

Les premiers cèdres de Bulgarie ont été plantés en 1876. Delkov et Grozev (1994) précisent qu'on peut les trouver dans divers endroits du pays.

• **Hongrie :**

Csaba M. (1994) relate la bonne tenue de *Cedrus atlantica* en Hongrie, avec pour exemple des stations situées dans les montagnes au nord-est du Danube.

• **Autres**

Lasram (1994) indique que *Cedrus atlantica* a été introduit en **Russie** comme espèce de reboisement, sans donner plus de précisions sur son implantation. Toth (2005) parle de l'introduction du cèdre au **Portugal** en 1935, mais il n'indique pas si ces peuplements ont perduré.

M'hirit (1994) signale son introduction dans quelques états des **Etats-Unis** : Pennsylvanie, New York, Côte pacifique. Il cite également des reboisements sur grande échelle en Crimée (**Ukraine**) et dans le Caucase.

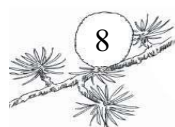
4/ Ecologie

4.1/ Les conditions climatiques

Le climat conditionne l'existence même de l'arbre, les principaux facteurs du climat sont l'air, la température, l'eau atmosphérique, les vents, la lumière et les divers phénomènes météorologiques qui en découlent, tels que gelées, givre, verglas, grêle, neige, brouillards, insolation, etc.

✓ **L'altitude**

Au point de vue de l'altitude, AUSSENAC et GUEHL (1990) soulignent que le cèdre dans son aire d'origine pousse à des altitudes variant de 1400 à 2200, ses limites supérieures et inférieures différent d'une cédraie à l'autre en fonction des conditions climatiques du relief.



En Algérie :

Le cèdre occupe partout les sommets des montagnes (DERRIDJ, 1990), il s'installe sur les versants nord, d'une façon générale, à 1400m bien qu'il peut descendre encore plus bas à la faveur de conditions microclimatiques particulière (EMBERGER, 1938 ; ABDESSEMED, 1982). Sur les versants sud, il existe un décalage de 200m en moyenne pour le Chélia mais peut atteindre 400 à 500m comme au Belezma. Les limites inférieures se situent donc sur les versants méridionaux vers 1600m.

La limite supérieure est de 2200m pour les deux versants bien que des individus isolés arrivent jusqu'à 2300m (ABDESSEMED, 1982).

✓ La pluviométrie

Le cèdre reçoit dans ses pays d'origine des lames de pluies annuelles comprises entre 450 et 1500mm (PUTOD, 1979). En Algérie les cédraies reçoivent une tranche pluviométrique variant de 500mm à 1400mm environ (TOTH, 1980 ; HALIMI, 1980). Selon BENABID (1994), cette dernière est largement dépassée, elle atteint 2000mm au Maroc. Dans les cédraies sèches (**Aurés, Belezma, Hodna**) le HOUEROU (1975) donne 600mm de précipitations comme limites inférieures.

Cependant, la répartition des pluies est irrégulière, la saison la plus sèche est l'été ; en effet, QUEZEL (1976) a souligné que les forêts de cèdre du pourtour méditerranéen subissent une sécheresse estivale de 1 à 3 mois.

✓ La température

Le cèdre croît sous des températures moyennes annuelles comprises entre 8 et 4 C⁰ (BOUDY, 1950 ; PUJOS, 1964 ; TOTH, 1980 ; DERRIDJ, 1990).

En ce qui concerne les températures moyennes des minima du mois le plus froid, les cédraies peuvent tolérer des valeurs comprises entre « -1 » et « -8 » C⁰ (BENABID, 1994 ; QUEZEL, 1980). Par ailleurs le HOUEROU (1975) donne les valeurs suivantes pour les cédraies de l'**Aurése, Belezma** et **Hodna** « -2 C⁰ » caractérise la limite inférieure et « -5 C⁰ » pour la limite supérieure. Le cèdre résiste à « -25 C⁰ » en atmosphère sèche (GAUSSEN, 1967), il vit dans ses pays d'origine avec des extrêmes absolus de « -25 C⁰ » et « +35 C⁰ » (PUTOD, 1979).



✓ **Étages bioclimatiques**

Selon la classification d'EMBERGER, le cèdre de l'Atlas se trouve dans diverses étages bioclimatiques : les étages semi-aride à hiver froid et humide, sub-humide à hiver froid, humide à hiver froid et humide et humide à hiver frais (AUSSENAC, 1984).

Mais il trouve son optimum écologique dans le bioclimat méditerranéen humide à hiver froid. Quand le bioclimat devient humide et plus doux, le cèdre est fortement concurrencé par d'autres espèces.

En Algérie MEDOUR (1994) souligne que les cédraies septentrionales (Atlas Blidéen, Djurdjura et le massif de Babors) sont soumises à un bioclimat humide, variante fraîche voire perhumide. Tandis que la majorité des cédraies méridionales (Aurèse, Belezma, Hodna) sont soumises aux bioclimats subhumide froid et très froid (ABDESSEMED, 1984 ; M'HIRIT, 1982).

Notons que ABDESSEMED (1982) a signalé la présence de cette espèce dans les Aurès sous le bioclimat semi-aride supérieur. La figure (16) montre son aire de répartition sur le climagramme d'EMBERGER.

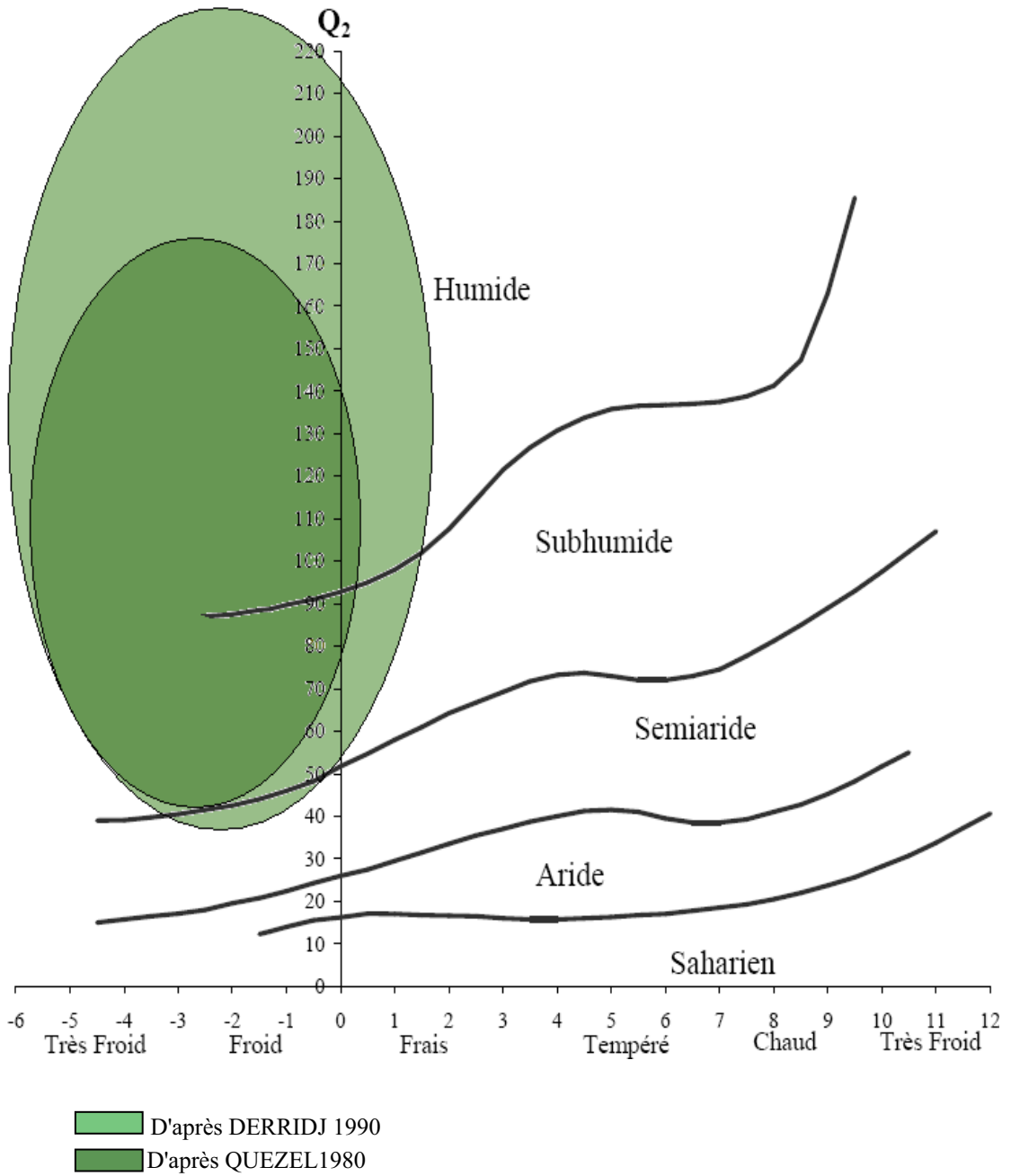


Fig3: Aire de répartition du Cèdre de l'Atlas en Algérie sur le climagramme d'EMBERGER

4.2/ Conditions édaphiques et milieu végétal

Les cédraies circum-méditerranéennes sont d'une façon générale localisée sur substrats calcaires (QUEZEL, 1980). En Afrique du Nord, le cèdre de l'Atlas se rencontre aussi bien sur les calcaires plus au moins compacts du lias ou marneux du jurassique moyen, que sur les schistes calcaires ou gréseux ou les grès. Les neuf dixième (9/10) des cédraies Algériennes se localisent sur les formations siliceuses et en bien moindre proportion sur les calcaires du crétacé (BOUDY, 1950). D'une façon générale il semble que c'est l'aspect physique du substrat qui joue le rôle le plus important dans le comportement écologique, plutôt que l'aspect chimique (YI, 1976 in BEGHAMI, 2003).

Le cèdre n'a pas d'exigences particulières pour le sol, mais ne vient pas dans les sols tourbeux ou humides (GAUSSEN, 1967). Il redoute les sols mal drainés, asphyxiants, hydromorphes et la texture argileuse lui est défavorable (TOTH, 1971).

Les espèces végétales associées au cèdre sont différentes selon les conditions écologiques, c'est à dire la pluviométrie, l'altitude et les conditions édaphiques. La richesse floristique des cédraies est estimée à un millier d'espèces dont environ 10% d'arbres, 15% d'arbustes et arbrisseaux et 75% de plantes herbacées annuelles ou pérennes (M'HIRIT et al. 1999).

Son association végétale, sous forme de futaie dense, présente deux types bien distincts : un faciès relativement sec qui est surtout celui de l'Algérie que l'on retrouve aussi au Maroc dans le grand Atlas Oriental, avec l'Erable de Montpellier, le Pin d'Alep, le Chêne vert, le Genévrier thurifère, le Frêne dimorphe, l'Épine vinette d'Espagne, l'Aubépine monogyne, le Buis des Baléares, etc.

Un faciès humide avec le Houx, le Chêne vert, les Erables, le Mérisier, l'Alisier blanc, l'If, le Ciste à feuille de Laurier, le Daphné, la Pivoine, la Digitale, le Cyste, les Ronces, etc (BOUDY, 1950).

Plusieurs champignons, lichens et mousses apprécient aussi l'ambiance humide des cédraies. Certaines sont exclusives du cèdre. Ces champignons peuvent être fort utiles à l'arbre. Certains ectomycorhiziens protègent ses racines par différentes voies (barrière mécanique, production de substances antibiotiques,...) (TOTH, 2005).

Donc le cèdre participe à des groupements très variés dans des conditions écologiques très diverses allant du semi-aride à l'humide et sur différent substrat (ABDESSEMED, 1981).

Chapitre III

Caractères généraux de la zone d'étude

1/ Présentation de la zone d'étude

2/ Paramètres climatiques

3/ Synthèse climatique

4/ Corrections

Conclusion

1/ Présentation de la zone d'étude

✓ Localisation géographique

La wilaya de Batna se trouve dans la partie orientale de l'Algérie entre les "4° et 7°" de longitude Est et "35° et 36°" de latitude Nord. D'une superficie de **12.011,21 Km²** (selon le cadastre de Batna), le territoire de la wilaya de Batna s'inscrit presque entièrement dans l'ensemble physique constitué par la jonction de deux Atlas Tellien et Saharien, ce qui représente la particularité physique principale de la wilaya et détermine de ce fait les caractères du climat.

✓ Le relief ou les contrastes physiques

La jonction des deux Atlas, constitue donc la particularité de la wilaya de Batna et organise en même temps la répartition des différents milieux physiques, qui sont définis comme suit:

☒ Les hautes plaines Telliennes

Au Nord nous distinguons le domaine des hautes plaines telliennes qui matérialisent la limite Nord de la wilaya (représente 16% de la surface totale de la wilaya), particulièrement avec la série des petits chotts tels que: chott Beida, chott Taricht, etc. Dans cette partie de la wilaya les altitudes varient de 800 à 1000 m et les pentes excèdent rarement 3%. Selon les chiffres des services des forêts de la wilaya, la superficie forestière de cette zone est évaluée à **57.476ha** ce qui représente 25% de la surface forestière de la wilaya.

☒ Les reliefs montagneux "jonction des deux Atlas"

L'Atlas Tellien par l'ensemble des monts du Hodna, du Bou Taleb, les monts de Belezma et l'Atlas Saharien par les Aurès, le Dj Metlili et les Monts du Zab, formant "l'ossature physique" principale de la wilaya et de ce fait constituent l'ensemble physique le plus important du point de vue superficie (il représente 45% de la surface totale de la wilaya). En effet, les surfaces forestières vont se trouver localisées sur les sommets et quelques versants intacts des reliefs montagneux, ils sont évalués à **160.149ha** soit 70% de la surface forestière totale de la wilaya.

☒ Les hautes plaines steppiques

Situées dans la partie Ouest de la wilaya, elles se trouvent encadrées au Nord par les monts du Hodna, à l'Est par les monts du Bellezma et le Dj Metlili et au sud par le versant

Nord des monts du Zab constitué par les Dj Ammar, Mekmizane et Bouzokma. Cette région peut être scindée en trois zones:

- * La zone des glaciers immédiatement en contrebas des reliefs montagneux;
- * La plaine du Hodna;
- * La zone du chott.

✓ **Pédologie**

Aucune étude pédologique approfondie n'a été faite, les principaux types de sol rencontrés dans la cédraie cite par SCHOENEGER (1970) et ABDESSEMED (1981) se répartissent en:

- ☒ **Sols bruns calcaires** : se localisent sur substrat marneux et calcaires dans les bas versants du Dj TUGGURT et le Dj BOUMERZOUG à des altitudes variant entre 1400 et 1600 m.
- ☒ **Sols bruns faiblement calcaires** : peu répandus qui se cottonnent à Bordjem, Chelaala et Theniet el gontos sur grès. Ils se localisent entre 1600m et 2000m d'altitude dans la partie la plus arrosée de la cédraie.
- ☒ **Rendzines** : ils évoluent à partir de 1600m d'altitude et sur pentes fortes à Dj Tuggurt et à Dj Tichaou sur substrat calcaire.

✓ **Localisation de la zone d'étude**

Le massif du Belezma est séparé de l'Aurès par le couloir synclinal de Batna qu'il domine, c'est un massif au relief assez accentué et constitué par des plis orientés Sud.Ouest-Nord.Est. Il est limité au Nord par la plaine de **Merouna** et de **Ain Djaser**, à l'est par la plaine d'**El Mahder** et à l'ouest par l'**Oued Barika** qui le sépare des monts du Hodna.

Le Belezma est formé d'une série de plis plus au moins parallèles. A l'Est le premier pli est constitué par trois djebel au relief très escarpés: le Dj.Touggour (2091m); Dj.Boumerzoug (1778m) et Dj. Kasserou. Le second pli est constitué par la chaîne du Dj. Chellala qui se prolonge au Nord Est par le Dj. Maaguel et au Sud ouest par le Dj. Bordjame et Tichao (2138m). A l'Ouest du Tihao et au dessus de Merouana se dresse le pli du Dj. Refaa (2178m).

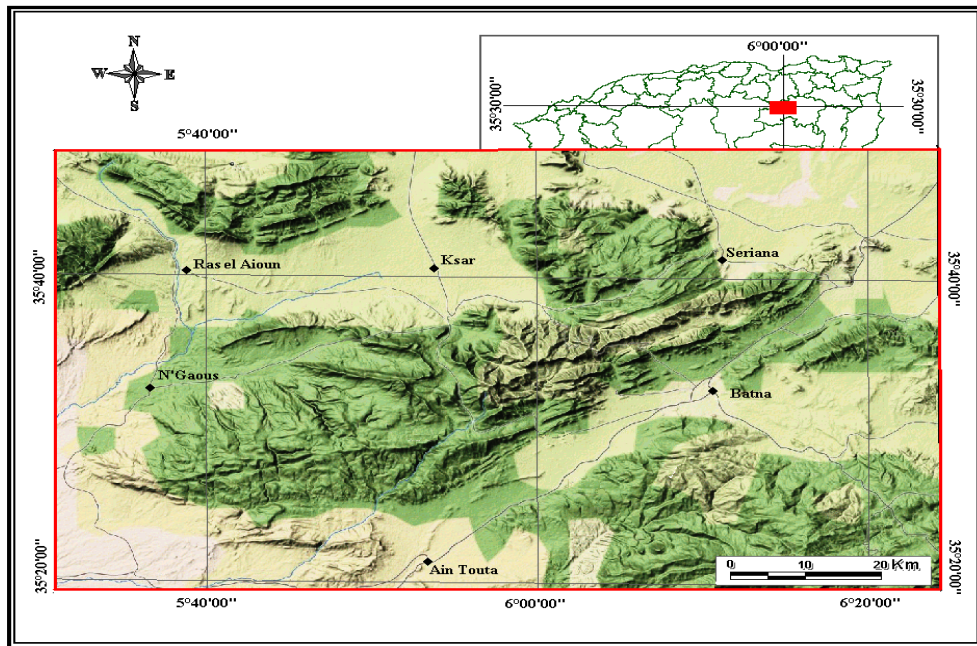


Fig4: Carte de situation de la zone d'étude «le massif du Belezma »
(Google Map)

✓ **Carte de végétation**

La carte de végétation offre une plate forme intéressante pour la connaissance de l'état actuel de la végétation (BATUNYI, 2005). La végétation se distribue en ensembles cohérents, selon des séries de végétation ou des étages de végétation en montagne et dont la répartition géographique est déterminée par les conditions du milieu, le climat et la nature des sols. La série ou l'étage se définit à travers une essence forestière dominante (GAUQUELIN, 2005). La figure 5 montre l'existence d'une véritable ceinture de chêne vert autour des peuplements de cèdre, accompagnée d'autres espèces comme: le Pin d'Alep, le Genévrier, l'Olivier et le lentisque.

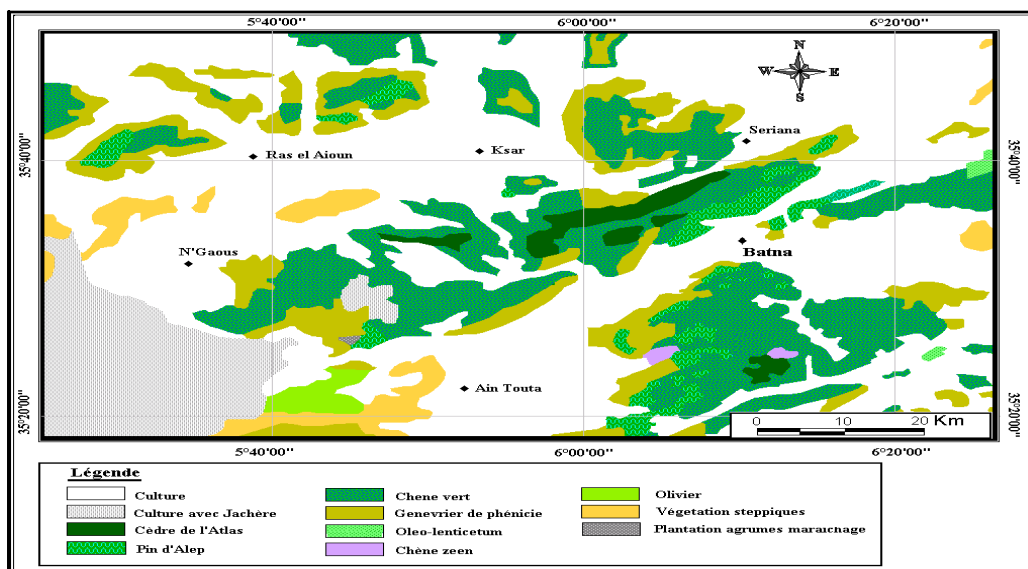


Fig5: Carte de végétation (DGF modifiée 2006)

2/ Paramètres climatiques

La pluie et la température constituent la charnière du climat, elles influencent directement la végétation. C'est pour cela et afin de caractériser le climat de notre zone d'étude, nous avons exploité les données météorologiques de la station de Batna localisée à une altitude 822m, pour une période allant de 1998-2007 (Tab2).

Tableau2 : Données climatiques de Batna pour la période (1998-2007), source (ONM).

Paramètres Mois	P (mm)	m (°C)	M(°C)	$\frac{M+m}{2}$	EVP%	Hum%	Neige (nbr de jour)	Vent m/s	Gelées (nbr de jours)
Janvier	32.24	-0.43	11.94	5.755	48.2	74.6	02	2.91	17.1
Février	20.74	0.15	13.5	6.825	64.7	68.4	1.6	3.44	14.4
Mars	25.23	3.18	18.06	10.62	112.4	60.4	0.7	3.72	6.1
Avril	40.19	6.4	21.15	13.775	144	58.2	0.00	4.06	0.9
Mai	47.7	10.68	26.62	18.65	177.9	55.7	0.00	3.8	0.00
Juin	14.31	15.03	32.69	23.86	259.8	43.7	0.00	3.87	0.00
Juillet	5.02	17.45	36.22	26.835	305	37.4	0.00	3.86	0.00
Août	17.41	17.77	35.24	26.50	287.1	41.9	0.00	3.76	0.00
Septembre	42.37	14.33	29.38	21.85	175.9	56	0.00	3.39	0.00
Octobre	20.82	10.49	24.96	17.725	139.2	58.3	0.00	3.18	0.00
Novembre	33.53	4.52	16.72	10.62	78.5	68.4	0.2	3.22	2.9
Décembre	41.78	1.25	12.07	6.66	84.9	76.8	1.7	2.99	11.2
Total	341.34	100.82	278.55	189.68	1877.6	699.8	6.2	42.2	52.6
Moyenne	28.45	8.40	23.21	15.80	156.46	58.31	0.51	3.51	4.38

2.1/ La pluviométrie

D'après l'analyse des données des 10 dernières années recueillies au près du service météorologique, Batna reçoit environ 341.34mm de pluie annuellement et une moyenne mensuelle de 28.45mm, la distribution de cette tranche est irrégulière comme le montre le tableau 01. Les maximums des pluies sont enregistrés dans le mois de Mai ; alors que le mois de Juillet ne reçoit que de faibles quantités (Fig6).

Tableau 3: Module pluviométrique (1998-2007) de la région de Batna

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Moyenne P (mm)	32.24	20.74	25.23	40.19	47.7	14.31	5.02	17.41	42.37	20.82	33.53	41.78	341,34
Max/24h P (mm)	9.76	9.16	11.9	21.96	20.22	7.77	3.21	9.61	21.23	9.17	15.04	12.54	/
Nbre de jours P	9.6	7.7	7.7	7.4	7.6	4.7	2.6	4.4	6.5	5.6	8.3	9.8	81.9

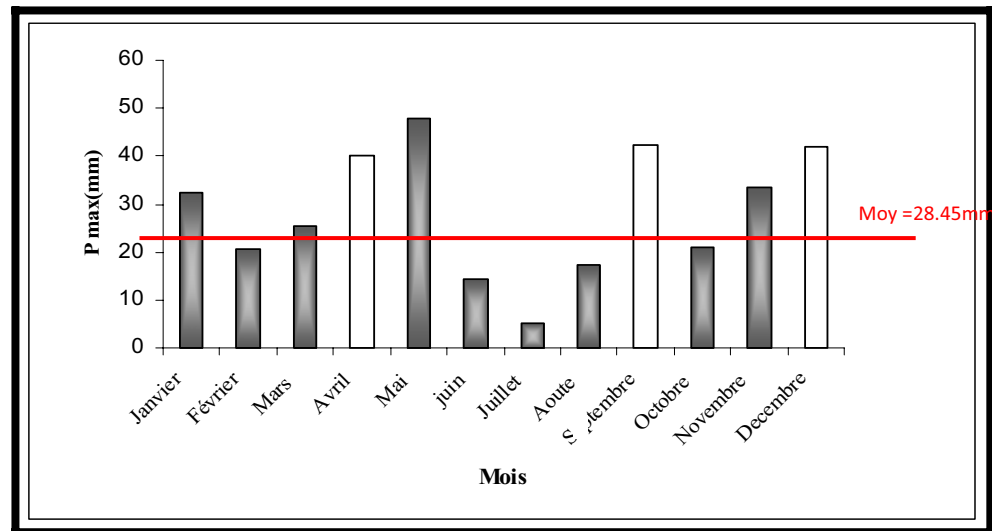


Figure 6: Moyenne des précipitations de la région de Batna

- Régime pluviométrique

Il s'agit de définir la répartition des pluies sur les quatre saisons l'année. On remarque que la station de Batna présente un régime saisonnier de type *PAHE* (Fig7).

Tableau4 : Régime saisonnier pour Batna (1998-2007).

Mois	P (mm)	Saison	Précipitations Saisonnières (mm)	Précipitations Saisonnières (%)	Régime Saisonnier
Septembre	42.37	Automne	96.72	28.33	A
Octobre	20.82				
Novembre	33.53				
Décembre	41.78	Hiver	94.76	27.76	H
Janvier	32.24				
Février	20.74				
Mars	25.23	Printemps	113.12	33.14	P
Avril	40.19				
Mai	47.7				
Juin	14.31	Eté	36.74	10.76	E
Juillet	5.02				
Août	17.41				
Total	341.34	-	341.34	100	PAHE

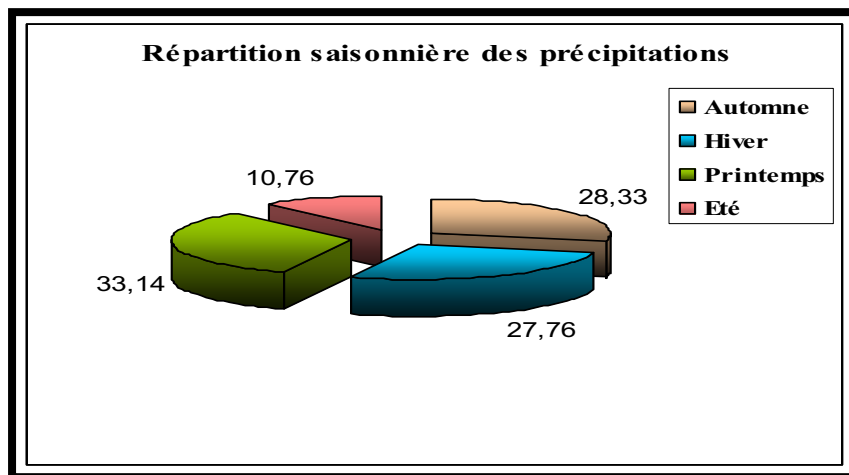


Figure 7: Répartition saisonnière des précipitations pour Batna

- **Fréquence saisonnière**

La fréquence saisonnière des précipitations est déterminée à l'aide du coefficient de fréquence qui est le rapport du nombre de jours de précipitations par le nombre de jours du mois considéré. L'office mondial de météorologie considère comme jour pluvieux, chaque jour dont la pluie est supérieur ou égale à 0.2mm en 24h. Les résultats mentionnés dans le tableau (5) concorde avec celles du régime saisonnier où la saison la plus pluvieuse et la saison automnale alors que la saison sèche est l'été.

Tableau5 : Coefficient de fréquence des précipitations journalière pour Batna (1998-2007).

Mois	S	O	N	Automne	D	J	F	Hiver	M	A	M	Print	J	J	A	Eté
NJP	6.5	5.6	8.3	20.4	9.8	9.6	7.7	27.1	7.7	7.4	7.6	22.7	4.7	2.6	4.4	11.7
Cf	0,216	0,181	0,276	0.224	0,316	0,309	0,275	0.30	0,248	0,246	0,245	0.246	0,156	0,083	0,142	0.127

2.2/ Les températures

Si les températures trop hautes peuvent avoir une influence sur le cèdre et peuvent compromettre sa régénération, les températures trop basses peuvent tuer des peuplements entiers (LAPIE; 1909 in ABDESSEMED, 1981).

❖ **Températures moyennes**

Les données des températures pour la station de Batna pour une période de 1998 à 2007 figurent sur le tableau suivant:

Tableau6 : Moyennes mensuelles des températures (1998-2007) pour Batna

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
T°min	-0.43	0.15	3.18	6.4	10.68	15.03	17.45	17.77	14.33	10.49	4.52	1.25	8.40
T°moy	5.26	6.53	10.54	13.9	18.73	24.2	27.07	26.51	21.44	17.11	10.41	6.33	15.69
T°max	11.94	13.5	18.06	21.15	26.62	32.69	36.22	35.24	29.38	24.96	16.72	12.07	23.21

La température moyenne annuelle est de 15.69°C, avec un minimum de -0.43°C enregistré pour le mois de janvier, le mois le plus chaud et juillet avec 36.22°C (Fig 8).

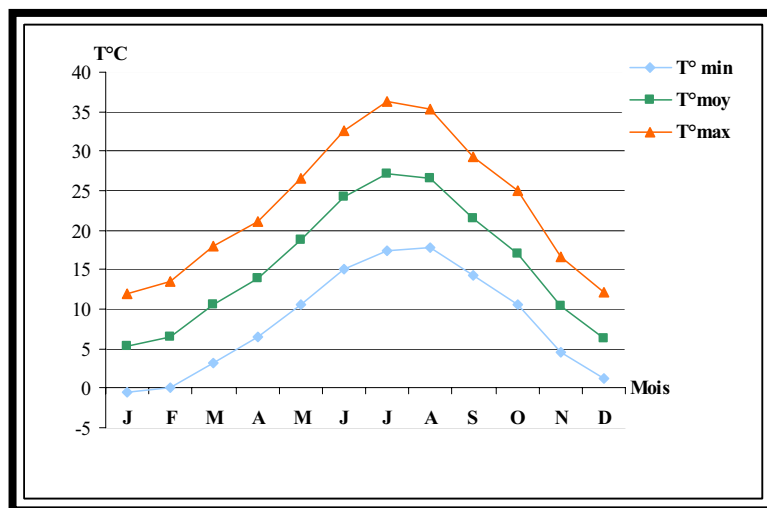


Figure8: Moyennes mensuelles des températures de la région de Batna

❖ **Températures extrêmes**

La moyenne des minima du mois le plus froid est de **m=-0.43°C** avec un minimum absolu de **-5.27°C** pour le même mois. Alors que La moyenne des maxima du mois le plus chaud est **M:36.22°C** avec un maximum absolu de 40.69°C enregistré pour le mois d'août.

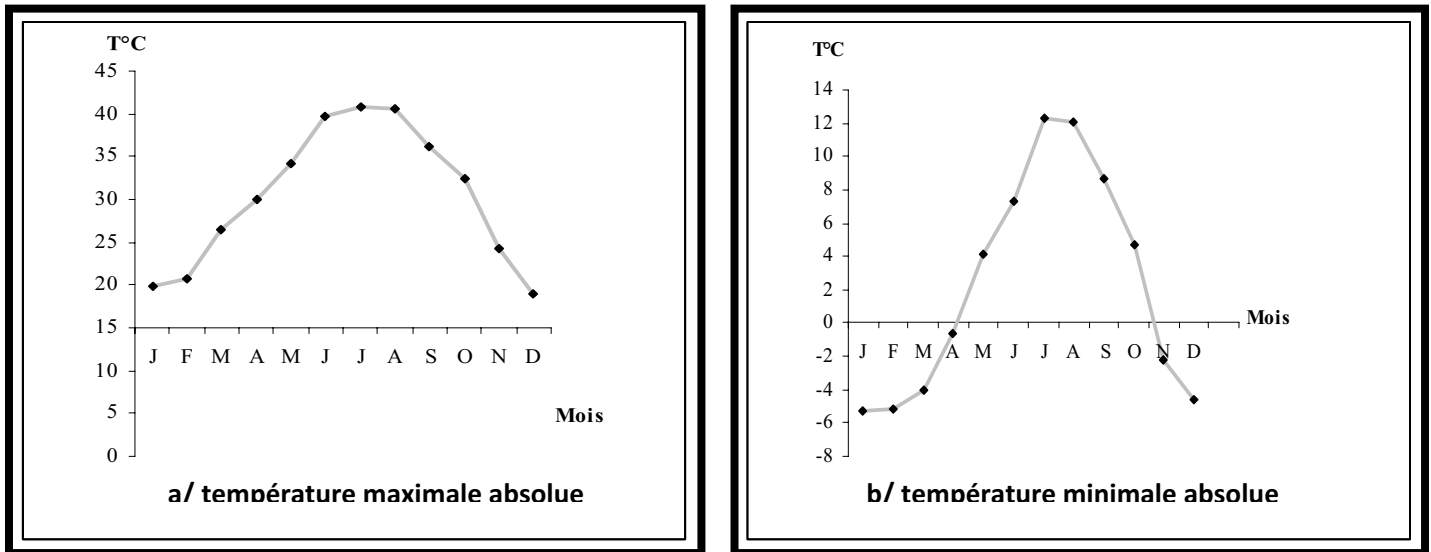


Figure 9: Moyennes mensuelles des températures extrêmes pour Batna (1998-2007)

❖ Amplitudes thermiques

La continentalité d'une station est exprimée par les amplitudes thermiques. Ces dernières sont déterminées à l'échelle de l'année ou à l'échelle mensuelle. Conventionnellement, l'amplitude annuelle est définie comme les écarts entre la température moyenne du mois le plus chaud et la température moyenne du mois le plus froid et l'on parle **d'amplitude annuelle moyenne** ou entre la température maxima du mois le plus chaud et la température minimale du mois le plus froid et l'on parle **d'amplitude annuelle maximale**, alors que l'amplitude extrême ($M - m$) représente l'écart entre les maxima et les minima extrêmes des mêmes mois. C'est ainsi que la station de Batna accuse une amplitude annuelle moyenne $AA_{moy} = 21,81^{\circ}\text{C}$, une amplitude maximale $AA_{max} = 36,65^{\circ}\text{C}$ et une amplitude extrême importante de $AAE = 45.96^{\circ}\text{C}$.

❖ Régime thermique

La température moyenne saisonnière est calculée à l'aide des valeurs mensuelles. On remarque que la station de Batna est caractérisée par :

- 1/ Un été chaud avec des températures bien au dessus de la moyenne annuelle.
- 2/ Un semestre de températures modérées durant la saison automnale et printanière.
- 3/ Une saison hivernale froide avec des températures inférieure à la moyenne annuelle.

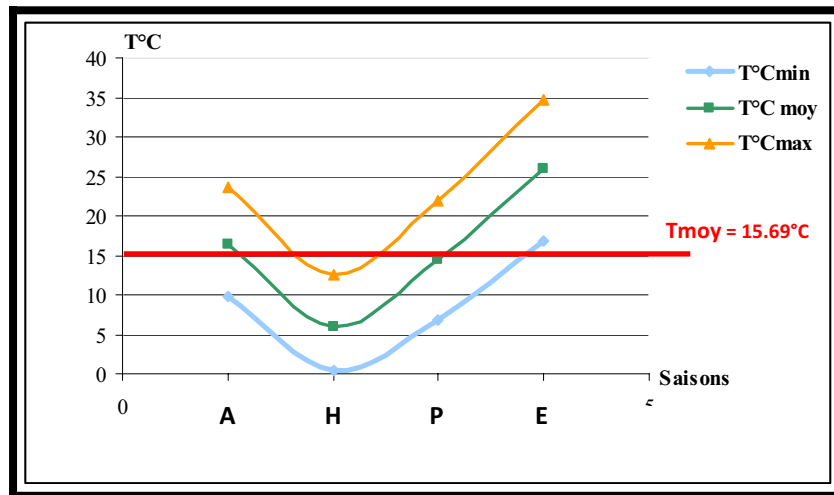


Figure 10: Variation saisonnière des températures moyennes mensuelles

2.3/Autres facteurs climatiques

✓ Humidité atmosphérique

La figure 11 représente l'évolution mensuelle de l'humidité calculée dans la station de Batna sur une période allant de 1998 jusqu'à 2007, indiquant que l'humidité moyenne et maximale est souvent supérieure à 50%, alors que l'humidité minimale est toujours très basse. L'analyse de ces résultats fait ressortir un maximum en humidité moyenne durant le mois de décembre avec 76.8% et un minimum durant le mois de juillet avec 37.4%. L'humidité relative moyenne reste toujours inférieure à 50% en été.

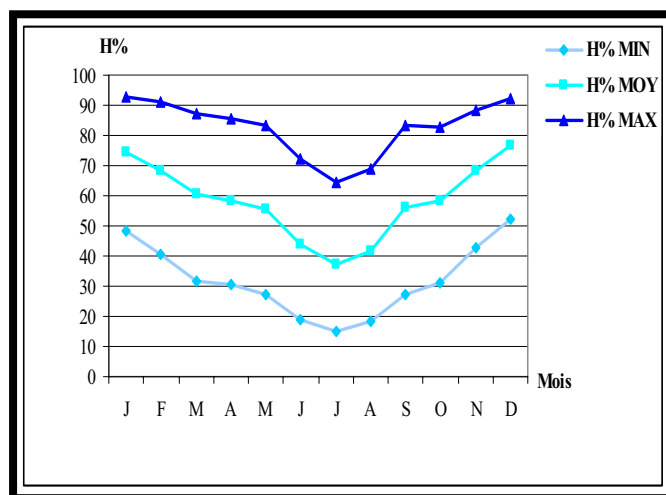


Figure 11: Moyenne mensuelle de l'humidité relative pour la région de Batna

✓ **Les vents**

La figure12 représente l'évolution mensuelle des vents de 1998 à 2007, celle-ci nous indique un maximum de 3.87m/s au mois de juin, alors que le minimum est enregistré pour le mois de janvier. L'écologiste chinois Lieu Shu (1984) considère qu'il y'a un risque sérieux de désertification lorsque la vitesse moyenne annuelle est de 2m/s à 3.8m/s au dessus du sol. Ce chiffre est en accord avec celui retenu par la FAO (Boyadgiev, 1984) ce qui nous permet de dire que notre région avec une vitesse annuelle de 3.46m/s est menacée de désertification par érosion éolienne.

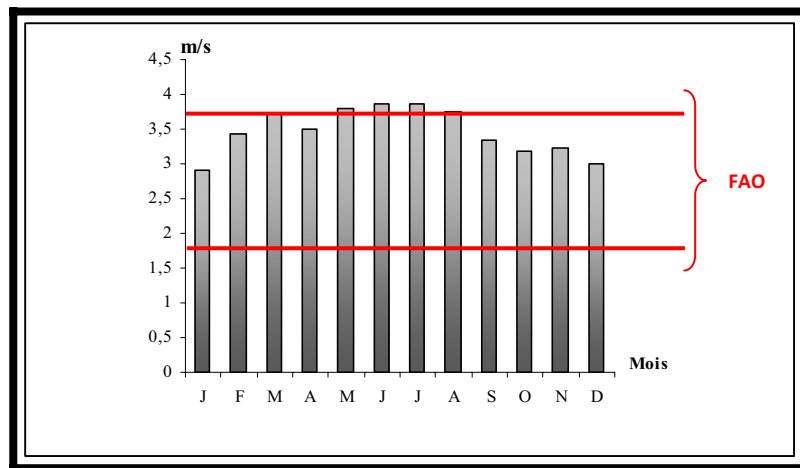


Figure 12: Vitesse mensuelle moyenne des vents pour la région de Batna (1998-2007)

✓ **L'insolation**

La lumière est indispensable à l'activité physiologique de toutes les plantes vertes, l'insolation ou coup de soleil est due à la l'action direct et intense des rayons solaires. Les données de l'insolation pour la station de Batna sont enregistrées dans le tableau7.

Tableau7: Moyennes mensuelles de l'insolation (1998-2007)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
INS moy(h)	179.2	196.9	237.2	253	285.5	309.6	350.6	314.6	258.9	236.3	182	164.4	247.32

✓ **Gelées et neige**

Les gelées avec une moyenne de **52.6** jours, se divise en gelées hivernales ou gelées noires avec une moyenne de **43 jours /90jours** et qui peuvent provoquer un soulèvement des jeunes plants dont l'enracinement n'adhèrent plus bien au sol; ce phénomène est accentué par les vents sec. D'autre part on a les gelées printanières avec une moyenne de **8 jours**, ils sont

plus nuisibles est peuvent détruire facilement les jeunes pousses. La durée de l'enneigement est importante en altitude est dépasse **64 jours** durant la saison hivernale.

3/ Synthèse climatiques

Le climat revêt une importance non seulement pour chacun des éléments qui le composent et dont nous venons de voir, mais aussi par la résultante de ces facteurs qui est l'expression même du climat.

3.1/Les indices climatiques

De nombreux indices est formules ont été élaborés pour caractériser le climat d'une région, ils font intervenir essentiellement, la conjonction température-pluviométrie.

✓ Indice de DEMARTONE

Le géographe De Martone (1929) définit l'indice d'aridité (**I**) en se basant sur la combinaison de régime thermique et hygrométrique selon la formule suivante :

$$I = P / T + 10$$

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

T : Température moyenne annuelle en (°C).

Pour la station de Batna: P = 341.34mm et T = 15.69°C; donc:

$$I = 13.286$$

Valeur de l'indice	Type de climat
0 < I < 5	Hyper aride
5 < I < 10	Aride
10 < I < 20	Semi aride
20 < I < 30	Semi humide
30 < I < 55	Humide



En plaçant cet indice sur le tableau on s'aperçoit que la station de Batna a un climat **semi aride**.

✓ **Détermination de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte**

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

- *Un régime très sec : $P / T < 1$;
- *Un régime sec : $1 < P / T < 2$;
- *Un régime subhumide: $2 < P / T < 3$;
- *Un régime humide : $P / T > 3$.

Tableau 8: Valeurs du rapport P/T

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
P (mm)	32.24	20.74	25.23	40.19	47.7	14.31	5.02	17.41	42.37	20.82	33.53	41.78
T°C	5.26	6.53	10.54	13.9	18.73	24.2	27.07	26.51	21.44	17.11	10.41	6.33
P/T	6.13	3.18	2.39	2.89	2.55	0.59	0.19	0.66	1.98	1.22	3.22	6.60

Le régime des mois est le suivant:	<ul style="list-style-type: none"> Jun Juillet Août 	}	Très sec
	<ul style="list-style-type: none"> Septembre Octobre 	}	Sec
	<ul style="list-style-type: none"> Novembre Mars Avril Mai 	}	Sub-humide
	<ul style="list-style-type: none"> Décembre Janvier Février 	}	Humide

✓ **Indice xérothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (Ix)**

Pour BAGNOULS et GAUSSEN (1957) un mois sec est défini comme un mois où le total mensuel des précipitations (P) exprimé en mm est égal ou inférieur au double de la température moyenne mensuelle (T°C). Cet indice tient compte: de la quantité de pluie, de la façon dont la pluie tombe, de l'état hygrométrique et des précipitations occultes. Cet indice n'a pu malheureusement être calculé faute de données (Fig13).

Pour déterminer la suite successive des mois secs, ces auteurs ont proposé l'établissement du diagramme **Ombrothermique** qui est une représentation graphique. Ce diagramme fait apparaître deux périodes bien délimitées :

- ✓ Une période sèche: juin, juillet, août, septembre et octobre;
- ✓ Une période humide: janvier, février, mars, avril, mai, novembre et décembre.

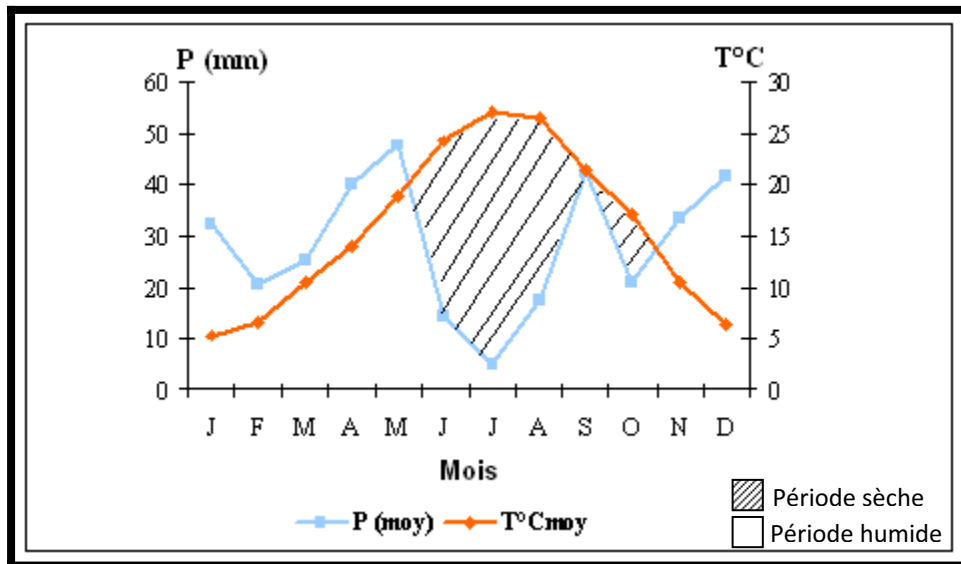


Figure 13: Diagramme Ombrothermique de la station de Batna

✓ **Quotient pluviométrique et étages bioclimatiques d'Emberger**

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

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

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

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

P : précipitation annuelle en mm.

La valeur de Q_2 n'a de sens que si on lui adjoint la valeur correspondante de m . Ces deux variables servent à déterminer, sur un graphique où Q_2 est en ordonnée et m en abscisse, toute une gamme de sous climats méditerranéens (Fig14).

Le calcul de Q_2 sur une période de 10 ans (1998-2007) est établi de la façon suivante:

$$M = 36,22 + 273,15 = 309,37 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$m = -0,43 + 273,15 = 272,72 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\Rightarrow \boxed{Q_2 = 32}$$

$$P = 341,34\text{mm.}$$

Batna avec un climat semi- aride à hiver froid.

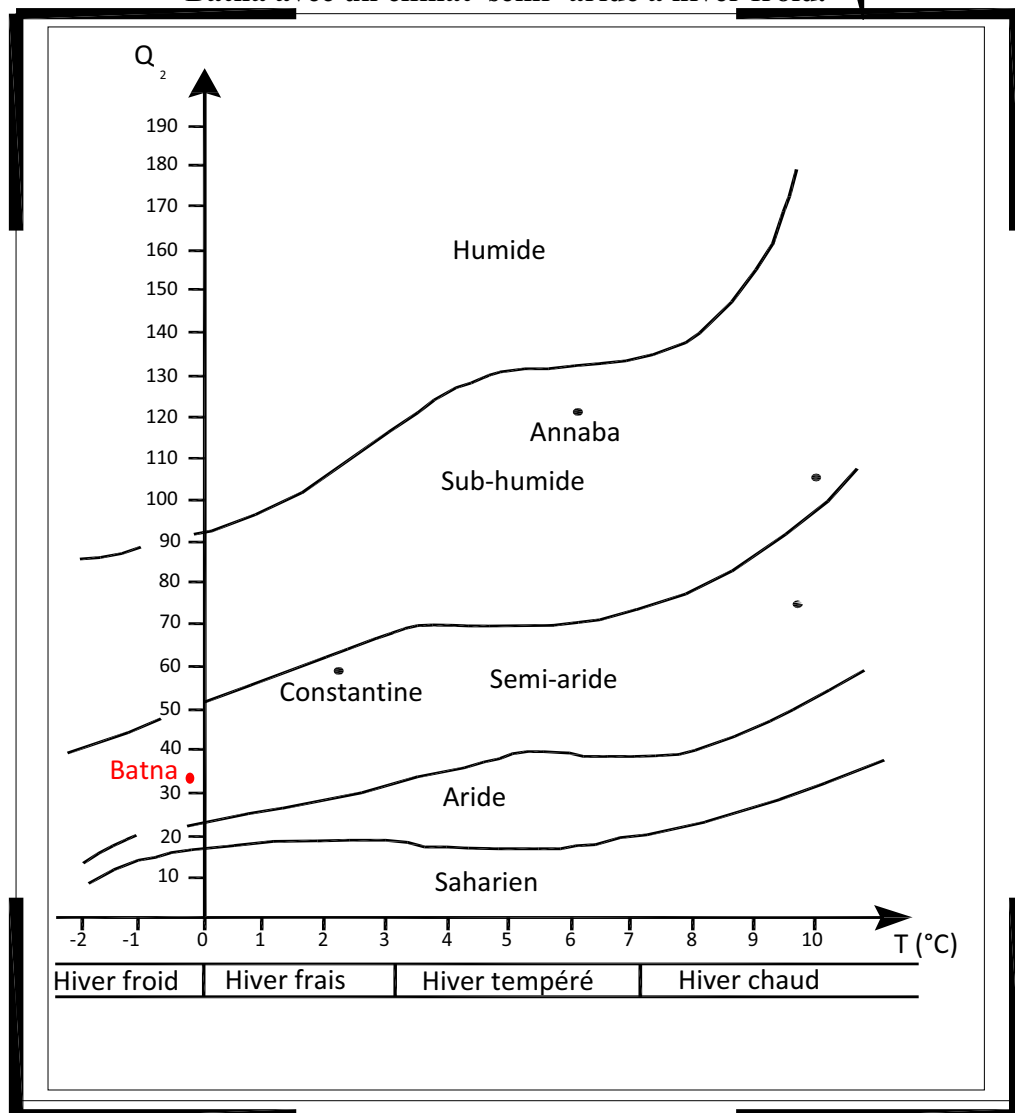


Figure 14: Climmagramme d'Emberger

Variation annuelle du Q₂ sur une période de 10 ans (1998-2007)

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 F., 1998).

Dont on note :

$$CV=S/m$$

- S : Ecart type
- CV : Coefficient de variation (%)
- m : Moyenne

Q₂ varie d'une année à l'autre avec un coefficient de variation CV = 0.341 soit **34,1%**.

Tableau 9: Variation annuelle du Q₂ sur une période de 10 ans

Paramètres Années	Pluviométrie annuelle en (mm)	Mois le plus chaud	Mois le plus froid	M (°C)	m (°C)	Q ₂
1998	269.4	juillet	janvier	36.1	-0.5	37.59
1999	311.1	août	février	38	-0.4	27.76
2000	292.8	juillet	janvier	36.3	-3.1	25.66
2001	230.1	juillet	février	37.3	-1	20.63
2002	287	juillet	janvier	34.9	-2.1	26.80
2003	503	juillet	décembre	38	0.7	44.99
2004	596.8	aoûte	janvier	36.7	-0.3	55.39
2005	252	juillet	janvier	37.6	-2.4	21.679
2006	377.4	juillet	janvier	35.6	0.2	36.65
2007	293.8	juillet	décembre	36.2	-0.5	27.52

Pendant cette dernière décennie une grande variabilité du quotient pluviométrique est décelée, sachant que 2001 est une année exceptionnelle à climat aride et froid, alors que 2004 est l'année la plus humide située dans l'étage sub-humide inférieur à hiver froid (Fig 15).

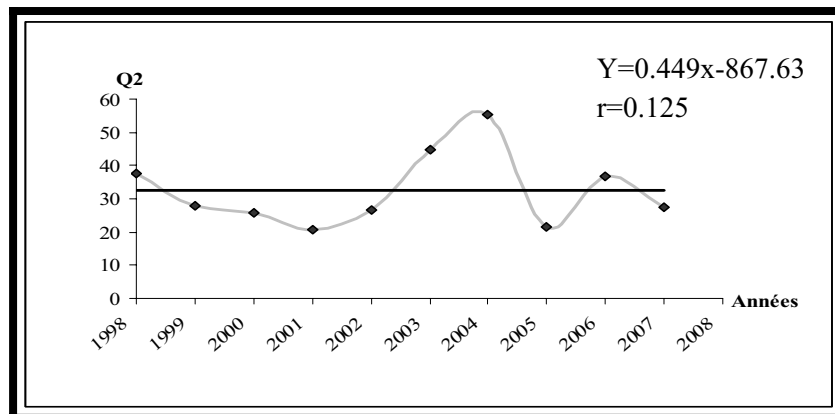


Figure15: Variation du Q₂ de la région de Batna pour la décennie (1998-2007)

4/ Les corrections

On constate que la station de Batna est située à une altitude de (822m) dans une ambiance non forestière, ce qui nous conduit à faire des corrections pluviométriques. Sachant qu'au point de vue altitude, AUSSENAC et GUEHL (1990) soulignent que le cèdre dans son aire d'origine pousse à des altitudes variant entre 1400 - 2200. Pour le Belezma les limites inférieures se situent sur les versants méridionaux vers 1600m, alors que la limite supérieure est de 2200m pour les deux versants (EMBERGER, 1938 ; ABDESSEMED, 1982). Donc, nos corrections vont se faire pour les deux altitudes **1500m** et **2200m**. Pour mieux cerner les quantités de pluie que reçoivent les cédraies à ces deux altitudes, on a utilisé un gradient altitudinale de **40mm** tous les **100m** d'augmentation pour le continental (ce qui est notre cas), est qui concorde avec celui de Le Houérou (1975).

Concernant le gradient thermique il est généralement admis que la température baisse avec l'altitude. Seltzer (1946) donne les valeurs suivantes pour la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M) et la moyenne des minima du mois le plus froid (m):

$$M = -0.7^{\circ}\text{C pour } 100\text{m de dénivelée.}$$

$$m = -0.45^{\circ}\text{C pour } 100\text{m de dénivelée.}$$

✓ Correction des précipitations

Pour les corrections des précipitations mensuelles, le calcul du coefficient correcteur (K) s'impose et il sera multiplié par les données mensuelles de la station de référence. Les résultats des coefficients sont portés dans le tableau 10.

Tableau10 : Résultats des coefficients correcteurs.

Stations / Paramètres	Précipitations moyennes annuelles corrigées en (mm)	Coefficient correcteur (K)
<i>Limite inférieure (1500m)</i>	612.54	1.7945
<i>Limite supérieure (2200m)</i>	892.54	2.6148

Les résultats des corrections sont portés dans le tableau 11.

Tableau11 : Données pluviométriques corrigées pour les deux altitudes.

Stations Mois	Pluviométrie en (mm) <i>Batna</i>	Pluviométrie en (mm) <i>Limite inférieure 1500m</i>	Pluviométrie en (mm) <i>Limite supérieure 2200m</i>
Janvier	32.24	57,854	84,301
Février	20.74	37,217	54.23
Mars	25.23	45,275	65.97
Avril	40.19	72.12	105.088
Mai	47.7	85.59	124.72
Juin	14.31	25.67	37.417
Juillet	5.02	9.008	13.126
Août	17.41	31.242	45.52
Septembre	42.37	76.032	110.789
Octobre	20.82	37.361	54.44
Novembre	33.53	60.169	87.67
Décembre	41.78	74.97	109.240
Total	341.34	612.54	892.54
Moyenne	28.44	51.045	74.38

✓ **Corrections des températures**

Les températures moyennes mensuelles sont calculées à partir de différentes méthodes. Dans notre cas, nous avons utilisé la méthode de la sommation des extrêmes et le calcul de leur moyenne arithmétique « $M+m/2$ » (Aliane & Medjrab., 1981) dont :

- ✓ **M**=Moyenne des maxima ;
- ✓ **m**= Moyenne des minima ;

Le tableau12, montre que les températures mensuelles de nos stations atteignent leur minima au mois de janvier, avec une valeur de à -0.43°C à Batna, -3.481°C à la limite inférieure et -6.631°C à la limite supérieure du cèdre. Les maxima sont observés au mois de juillet, avec une valeur de 36.22°C à Batna, 31.474°C à 1500m et 26.574°C à 2200m.

Les résultats des corrections des températures sont portés dans le tableau 12.

Tableau 12 : Corrections des températures mensuelles des deux altitudes.

Stations	Batna			1500m			2200m		
T (°C) Mois	M	m	$\frac{M+m}{2}$	M	m	$\frac{M+m}{2}$	M	m	$\frac{M+m}{2}$
Janvier	11.94	-0.43	5.75	7.194	-3.481	1.856	2.294	-6.631	-2.168
Février	13.5	0.15	6.825	8.754	-2.901	2.926	3.854	-6.051	-1.098
Mars	18.06	3.18	10.62	13.314	0.129	6.722	8.414	-3.021	2.696
Avril	21.15	6.4	13.775	16.304	3.349	9.826	11.404	0.199	5.801
Mai	26.62	10.68	18.65	21.874	7.629	14.752	16.974	4.479	10.726
Juin	32.69	15.03	23.86	27.944	11.979	19.961	23.044	8.829	15.936
Juillet	36.22	17.45	26.835	31.474	14.399	22.936	26.574	11.249	18.911
Août	35.24	17.77	26.50	30.494	14.719	22.606	25.594	11.569	18.581
Septembre	29.38	14.33	21.85	24.634	11.279	17.956	19.734	8.129	13.932
Octobre	24.96	10.49	17.725	20.214	7.439	13.826	15.314	4.289	9.802
Novembre	16.72	4.52	10.62	11.974	1.469	6.722	7.074	-1.681	2.696
Décembre	12.07	1.25	6.66	7.324	-1.81	2.762	2.424	-4.951	-1.263
Total	278.551	100.82	189.68	221.498	64.208	142.853	162.698	26.408	94.553
Moyenne	23.21	8.40	15.80	18.458	5.35	11.904	13.558	2.20	7.879

✓ **Détermination des étages bioclimatiques des différentes stations d'étude**

Tableau13: Résultats du Q₂ pour les stations d'étude.

Paramètres	Pluviométrie annuelle en (mm)	M (°C)	m (°C)	Q ₂
Batna	341.34	36.22	-0.43	32
Limite inférieure 1500m	612.54	31.474	-3.481	61.034
Limite inférieure 2200m	892.54	26.574	-6.631	94.94

Conclusion

L'étude climatique nous a permis de comprendre que les cédraies qui se trouvent dans cette région sont les plus sèches du bassin Méditerranéen avec de faibles précipitations (341.34 mm) en moyenne, des écarts thermiques très importants ($M= 23.21^{\circ}\text{C}$, $m= 8.40^{\circ}\text{C}$) et exposées aux influences du désert situé à moins de 100Km de la première cédraie.

- ✓ Les forêts du Djurdjura et de l'Atlas Blidien reçoivent une tranche pluviométrique de plus de 1500mm;
- ✓ Les forêts des Babors plus de 2000mm;
- ✓ Les forêts du Rif plus de 1700mm;
- ✓ Celle du Liban plus de 1500mm.

L'étude bioclimatique montre que la majorité des cédraies méditerranéennes se situe dans l'étage bioclimatique humide, voire perhumide alors que les nôtres se trouvent dans l'étage bioclimatique semi-aride.

Chapitre III

Références bibliographiques

Introduction

1/ Les végétaux et le stress

2/ Stress thermique

3/ Généralités sur la réponse des plantes aux stress thermiques

4/ Effet du stress thermique sur les végétaux

5/ Réponses des végétaux face au stress des basses températures

6/ Réponses des végétaux face au stress des hautes températures

7/ Les composés synthétisés lors d'un stress thermique et taux en chlorophylle

8/ Les échanges gazeux foliaires et le stress

Matériels et méthodes

1/ Matériel végétal

2/ Traitements appliqués

3/ Paramètres mesurés

4/ Modalités d'interprétation

I – Références bibliographiques

Introduction

Parmi les modifications que l'activité humaine induit, les changements climatiques sont certainement l'une de celles qui attirent le plus l'attention. Cet intérêt est justifié car l'impact que peuvent avoir ces changements climatiques est énorme. La fonte des glaces, une répartition des ressources hydriques modifiée, la perturbation des écosystèmes voire la disparition de différentes espèces animales ou végétales, ne sont que quelques-unes des conséquences possibles de l'évolution du climat.

Une autre particularité de ces modifications est qu'elles peuvent se produire dans une période de temps très brève. Les réponses des écosystèmes face à cette pression peuvent être de trois types: adaptation des espèces (généralement par des évolutions physiologiques), migration, ou disparition.

1/ Les végétaux et le stress:

1.1/Définition

Les scientifiques adoptèrent le terme de **stress** pour tout facteur environnemental potentiellement préjudiciable pour les organismes vivants. Au niveau cellulaire, un stress est causé par la variation d'un paramètre environnemental qui entraîne la mise en place des mécanismes de régulation de l'homéostasie.

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

1.2/ Les stress abiotiques et les réponses des végétaux

Les stress environnementaux ou (abiotiques), comme la sécheresse, la salinité et les températures extrêmes positives et négatives sont des conditions de stress qui affectent la croissance et le rendement des plantes. Contrairement aux animaux, qui peuvent se déplacer lorsque les conditions de vie ne leur sont plus favorables, les plantes ont développé des stratégies d'adaptation pour répondre aux changements environnementaux en contrôlant et en ajustant leurs systèmes métaboliques (Agronomie, 2006). Leurs réponses face aux différents stress sont influencées par la nature et l'intensité du stress en cause mais aussi par l'historique des espèces, cultivars et génotypes représentés. Chacun étant adapté à des conditions spécifiques par l'évolution et la sélection naturelle (**Grime 1989**).

Elles peuvent éviter les effets de stress en accomplissant leur croissance durant les périodes de moindre stress, ou sinon résister par des mécanismes de tolérance (Fig16).

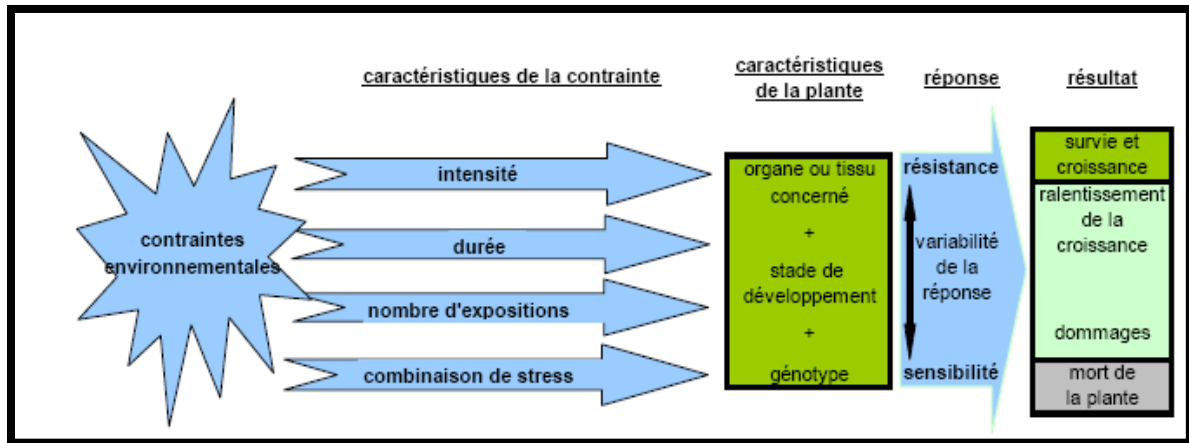


Figure 16: Facteurs conditionnant la réponse de la plante à un stress d'après

(Bray et al, 2000 in Touchard, 2006).

Les mécanismes de réponse au stress peuvent être spécifiques ou communs à plusieurs stress. On parle de **Cross-tolérance** lorsque les mêmes voies de réponse sont employées pour répondre à des stress différents (Pastori and Foyer, 2002 in Touchard, 2006).

Les réponses cellulaires et moléculaires des plantes aux conditions de stress ont été très étudiées. Les mécanismes par lesquels elles perçoivent les signaux environnementaux et les transmettent à la machinerie cellulaire pour activer des mécanismes de réponses adaptées déterminent chaque jour leur survie (Agronomie, 2006).

La connaissance de ces réponses, basées sur la transmission (la transduction) de signaux de stress, est très importante afin d'améliorer la réponse des plantes cultivées aux différents stress environnementaux. Ainsi, une voie de transduction d'un signal commence par la perception de ce signal au niveau de la membrane (par un senseur ou non), suivie par la production de seconds messagers et de facteurs de transcription (Fig17). Ces facteurs de transcription contrôlent l'expression de gènes impliqués dans la réponse au stress incluant des changements morphologiques, biochimiques et physiologiques (Roeder, 2006).

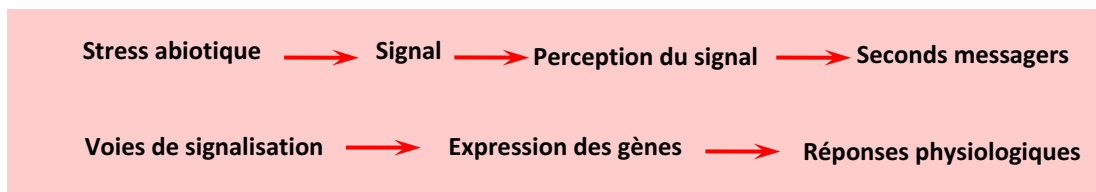


Figure 17 : La voie de transduction d'un signal de réponse à un stress abiotique chez la plante

(d'après: Roeder, 2006)

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

- ❖ Des osmoprotectants, comme la proline ou la glycine bêtaïne, qui permettent de maintenir l'équilibre en eau entre la cellule végétale et l'environnement extérieur;
- ❖ Des protéines spécifiques ;
- ❖ Accumulation de sucres, malate, alanine aspartate et glutamate;
- ❖ Des acides gras afin de modifier la perméabilité de la membrane plasmique.

2/ Stress thermique: les températures critiques

Le stress thermique est souvent défini par l'action des températures critiques, on entend par 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 fourchette des températures compatibles avec la croissance des plantes est généralement comprise entre 0°C et 45°C. Dans ces limites la tolérance à la température dépend fortement de l'espèce (Hopkins, 2003). 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).

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

* Les différentes voies de perception et de signalisation d'un stress thermique

Un stress froid ou chaud induit des modifications immédiates (dits événements primaires) dans l'équilibre cellulaire. Une inadéquation entre l'énergie reçue (énergie lumineuse reçue par l'appareil photosynthétique) et l'énergie consommée (besoin en sucres des organes puits) est à l'origine d'un excès d'énergie d'excitation qui provoque l'apparition de formes réactives d'oxygène qui sont toxiques pour la cellule (Huner et *al.*, 1998). La perte de turgescence est la conséquence d'une déshydratation de la cellule qui peut survenir dans le cas d'un gel mais aussi de températures très élevées. La fluidité membranaire dépend de la température mais aussi de la composition lipidique et du degré de saturation des acides gras des membranes (Murata et Los, 1997). Les modifications de la membrane plasmique peuvent

aller jusqu'à la déstabilisation de celle-ci. Les événements primaires sont à l'origine des dommages de la cellule mais informent aussi la cellule de l'existence d'un stress. La plante pourrait adapter sa réponse en fonction de l'intensité du stress. En effet, les événements primaires reflèteraient le niveau de stress et conditionneraient la réponse.

Deux types de voies de perception ont été mis en évidence (Fig18): le **système redox/H₂O₂ dépendant** et les **perturbations des relations entre la membrane plasmique et la paroi cellulaire**. Elles ne sont pas spécifiques à un stress donné et dépendent des événements primaires induits par le stress. Toutefois, les voies de perception intervenant en fonction de la sévérité du stress ne sont pas encore bien identifiées.

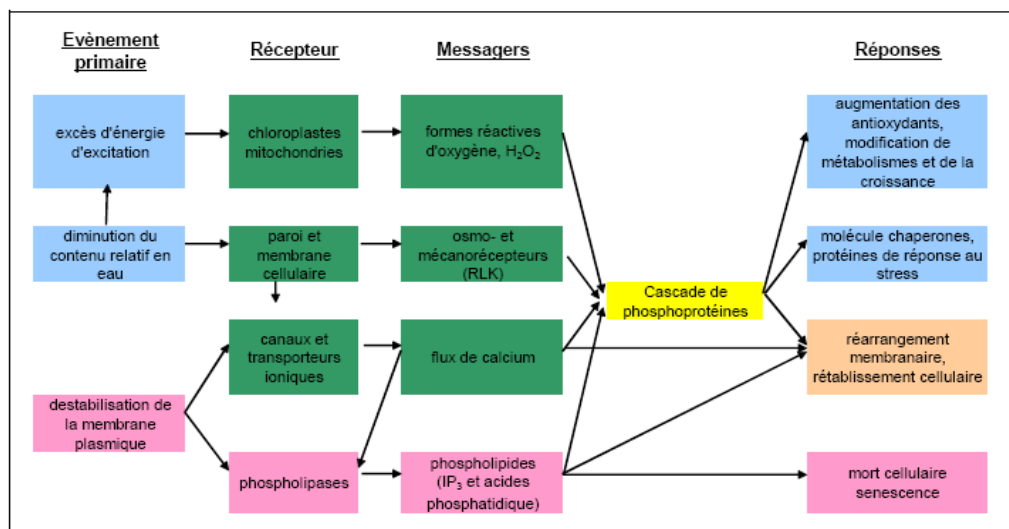


Figure 18: Voies de perception du stress d'après Kasperska, 2004

3/Généralités sur la réponse des plantes au stress thermique

La réponse des plantes aux basses et hautes températures dépend des caractéristiques du stress et de la plante. Un stress se caractérise par son intensité, sa durée, le nombre d'exposition ainsi que par son association à d'autres stress. Les espèces sont divisées en trois catégories selon leur tolérance au gel (Pearce, 1999 in Touchard, 2006).

On a donc:

- ✓ Les **plantes tolérantes au gel** qui sont capables de s'acclimater pour survivre à des températures inférieures à 0°C, c'est le cas du cèdre,
- ✓ Les **plantes tolérantes au froid mais sensibles au gel** qui sont capable de s'acclimater à des températures inférieures à 12°C mais ne survivent pas au gel,
- ✓ Les **plantes sensibles au froid** pour lesquelles des températures inférieures à 12°C entraînent des dommages.

À la différence d'un corps inanimé sous la contrainte d'une force, un organisme vivant est capable de s'adapter. En effet, par ce processus les blessures peuvent se résorber et la résistance au stress se modifie (Arnholdt-Schmitt 2004). On distingue deux types d'adaptation (Levitt 1980) :

- ✓ **L'adaptation élastique** (ou capacité d'adaptation) concerne un organisme adapté qui peut vivre, croître et réaliser son cycle de vie en présence du stress.
- ✓ **L'adaptation plastique** (ou résistance à l'adaptation) inhibe la croissance et les dommages irréversibles éventuels jusqu'à la disparition partielle ou complète de l'agent stressant.

-Stratégie d'évitement

De nombreuses plantes évitent la surchauffe en faisant adopter une position plus verticale aux feuilles, le cas des graminées, en provoquant l'enroulement des feuilles le long de leur axe. D'autres adaptations morphologiques comprennent la production de poils foliaires et de surfaces cireuses qui réfléchissent la lumière réduisant ainsi l'absorption d'énergie, ou la production de feuilles plus petites et fortement découpées qui réduisent la couche d'air limite et permettent une perte maximale de chaleur par convection ou conduction (HOPKINS, 2003).

Les plantes nordiques, réduisent leur taille pour mieux supporter les contraintes physiques, on a un appareil végétatif en coussinets ou en touffes exemples les plus réponsus. Les plantes alpines sont aussi pourvues d'une grande pilosité afin de réduire le stress thermique et hydrique (Goubier, 2006). La pilosité et l'épaisseur de la cuticule sont efficaces pour renvoyer une partie du rayonnement, cependant la photosynthèse caractéristique des végétaux se réalise à partir de la lumière, les feuilles peuvent réfléchir une partie de l'énergie incidente, l'autre partie est absorbé grâce aux flavonoides.

- Adaptation et acclimatation

La température peut avoir une triple action sur la plante: la trier, c'est-à-dire lui permettre de survivre ou non, la modifier et ainsi la rendre apte à se développer dans ce contexte, provoquer, enfin une réaction immédiate généralement réversible. Pour les deux premières actions, on emploie souvent indifféremment le mot d'**adaptation** alors qu'il s'agit de phénomènes très différents.

Un génotype est adapté dans la mesure où il peut survivre, l'environnement thermique joue alors un rôle de filtre sélectif ne laissant passer que les génotypes capables de supporter la pression exercée (ce sont des modifications de structure ou de fonction héréditaires).

4/ Effet du stress thermique sur les végétaux

4.1/ Le stress du froid

-Effet métabolique

La vie d'une cellule ou d'un organisme pluricellulaire repose sur une somme de processus métaboliques faisant intervenir des réactions chimiques et des échanges entre différents compartiments cellulaires ou tissulaires, ou entre organes. Les effets du froid sur les systèmes métaboliques sont selon Lance C & Moreau F, in Côme., 1992 comme suit:

- Les basses températures modifient l'intensité du métabolisme;
- Elles créent des déséquilibres entre les voies métaboliques concurrentes ou séquentielles;
- Des processus majeurs liés au métabolisme énergétique de la plante, respiration et photosynthèse sont ainsi perturbés, comme le métabolisme général ou les relations entre compartiments ou territoires parfois très éloignés (transport).

-Effets du froid sur les biomembranes

Les membranes qui limitent les compartiments cellulaires sont des édifices lipoprotéiques souples à structure rigoureuse 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, voire la fluidité de l'ensemble. Toute action de la température sur un ensemble membranaire aura deux effets intimement liés: modification d'activités enzymatiques (celles des membranes) et modification des capacités d'échanges entre les compartiments cellulaires. Les températures froides augmentent la force des liaisons hydrogène inter et intra moléculaires et diminuent les liaisons hydrophiles. Conséquences: un durcissement et un état très rigoureusement ordonné des chaînes lipidiques et, physiquement, une structure de gel (Gallais, 1984).

Une modification de la membrane passant d'un état fluide à un état de gel (semi cristallin) provoque la rupture de l'intégrité des canaux membranaires, est donc, la décompartmentation et la fuite de solutés (Hopkins, 2003). De plus l'assemblage des protéines qui constituent les systèmes respiratoires, les photosystèmes et les autres systèmes métaboliques localisés dans les membranes est déstructuré.

-Effets sur les mouvements des solutés

Les mouvements de solutés qui se déroulent dans les tissus spécialisés (xylème pour la sève brute, phloème pour la sève élaborée) ou le long d'organes spécialisés dans le

fonctionnement de transport (tige, pétiole) sont affectés par l'abaissement de la température.

Ces basses températures entraînent

- ✓ d'abord un ralentissement du transport des assimilats,
- ✓ Une augmentation de la viscosité de la sève;
- ✓ Une diminution de la perméabilité des racines;
- ✓ Une diminution du flux de l'eau à cause d'une baisse de la transpiration (Girardin, 1998; Miedema, 1982).

En microscope électronique, on observe que les pores des tubes criblés s'obstruent lorsque la température devient trop basse (gel), il semble donc que l'inhibition du processus de transport résulte d'une obstruction mécanique de pores des tubes criblés plutôt que d'une inhibition directe des processus métaboliques (Côme, 1992). Donc les transports de métabolites d'un organe à l'autre sont plus difficiles par le froid ce qui favorise l'accumulation de certains constituants (glucides solubles, acides aminés libres).

-Effet sur la respiration

Le rôle de la respiration est de fournir une source d'énergie utilisable (ATP) par toutes les réactions du métabolisme cellulaire. Entre 0-20°C l'abaissement de la température provoque une diminution régulière de l'intensité respiratoire (Aussenac., 1973). L'effet de la température sur la respiration globale des tissus n'est en fait qu'une traduction de l'effet de la température au niveau du processus le plus élémentaire, ainsi la capacité mitochondriale extraite d'un tissu végétal à oxyder un substrat du cycle de Krebs est très sensible à la température. Des perturbations dans le rendement en ATP n'apparaissent que lorsque les tissus sont exposés à des températures trop basses, provoquant des désorganisations des systèmes membranaires (Côme, 1992).

-Effets sur la photosynthèse

La photosynthèse est le processus permettant l'utilisation de l'énergie lumineuse pour la synthèse des sucres. La figure 19 illustre les quatre domaines de complexité croissante qui s'emboîtent les uns dans les autres. On constate facilement qu'on retrouve aux positions clés l'action des températures sur les ensembles membranaires et sur l'équipement enzymatique.

L'effet des basses températures ne porte pas directement sur les vitesses de synthèse mais plutôt sur les dégradations des chlorophylles photosensibles qui ne sont plus protégées par un écran de caroténoïdes ou une structure membranaire que le froid désorganise (McWilliam et Naylor, 1967). La thermosensibilité n'est pas indifférente à l'âge des organes et seules les jeunes feuilles en formation présentent des dommages pigmentaires.

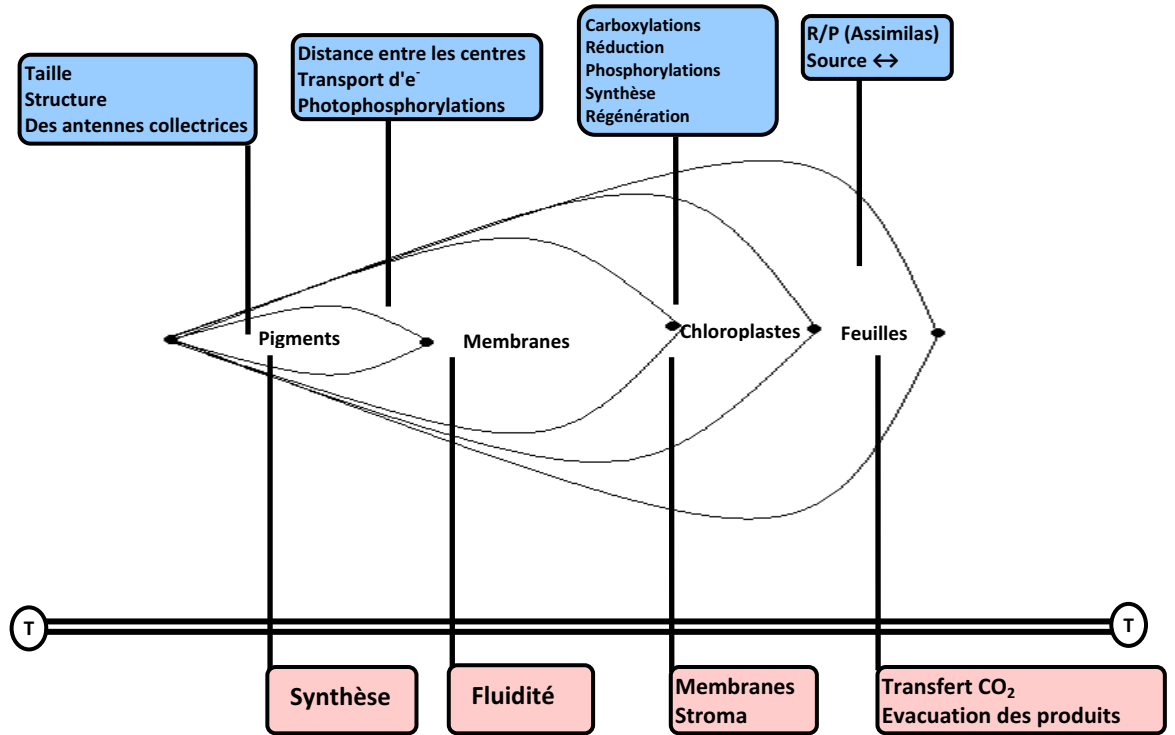


Figure 19: Schéma de l'emboîtement des structures de l'appareil photosynthétique

L'ensemble de l'édifice pigmentaire est inégalement atteint par les faibles températures: le rapport chlorophylle (a)/ chlorophylle (b) est augmenté significativement, la répartition des deux photosystèmes I et II est modifiée, la taille des antennes est diminuée (Albert *et al.*, 1974).

4.2/ Le stress du chaud

-Effet sur les membranes et les enzymes

Les structures des macromolécules et les forces de cohésion assurant leur édifice et leur assemblage sont profondément modifiées par des variations de températures. Ceci concerne principalement les protéines et les lipides. La figure 20 montre les liens qui existent entre ces deux familles moléculaires au sein d'un système cellulaire structuré. 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.

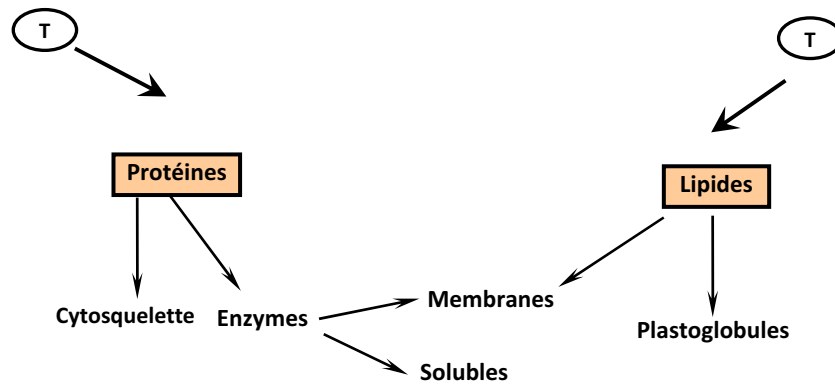


Figure 20: Action des températures sur les pools protéiques et lipidiques cellulaires

En effet, toute élévation de températures au delà d'une certaine valeur provoque la déstabilisation et la déformation (dénaturation) des grosses molécules fragiles que sont les protéines-enzymes. On constate, aussi que ces hautes températures provoquent la rupture des liaisons hydrogènes et une augmentation des forces hydrophiles au niveau des membranes, par conséquent, un état physique fluide (Bourdu, 1984). La relation entre l'environnement thermique d'un organisme et la dépendance thermique des enzymes a été bien établie (Senioniti *et al.*, 1986). Une lésion aux parois, due à la chaleur, peut être mesurée par une fuite ionique (Chaisompongpan *et al.*, 1990; Hall, 1993). Une lésion aux membranes due à un stress soudain de chaleur peut provenir soit de la dénaturation des protéines membranaires soit de la fonte des lipides membranaires qui conduit à la rupture des membranes et à, la perte du contenu cellulaire (Ahrens et Ingram, 1988).

-Effet sur la photosynthèse

L'assimilation photosynthétique du CO₂ chez les plantes supérieures s'annule généralement lorsque la température atteint 45-50°C. Comme pour toutes les activités métaboliques, on observe un effet positif de la température jusque vers 30°C en général, puis une action dépressive avec annulation totale vers 45°C; l'inhibition est plus marquée que la température excessive est appliquée plus longtemps (Heller *et al.*, 1998). Parmi les causes possibles expliquant cette inhibition, la destruction des membranes cellulaires a d'abord été examinée : une perte de la compartimentation cellulaire peut en effet inhiber le déroulement des grandes fonctions métaboliques.

De même, il est apparu que l'enveloppe du chloroplaste était plus résistante à la température que les membranes formant les thylacoïdes : ce sont donc bien les processus se déroulant à l'intérieur du chloroplaste qui étaient endommagés par les températures élevées

(Cornic, 2007). La température limite de la photosynthèse est généralement marquée par un accroissement abrupt de la fluorescence de la chlorophylle, qui est le reflet d'un endommagement irréversible du mécanisme de transfert d'énergie de PSII (Hopkins, 2003). 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.

-Effet sur la transpiration

Le stress thermique par les hautes températures se trouve fréquemment associé au déficit hydrique, non seulement parce que les périodes chaudes sont souvent sèches, mais aussi à cause de l'augmentation de la transpiration (Leinonen et Jones, 2004). La température agit sur l'évaporation de l'eau cellulaire. Son augmentation entraîne l'ouverture des stomates et donc une augmentation de la transpiration. L'action de la température rappelle celle de la sécheresse de l'air: jusque 25°C à 30°C, une élévation de température augmente la transpiration (Heller et al., 1989). On a aboutit ainsi à la fanaison ou le flétrissement temporaire de la plante (Diehel, 1974).

- Effet sur la respiration

L'action de la température sur la respiration est analogue à celle que l'on rencontre pour tous les phénomènes métaboliques, avec une montée sensiblement grande de 0 à 40°C ou 50°C puis une brusque baisse qui traduit la dénaturation des protéines (Heller et al., 1989). Cette augmentation se traduit par une consommation accrue de réserve et une réduction de l'accumulation de matière sèche (Abrol et Ingram, 1997).

- Autres effets

L'élévation des températures entraîne généralement des modifications diverses, on peut citer:

- ✓ Le raccourcissement des cycles de végétation par diminution du temps disponible pour mettre en place la production ;
- ✓ La diminution de la durée de croissance et de maturation des organes récoltables (exp : les graminées, légumineuses) ;
- ✓ Le réchauffement favorise le développement de maladies cryptogamiques...etc;
- ✓ Une réduction significative de la production de biomasse totale, concomitante à une réduction de la croissance en diamètre et en hauteur des tiges;
- ✓ Une embolie massive accompagnée de déshydratation rapide des tissus.

Conclusion

Le stress thermique induit un déséquilibre métabolique général. Le signal thermique est traduit par des modifications d'activités enzymatiques et des variations d'intensité, des échanges se manifestent par des modifications du métabolisme général et, par voie de conséquence, sur la nature et la répartition des métabolites. Le profil biochimique d'une plante soumise au stress thermique sera différent de celui d'une même plante n'ayant pas subi le stress (Bourdu, 1984).

L'ensemble des observations sur les modifications physiologiques et métaboliques induites par les températures extrêmes permet de dresser un tableau général, une sorte de portrait type, le schéma de la figure 21, inspiré de Levitt (1980), résume les principales caractéristiques.

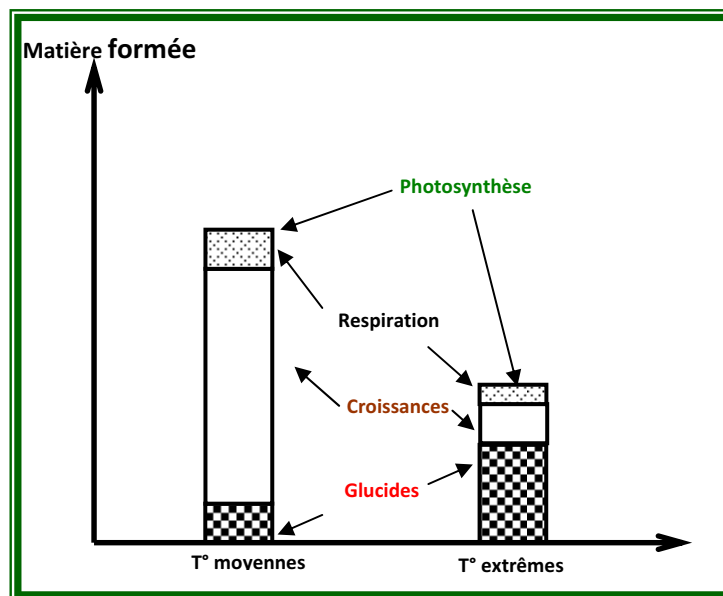


Figure 21: Bilan métabolique général d'une plante en fonction de la température

5/ Réponses des végétaux face au stress des basses températures

-Endurcissement au froid et dormance

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 qui se définit comme l'acquisition de résistance au gel, 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). Pour les plantes ligneuses, cette acclimatation commence en automne avec

l'entrée en dormance des bourgeons, la dormance est un ralentissement des processus métaboliques de la plante qui amène l'arrêt de la photosynthèse et de la croissance.

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 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 tolérants. 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 désacclimatation puisqu'elle demande au moins trois semaines chez la renoncule des glaciers et ne s'observe pas chez *Soldanella alpina* (Cornic, 2007).

-Stratégie et mécanismes de tolérance au gel

***Accumulation de solutés**

De façon générale, la tolérance au froid est reliée à l'accumulation de produits divers par les plantes afin de diminuer le point de congélation des liquides cellulaires, 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.

Le déterminisme de la protection assurée par les produits synthétisés sous l'effet du froid est loin d'être compris. La différence de concentration en solutés entre l'eau extra et intracellulaire pourrait s'accroître ce qui favoriserait une congélation extracellulaire avec l'induction d'une sécheresse cellulaire qui lui est liée. Cela est certainement l'un des éléments, mais sûrement pas le seul et le détail des phénomènes en cause manquent actuellement (Cornic, 2007).

*** La synthèse de protéines spécifiques**

En plus des acides aminés libres, l'endurcissement au froid induit des changements quantitatifs et qualitatifs importants dans la composition protéique. Une augmentation de la concentration des protéines totales durant l'endurcissement au froid a été documentée chez

plusieurs plantes (Davis et Gilbert, 1970; McKenzie et al., 1988). En plus de représenter une réserve azotée assurant la reprise printanière, les protéines pourraient jouer un rôle important dans la tolérance au gel des plantes pérennes. Parmi les protéines qui s'accumulent au cours de l'endurcissement au froid, certaines ont des rôles enzymatiques connus requis pour les changements métaboliques observés lors de l'acclimatation au froid.

* **Phénomène de surfusion**

L'abaissement du point de congélation atteint son maximum à -5°C , afin de permettre aux liquides biologiques de rester à l'état liquide, les plantes utilisent une autre technique la **surfusion** (Goubier, 2006), qui consiste à la capacité de la plante à éliminer les noyaux de nucléation responsables de l'apparition des premiers cristaux de glace. La surfusion permet à la plante de résister jusqu'à -40°C , en effet l'eau intracellulaire va être déplacée à l'extérieur des cellules, formant de la glace extracellulaire. La teneur en eau dans les cellules va en parallèle diminuer afin de limiter la présence d'eau gelable dans les cellules. L'organisme subit alors une déshydratation très poussée, permettant à la plante de rentrer en vie ralentie ou en période de latence. Lorsque les conditions deviennent plus clémentes les organismes reprennent vie, on parle de reviviscence. Cette forme de résistance est rencontrée chez les lichens, mousses, graines,...

Chez les plantes ligneuses, de certaines régions comme le Canada, ou de zones montagneuses comme celles de l'Europe, l'eau peut même être encore à l'état liquide vers -30°C . Cela est souvent suffisant pour éviter les effets létaux du froid (Ball et al, 2002). Températures basses et manque d'eau sont liés. Généralement, les plantes qui peuvent supporter une forte déshydratation sont des plantes résistantes au froid.

Chez des arbres, comme le Bouleau, un cornouiller américain (*Cornus sericea*) et le tremble, qui ont des aires s'étendant jusque dans les zones arctiques, la presque totalité de l'eau cellulaire peut passer dans le compartiment extracellulaire où se forme la glace, ne laissant pratiquement que l'eau liée aux membranes et aux protéines (Burke et al., 1976). On a souvent dit que la plus basse température à laquelle une plante pouvait survivre était liée à sa capacité à survivre à la déshydratation imposée par la formation de glace dans les compartiments extracellulaires.

6/Réponses des végétaux face au stress des hautes températures

De nombreuses plantes évitent la surchauffe en faisant adopter une position plus verticale aux feuilles, comme le cas des graminées, en provoquant l'enroulement des feuilles

le long de leur grand axe. D'autres adaptations morphologiques comprennent la production de poils foliaires (pubescences) et de surfaces cireuses qui réfléchissent la lumière réduisant de ce fait l'absorption d'énergie, ou la production de feuilles plus petites et fortement découpées qui réduisent la couche d'air limite et permettent une perte maximum de chaleur par convection ou conduction (Hopkins, 2003).

A coté de ces adaptations morphologiques, les plantes ont mis au point plusieurs mécanismes qui leur permettent de tolérer les hautes températures. Il existe quatre aspects majeurs de thermotolérance:

- (1) la dépendance thermique aux niveaux biochimique et métabolique;
- (2) la tolérance thermique en relation avec la stabilité membranaire;
- (3) la thermotolérance induite par une augmentation graduelle de température vis-à-vis de la production de protéines contre le choc thermique;
- (4) la photosynthèse et la productivité pendant un stress thermique élevé.

-La stabilité thermique des membranes cellulaires

Une lésion aux membranes due à un stress soudain de chaleur peut provenir soit de la dénaturation des protéines membranaires soit de la fonte des lipides membranaires qui conduit à la rupture des membranes et à la perte du contenu cellulaire (Ahrens et Ingram, 1988). Le stress thermique peut être oxydant. La peroxydation des lipides membranaires, un symptôme de lésion cellulaire, a été observée à haute température. La synthèse renforcée d'un anti-oxydant par les tissus végétaux peut accroître la tolérance cellulaire à la chaleur mais aucun anti-oxydant de la sorte n'a été identifié de façon positive.

Chez *Arabidopsis* exposé à des températures élevées, la teneur totale en lipides diminue environ de moitié et le rapport entre acides gras non saturés et saturés descend à environ un tiers des niveaux des températures. Une augmentation en acides gras saturés dans les membranes accroît leur température de fonte et donc la tolérance à la chaleur (Upadhyaya et al, 1990 et 1991). La synthèse d'isoprène par de nombreuses espèces ligneuses comme les chênes, les peupliers et les épicéas, permettrait une stabilisation rapide des membranes chez les feuilles soumises à des augmentations brutales et de fortes amplitudes de la température.

Récemment, Il a été montré que l'isoprène avait aussi un rôle d'antioxydant. Il protège les feuilles contre les effets de l'ozone et réduit la peroxydation des lipides chez les plantes soumises à des stress oxydatifs. Il peut donc protéger, comme les caroténoïdes, l'appareil photosynthétique des effets des fortes lumières (photoinhibition) en réagissant avec l'oxygène singulier formé sous l'action de la chlorophylle excitée (à l'état triplet). Il peut aussi réagir

avec les radicaux OH qui se forment lorsque le peroxyde d'hydrogène est produit en trop grande quantité (Cornic, 2007).

- Les protéines du choc thermique" Heat shock protéines"

La réponse à la chaleur se traduit par la production de protéines spécifiques que l'on appelle les « heat shock proteins » ou HSP. Le terme protéine de choc thermique désigne un groupe de protéines dont l'expression est augmentée suite à un stress, le premier de ces stress décrit étant le choc thermique. Elles sont généralement appelées selon l'abréviation anglaise HSP pour "Heat Shock Protein". Elles sont classées selon leur masse moléculaire (en kDa) et l'on distingue selon Macario et al, 1999:

- ✓ **HSP100** (Clp), les HSP90 (HtpG) 100 kDa ou plus,
- ✓ **HSP70** 81-99kDa,
- ✓ **HSP60** 65-80kDa,
- ✓ **HSP40** petites HSP 55-64kDa,
- ✓ (sHSP) de faible masse moléculaire entre 35-54kDa (Low Molecular Weight HSP: LMW HSP).

*Accumulation des HSP chez les végétaux au cours d'un stress thermique

Une corrélation entre la synthèse et l'accumulation de HSPs et la tolérance à la chaleur suggère, mais ne prouve pas, que les deux soient liées causalement. On trouve une évidence de plus pour une relation causale dans le fait que certaines différences dans les HSPs de cultivars sont corrélées avec des différences de thermotolérance.

Le mécanisme par lequel les protéines du choc thermique contribuent à la tolérance à la chaleur est encore incertain. Une hypothèse est que la HSP70 participe aux réactions du déroulement ou d'assemblage/désassemblage d'une protéine dépendante de l'ATP et qu'elles empêchent la dénaturation protéinique pendant le stress (Pelham, 1986). Si ce mécanisme est vrai, alors les protéines du choc thermique peuvent fournir une base importante pour accroître la tolérance à la chaleur des plantes de cultures dans le cas du réchauffement global. Les LMW HSPs peuvent jouer un rôle structurel pour conserver l'intégrité de la membrane cellulaire pendant le stress. D'autres HSPs ont été associées à des organelles particulières telles que les chloroplastes, les ribosomes et les mitochondries. Chez la tomate (*Lycopersicon esculentum* L.), les HSPs s'agglomèrent en une structure granulaire dans le cytoplasme en protégeant peut-être la machine de synthèse des protéines. Les HSPs procurent une opportunité importante à l'accroissement de la tolérance à la chaleur des cultures.

***Rôle des HSP**

Si les effets des chocs thermiques ont été étudiés de manière très approfondie chez les êtres vivants (Key et Kosuge. 1988), les rôles possibles des protéines induites restent peu connus. Toutefois des hypothèses ont été avancées : les protéines HSP 70 et HSP 90 joueraient un rôle dans la structure et l'assemblage des protéines au sein du cytoplasme et du réticulum endoplasmique (Pelham, 1986); ces protéines peuvent, d'autre part, participer au réassemblage des structures cellulaires endommagées par le choc de température.

Le mécanisme d'action, la spécificité de substrat et les fonctions physiologiques précises restent à élucider. Burke et al. (1988) soulignent également l'incapacité des recherches à élucider quel rôle joue les protéines induites par les chocs thermiques (Burke et Orzech.1988). Toutefois, ces auteurs suggèrent qu'en cas d'élévation de la température cellulaire on assisterait à une diminution de l'efficacité du système de transport membranaire des sels et ions métalliques: ce serait une action directe de la température élevée sur les pompes transmembranaires.

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

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

7/ Les composés synthétisés lors d'un stress thermique et taux en chlorophylle

Les végétaux sont capables de lutter contre les conditions stressantes en produisant des composés dits osmoprotecteurs (ou solutés compatibles). Ces composés, par leur concentration, assurent l'ajustement osmotique entre le cytosol et la vacuole. Différentes molécules peuvent jouer le rôle de solutés compatibles, pour les acides aminés, la proline, l'alanine, la β -alanine et la taurine sont les plus connus. Des ammoniums quaternaires comme

la glycine bétaine, la β -alaninebétaine, la choline-o-sulfate et la glycerophosphorycholine ainsi que des sulphoniums tertiaires comme le 3-dimethylsulfonipropionate sont également rencontrés. Enfin, les carbohydrates comme le tréhalose, le glycérol, le mannitol, le sorbitol ou le pinitol sont aussi fréquents. Non chargés, à PH neutre, hydrophiles, ils sont qualifiés de compatibles, car ils ne perturbent pas les interactions entre les macromolécules et le solvant. Leur structure chimique présentant des affinités pour les groupements carbonés des protéines, ils protègent ainsi leur intégrité structurale. Les composés non compatibles tendent à être exclus de la sphère d'hydratation des protéines, ce qui stabilise leur structure.

7.1/ La proline

La proline est un acide aminé non polaire avec une structure cyclique. Elle est très soluble dans l'eau. La proline ou acide pyrrolidine 2-carboxylique ($C_5H_9O_2N$) par sa structure chimique qui contient des fonctions polyalcool et aminoacide manifeste des affinités pour les groupements carbonés des protéines, protégeant ainsi leur intégrité structurale.

L'étude de l'accumulation de la proline chez les végétaux soumis aux contraintes mésologiques a été abordée par de nombreux auteurs et les résultats obtenus indiquent une augmentation dans la concentration de l'acide aminé proline chez les plantes exposées au stress du froid. La proline peut intervenir en régulant par l'augmentation de sa concentration la pression osmotique interne, mais aussi en inhibant les mécanismes d'auxésis (SAMAI, 1991). D'autres auteurs, proposent qu'elle constitue un stock d'azote utilisable par la plante postérieurement à la période de souffrance hydrique. (DIB et al. 1992)

Additionnellement, la synthèse de la proline peut être incluse dans la régulation du PH cytoplasmique, (BELLINGER et LARHER., 1987). Par conséquent, elle aide dans la stabilisation des protéines membranaires et des protéines libres, ceci suggère qu'elle a un rôle osmoprotecteur, du fait qu'elle est la plus accumulée dans les plastides, les mitochondries et le cytosol, mais non dans les vacuoles ; ceci suggère que les chloroplastes et les mitochondries importent la proline, et la vacuole a une activité exportatrice du moment que la concentration de la proline est faible à son niveau par rapport au cytosol au court du stress.

Chez les plantes soumises à un régime de stress, Kemple et Mac Pherson (1954), Barnett et Naylor (1966) ainsi que Hubac et Chouard (1973), in Nemmar, (1983) soulignent une élévation de la teneur en proline et remarquent que cette accumulation est une conséquence directe du déficit hydrique. Hubac (1967) et Le Saint (1969) montrent que la proline exogène appliquée aux plantules augmente leur résistance à la sécheresse.

Blum et Ebercon (1976) notent chez le sorgho l'existence d'une relation entre capacité d'accumulation de la proline et aptitude de récupération de la plante à l'issue d'un

stress, et suggèrent que l'acide aminé sert d'énergie lors du retour aux conditions normales. Dreier (1987) rapporte que l'augmentation de la teneur en proline est une réponse protectrice des plantes à tous les facteurs qui entraînent une diminution en eau du cytoplasme.

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).

Chez les plantes supérieures, la proline est accumulée en cas de stress, aussi bien suite à une augmentation de sa production que par une réduction de sa dégradation (Nakastantinova *et al.*, 1998 in Roeder, 2006). L'accumulation de la proline se produit après l'acquisition de la résistance, c'est plutôt une conséquence qu'une cause de l'endurcissement (Côme, 1992). La proline, localisée principalement dans le cytoplasme, agirait comme un cryoprotectant durant l'exposition de la plante à des températures gélives (Delauney et Verma, 1993; Galiba, 1994). Chez le tabac et *A.thaliana*, des études décrivent simultanément la sur-expression du gène codant la delta-pyroline-5-carboxylase et l'inactivation du gène codant la proline désydrogenase montrant que la plante résiste mieux à un stress salin (Roeder, 2006). Enfin, la proline est souvent considérée comme un excellent marqueur de l'endurcissement au gel. La connaissance de la cinétique d'accumulation permet la caractérisation de la résistance des plantes (Hubac et Viera, 1980 in Moulineau, 2006).

7.2/ Les sucres solubles

Les sucres solubles dans l'eau constituent une source glucidique rapidement métabolisable et couvrent les besoins immédiats de la plante. Ce sont des intermédiaires métaboliques qui sont également une forme de transport et qui peuvent être, dans certains cas, considérés comme une forme de stockage. Ainsi, le saccharose, sucre soluble majoritaire de la plupart des espèces, contribue largement au stockage hivernale en s'accumulant dans les vacuoles. Son accumulation est initiée par une baisse des températures hivernales et contribue à augmenter la résistance au froid (Gomez *et al.*, 2003). L'accumulation de sucres dans les cellules peut accroître la tolérance à la déshydratation chez les plantes via leur effet osmotique qui limite les pertes d'eau par la cellule. L'accumulation de sucres va réprimer l'expression de gènes de remobilisation des réserves, de photosynthèse voire la photosynthèse elle-même et activer les gènes de stockage et métabolisme carbonés (Pego *et al.*, 2000). Le saccharose et l'amidon sont les premiers glucides stables, issus des processus photosynthétiques du cycle de Calvin et de la voie du glycolate.

L'amidon s'accumule dans le chloroplaste, tandis que le saccharose synthétisé dans le cytosol est stocké dans la vacuole ou transféré vers les organes puits (NOURI, 2002).

Beaucoup d'auteurs ont mis en évidence le rôle protecteur des sucres sur les membranes, en particulier mitochondriales (Todd, 1972 ; Duffus, 1989 in Bammoun, 1997; Duffus et Binne, 1990 in Bammoun, 1997). Leur présence permettrait le maintien des réactions de phosphorylation et de production d'énergie.

Outre ce rôle protecteur des membranes, les hydrates de carbone protègent les processus par lesquels les enzymes sont synthétisés (Parker, 1968 in Bammoun, 1997), ce qui impliquerait une meilleure tolérance de la plante à la dessiccation et une meilleure résistance à la sécheresse (Duffus, 1989 in Bammoun, 1997). Cortes et Sinclair (1987), Geingenberger et al, (1997) ont attribué l'augmentation des sucres solubles à une dégradation des réserves amylacées suite à leurs conversions rapides en saccharose, fait qui pourrait aussi être attribué à une inhibition de la synthèse de l'amidon. Donc, leur accumulation résulte d'avantage d'un déséquilibre métabolique; que d'une adaptation réelle de la cellule au stress en altérant la compartimentation des métabolites.

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. Par ailleurs il a été observé que sous stress hydrique, les réserves amylacées sont progressivement utilisées suite à leur conversion rapide en saccharose, qui pourrait être associé à une inhibition de la synthèse de l'amidon (GEIGENBERGER et al. , 1997) ; donc le stress altère la compartimentation en faveur de la synthèse du saccharose, qui est attribuée d'une manière exclusive à l'activation de la Saccharose Phosphate Synthase (SPS), par une phosphorylation réversible des protéines (KIM et al., 2000; MASTRANGELO et al., 2000); et ceux ci suggèrent le rôle osmotique joué par le saccharose et les autres monosaccharides dans la baisse du potentiel osmotique et par voie de conséquence dans l'ajustement osmotique, chez les différentes plantes et leur confèrent une tolérance vis à vis du stress.

7.3/ Les protéines solubles

La plupart de ces osmolytes sont des composants azotés, ce qui traduit l'importance du métabolisme azoté sous conditions stressantes (BERGMANN et al., 1995). Une synthèse importante de protéines solubles accompagne ou précède de l'acquisition de la résistance au stress, elle résulte du ralentissement de la croissance et d'un stockage des molécules dans le hyaloplasme ou dans certains organites (chloroplaste, mitochondries). Il semble que la synthèse de protéines spécifiques soit nécessaire à l'endurcissement (Côme, 1992). Il est à

noter que la synthèse des protéines est étroitement liée au métabolisme des sucres et la respiration à partir de l' α -cétoglutarate intermédiaire du cycle de Krebs qui donne le squelette carboné pour la synthèse de la proline. Cependant, la synthèse des protéines, associé avec le catabolisme des sucres, pourrait jouer un rôle majeur dans la mobilisation de l'énergie métabolique requise durant le stress pour une compartimentation ionique et synthèse des osmolytes.

Durant l'exposition à des températures supra-optimale, on a une induction de synthèse d'une famille de protéines de faible masse moléculaires (HSP_s), appelées protéines de choc thermique, qui présentent un intérêt physiologique très important. Ces HSP_s représentent la plus grande part de protéines nouvellement synthétisées, qui doivent jouer un rôle important dans la protection de la cellule contre les effets délétères dus à une augmentation rapide de la température (Hopkins, 2003).

Les HSP_s sont des chaperons (réassemblage des protéines endommagées), ou des protéases qui jouent un rôle crucial dans le repliement, l'assemblage et la dégradation durant les conditions normales de croissance et, en particulier en conditions de stress (Parsell et Lindquist, 1993 in Mary, 2003). Par exemple, les protéines HSP 70 et HSP 90 joueraient un rôle dans la structure et l'assemblage des protéines au sein du cytoplasme et du réticulum endoplasmique (Pelham, 1986); ces protéines peuvent, d'autre part, participer au réassemblage des structures cellulaires endommagées par le choc de température.

Le mécanisme d'action, la spécificité de substrat et les fonctions physiologiques précises des HSP restent à élucider. Burke et al., (1988) soulignent également l'incapacité des recherches à élucider quel rôle jouent les protéines induites par les chocs thermiques (Burke et Orzech, 1988). En plus d'un intérêt fondamental pour la compréhension de la " réponse au choc thermique", deux axes de recherche appliqué se sont développés visant à investiguer la possibilité d'utiliser l'expression de HSP_s comme biomarqueur de souffrance cellulaire d'une part et, d'autre part, d'exploiter ses fonctions comme moyen de protection des cellules contre les contraintes environnementaux.

7.4/ La chlorophylle

La chlorophylle est très importante dans le processus de la photosynthèse. En effet, elle est un catalyseur pour les réactions. La température affect à court et à long terme la photosynthèse, les plantes peuvent, à des degrés divers, s'acclimater à des changements, cette acclimatation peut provoquer une baisse de la photosynthèse (Cornic, 2007). La modification de la composition et des teneurs en pigments serait donc un caractère d'adaptation au milieu

(Foyer et *al*, 2002). Face à des températures sub-optimale, les plantes réduisent leur teneur en chlorophylle a et b et accumulent de la zéaxanthine et de l'anthéroxanthine (Hldimann, 1999). Le stress provoque l'apparition de chlorose mais aucun phénomène de photoinhibition n'est constaté (Foyer et *al*, 2002).

L'effet de la chaleur est vite apparu sur la synthèse de chlorophylles, ainsi la chlorophylle totale (a et b) inhibée de 70% environ. On a constaté que le système de synthèse est donc affecté principalement à la source: la synthèse de l'ALA, la synthèse des cytochromes est aussi affectée par le choc thermique (Cornic, 2007).

La tolérance au froid provient de la capacité à maintenir une forte concentration en pigments, à maintenir et à former un appareil photosynthétique fonctionnel, un génotype tolérant conserverait une activité photosynthétique, une quantité de chlorophylle a et b et un rapport a/b suffisant pour continuer sa croissance sans pour autant subir des dommages photooxydatifs.

D'une façon générale les basses températures ont une faible incidence sur la capacité photosynthétique, par contre il semble bien que la sensibilité thermique est surtout marquée pour les températures élevées, la sensibilité de l'enveloppe contrastant avec la fluidité provoquée des membranes internes (Krause et Santarius, 1975 in Gallais, 1984).

8/ Les échanges gazeux foliaires et le stress

La transpiration dépend étroitement de la conductance stomatique. Sarda et al, (1992), signalent que ce processus est très important en terme de flux de molécules. En effet, pour une mole de CO₂ assimilée, des centaines de moles d'H₂O quittent la feuille via les stomates. Dans le cas d'un stress thermique, la plante réagit en réduisant son évapotranspiration par régulation stomatique, ce qui se traduit par une augmentation de la température de la surface du couvert végétal, qui devient supérieure à la température de l'air ambiant (Rieul, 1988).

Lorsque la quantité d'eau absorbée par les racines, pendant la phase de demande climatique croissante d'une journée est inférieure au flux de transpiration, la plante utilise la capacité tampon d'une partie de l'eau de ses tissus (ses réserves propres), pour assurer une transpiration intense et échapper au flétrissement. Les tissus concernés, généralement tiges et feuilles, perdent de l'eau, leur volume diminue, leur diamètre également. Ces contractions s'amplifient lorsque le stress hydrique est plus sévère et franchit un seuil dit « critique », qui marque une déshydratation tissulaire au-delà de laquelle la plante déclenche son mécanisme de survie, **la régulation stomatique** (Koslowski, 1982).

-Réaction des stomates face aux températures extrêmes

Les échanges de substances entre la feuille et l'atmosphère se font par diffusion libre et sont régulés par les différentes résistances rencontrées par les flux gazeux (Alatou D., 1984). La transpiration épidermique est définie comme le taux de transpiration dans le cas d'une ouverture des stomates. Elle est égale à la somme de la transpiration cuticulaire et de la transpiration stomatique résiduelle (Muchow & Sinclair., 1991.cité par Gherbi Az et Fenineche M ; 2001).La transpiration dépend de l'importance de la surface foliaire, de la nature des tissus épidermiques, de l'épaisseur de la cuticule qui couvre l'épiderme et surtout du nombre, la disposition et du degré d'ouverture des stomates.

La mesure de la transpiration épidermique peut être considérée comme un critère essentiel de sélection pour l'adaptation à la sécheresse. La résistance stomatique se traduit par le degré d'ouverture des stomates (Vignes & Planchon., 1979. cité par Bouhouhou M ; 1998). Les stomates sont la voie principale des échanges gazeux (vapeur d'eau, CO₂) entre la plante et le milieu environnant, tandis que le degré d'ouverture des stomates traduit le confort physiologique de la plante. Au niveau de la feuille, les échanges gazeux photosynthétiques ne se mesurent pas seulement à l'activité plus ou moins élevée d'un système pigmentaire ou enzymatique mais à 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 on peut penser que c'est en général, la température qui est le facteur limitant de la fixation du CO₂, en agissant sur la résistance de diffusion des gaz à travers l'épiderme contrôlé par les stomates.

Le réflexe stomatique, fermeture/ouverture de l'ostiole est:

- Quant la sécheresse est faible (HR=80%), l'évaporation de l'eau s'effectue plus vite à partir des cellules épidermiques, aux parois relativement minces. Donc T_e diminue plus vite que T_g , les stomates ont tendance à s'ouvrir ;
- Quant la sécheresse est plus forte (HR=50%), alors l'évaporation gagne à son tour les cellules de garde, T_g diminue et les stomates se ferment.

L'action de la température peut s'expliquer en partie de la même manière, elle agit essentiellement en modifiant l'HR de l'air (Réné H & al, 2004). On montre facilement que les basses ou hautes températures provoquent la fermeture des stomates, réflexe de défense contre la déshydratation mais qui entraînent l'arrêt quasi-total de l'approvisionnement en CO₂ (Miranda et al, 1981).

II - Matériels et méthodes

1/Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué par des semis de cèdre de l'Atlas âgés d'une année élevés en pépinière de Kais (Kenchela), puis transportés au laboratoire et repiqués dans des pots en plastique, remplis de terre végétale et élevés en conditions semi contrôlées dans une chambre de culture, les plants sont arrosés régulièrement une fois par semaine avec l'eau de robinet sous une température contrôlée ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) et un éclairage lumineux artificiel composé de Néons (OSRAM et PHILIPS 36W) d'une intensité de 3000 lux.

En conditions naturelles, les semis sont transportés dans des pots remplis de terre végétale dans la forêt de Hamla exposé aux conditions naturelles arrosés régulièrement une fois par semaine avec l'eau de robinet.

2/Traitements appliqués

Les semis élevés au laboratoire sont transférés pendant une durée de 3 heures à des températures basses de 2°C , -2°C , -6°C et -10°C au congélateur qui permet le passage des semis sous des températures basses contrôlées grâce à un régulateur de température. Pour les hautes températures l'étuve est utilisée afin de passer sous des hautes températures grâce à un régulateur de température: 38°C , 40°C , 42°C et 44°C .

En conditions naturelles on procède à des analyses saisonnières pour les paramètres biochimiques et morphologiques.



3/Paramètres mesurés

3.1/Paramètres morphologiques

Tout au long de l'année, nous avons réalisé des mesures saisonnières sur les plants élevés en conditions naturelles.

✓ La croissance en longueur

La longueur des tiges a été mesurée à l'aide d'une règle graduée. Les valeurs données représentent la moyenne de trois mesures.

✓ La croissance pondérale

La partie aérienne est séparée du système racinaire à l'aide d'une lame au niveau du collet. Le poids frais est déterminé à l'aide d'une balance. La matière sèche des deux parties

est déterminée après passage à l'étuve réglée à 80°C pendant 48h. Une fois les échantillons complètement secs, leur poids sec est déterminé à l'aide d'une balance de précision électronique.

3.2/Paramètres biochimiques

- ✓ **Mesure du taux de chlorophylle:** la méthode utilisée est celle de Mac Kinney (1941) (annexe01).
- ✓ **Mesure du taux de proline:** La proline a été dosée par la méthode de **Troll et Lindsley (1955)**, modifiée par **Monneveux et Nemmar (1986)**. Les valeurs obtenues sont ensuite reportées sur la courbe d'étalonnage : La gamme étalon se fait par un mélange (acide acétique, eau distillée, acide ortho phosphorique et ninhydrine) (Annexe02).
- ✓ **Mesure du taux des sucres solubles:** Le dosage des sucres est effectué selon la méthode de **Dubois et al (1956)**. Les teneurs en sucres solubles de chaque traitement sont déduites de l'équation de la courbe de référence (Annexe03).
- ✓ **Extraction et dosage des protéines:** La méthode utilisée est celle de **Lowry (1951)** qui nous permet d'extraire les protéines solubles et les protéines insolubles. Cette méthode a été appliquée seulement aux plantes en chambre de culture (Annexe04).

3.3/ Mesure de la résistance stomatique

On utilise pour la mesure de la résistance stomatique un poromètre de type AP4, il permet de contrôler le comportement stomatique des deux faces des feuilles selon les conditions d'éclairage et de température.

4/ Modalités d'interprétation

Les statistiques constituent un outil précieux pour l'expérimentation, une recherche statistique se décompose en trois étapes : la définition et la collecte des données, leur présentation en tableaux et enfin leur analyse à l'aide de tests statistiques.

Les différents résultats sont présentés dans le texte par leurs éléments statistiques (minimum, maximum, moyenne et écart type). Les résultats obtenus des paramètres étudiés (hauteur, poids, sucres solubles, proline, chlorophylle et protéines) ont été interprétés statistiquement par l'ANOVA à un facteur et à deux facteurs au moyen de l'analyse de la variance, en utilisant le logiciel MINITAB (version 13). Cette méthode permet de comparer les différents moyens entre elles et de chercher là où les moyennes sont considérées comme étant égales. Si au contraire, il y a une différence significative (valeur de Fischer théorique inférieure à la valeur de Fischer observée) le test de NEWMAN-KEULS au seuil 5%, est

poursuivi pour permettre de compléter l'interprétation et d'identifier les groupes de moyennes homogènes à l'aide du logiciel XLSTAT 2008. Enfin, pour mettre en évidence les relations linéaires entre les différentes variables nous avons calculé à chaque fois le coefficient de corrélation de Bravais-pearson. Ce coefficient" mesure l'intensité du lien qui existe entre deux variables quantitatives pour autant que cette liaison soit approximativement linéaire (Dagnelie, 2006).

Chapitre IV

Résultats et discussions:

1/ Analyses des températures tri horaires pour la période 2005-2008

2/ Les paramètres biométriques

3/ Les paramètres biochimiques

I - Analyses des températures tri horaires pour la période 2005-2008

1/ Analyse des températures extrêmes

Cette analyse traite des données thermiques tri horaires, des saisons hivernale et estivale et du mois d'avril (risque de gelées tardives) afin de déterminer :

- ✓ L'intensité (durée) et la fréquence des périodes de stress pour la période 2005 - 2008 ;
- ✓ La variabilité des températures moyennes journalières pour la même période;
- ✓ Variabilité saisonnière;
- ✓ Variabilité mensuelle;
- ✓ Variabilité des températures tri horaires.

1.1/ Analyse descriptive des données thermiques

Les températures moyennes ne possèdent qu'un sens très relatif. C'est surtout la température moyenne des maxima du mois le plus chaud (M), et la température moyenne des minima du mois le plus froid (m) qui méritent plus d'attention.

Dans ce cadre et afin de mieux caractériser les paramètres thermiques, on a calculé: la moyenne des maxima (M), la moyenne des minima (m), le coefficient de variation (CV), l'écart type (S) et l'erreur standard (ES). 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, 1998 in Kherief, 2006).

$$CV = S/m$$

$$ES = S/\sqrt{n-1}$$

Avec:

S: écart type (C°); CV: coefficient de variation (%); ES: erreur standard (%); m: moyenne (C°); n: la taille de l'échantillon

Tableau 14: Températures minimales mensuelles de la région de Batna

	Décembre	Janvier	Février	Avril	Jun	Juillet	Août
2005 Moy	1.613	-2.38	-0.696	5.843	15.046	18.135	17.013
S	3.49	3.36	2.55	4.18	4.067	3.167	4.659
CV	216.98	141.016	366.385	71.51	27.035	17.46	27.391
ES	11.665	11.20	9.45	14.41	14.027	10.55	15.53
Min	-5.4	-8.6	-5.6	-1.5	5.6	13	9.6
Max	8	4.9	4.2	14.8	25.2	26.9	28
2006 Moy	2.377	0.167	0.79	7.92	15.43	16.819	16.641
S	2.88	3.524	2.484	4.229	6.029	2.059	2.767
CV	121.28	2100.706	313.317	53.378	39.088	12.24	16.63
ES	9.61	11.745	8.28	14.097	20.099	6.863	9.225
Min	-2.5	-5	-3.8	-1	2.8	14	11
Max	7.5	8.7	4.8	20.7	27.2	23.8	25.5
2007 Moy	-0.487	-0.422	2.518	7.49	16.426	16.522	18.045
S	3.449	2.839	2.749	2.804	6.469	2.435	3.21
CV	708.079	671.90	109.213	37.439	39.38	14.738	17.789
ES	11.497	9.464	9.166	9.347	21.564	8.117	10.70
Mini	-7.3	-3.2	-2.7	2	5.8	12	12.8
Max	5.5	9.4	7	11.8	30.3	22.1	26
2008 Moy	0.735	0.022	0.148	5.427	14.286	19.087	17.5
S	3.160	3.44	3.697	4.354	3.571	3.009	2.354
CV	429.75	15388.97	2493.24	80.242	24.996	15.768	13.452
ES	10.536	11.583	12.323	14.515	11.903	10.032	7.847
Mini	-4.8	-4.6	-5.7	-2.4	8	12.3	13.8
Max	7.4	8	7.2	14.5	23.9	25.5	25.6

Tableau 15: Températures maximales mensuelles de la région de Batna

	Décembre	Janvier	Février	Avril	Jun	Juillet	Août
2005 Moy	11.038	10.41	9.496	20.423	32.563	37.635	34.274
S	3.077	3.751	3.932	5.507	4.069	3.921	4.6
CV	27.874	36.007	41.405	26.96	12.498	10.42	13.425
ES	10.256	12.506	14.563	18.992	14.033	13.072	15.337
Min	6.5	3.2	3.3	7.5	24.9	29.2	26.6
Max	16.6	15.7	18.6	30.1	39.5	43.8	42.6
2006 Moy	12.093	9.735	12.045	23.74	32.70	35.59	34.635
S	2.82.	2.666	2.826	4.789	6.643	2.423	4.094
CV	23.32	27.38	23.445	20.17	20.31	6.8	11.82
ES	9.4	8.886	10.466	16.515	22.91	8.076	13.647
Min	8.4	4.5	7.3	15.6	17.2	31.5	25.4
Max	18.2	17.4	17.2	31	41.1	40	41.9
2007 Moy	11.91	14.845	14.8	19.286	33.93	36.24	35.57
S	3.38	3.257	3.525	3.52	6.64	3.07	2.578
CV	28.4	21.94	23.82	18.27	19.57	8.47	7.246
ES	11.278	10.857	13.057	12.153	22.9	10.24	8.594
Mini	6.4	6.8	9.1	13.6	17.5	29.2	28.4
Max	20	21.2	22.2	27	42.6	40	38.9
2008 Moy	12.96	13.7	15.275	22.66	30.49	37.09	35.84
S	8.389	2.47	2.65	5.678	5.181	3.42	3.21
CV	64.73	18.09	17.36	25.07	16.99	9.23	8.959
ES	27.96	8.26	9.47	19.58	17.867	11.42	10.70
Mini	5.3	9.2	10.4	9.1	19.6	30.3	29.8
Max	16	18	20.2	32	38.3	42.4	41.9

On constate que la période hivernale qui s'étale du mois de décembre à février présente des températures minimales comprises entre -2.5 et -6.5°C, avec des températures absolues de -8.6°C. Le mois d'avril est affecté par des températures minimales de -2.4°C avec risque de gelées important. Pour la saison estivale, on relève des températures maximales qui varient entre 38.3 et 42°C en moyenne avec des températures absolues de 42.6°C.

1.2/Analyse des durées et des fréquences des températures extrêmes

Afin de mieux illustrer les changements thermiques ainsi que les différents stress durant la période entre 2005-2008, on a calculé la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M), et la moyenne des minima du mois le plus froid (m), sur une période de dix ans "1998-2008".

✓ $M = 36.22^{\circ}\text{C}$

✓ $m = 0.43^{\circ}\text{C}$

Toute température inférieure à "m" est supérieure à "M" considérée comme stressante.

1.2.1/ Les températures minimales

Selon le tableau (16), la durée totale des températures fraîches enregistrées pour l'année 2005 donne un total de 387h, alors que la plus faible durée est observée pour l'année 2006 (171h).

On constate que le mois de janvier enregistre les fréquences les plus importantes en températures fraîches, suivis du mois de décembre et de février, les mois de mars et avril présentent respectivement des durées de 93h et 9h et présentent donc avec des risques de gel importants.

Tableau 16: Durées et fréquences des températures fraîches inférieures à $m = -0.43^{\circ}\text{C}$ pour la région de Batna

Année /Mois		2005	2006	2007	2008	Totale
Décembre	Fréquence	19	7	34	19	237(10J)
	Durée (h)	57	21	102	57	
Janvier	Fréquence	64	29	28	23	432(18J)
	Durée (h)	192	87	84	69	
Février	Fréquence	35	11	6	21	219(9J)
	Durée (h)	105	33	18	63	
Mars	Fréquence	11	9	4	7	93(4J)
	Durée (h)	33	27	12	21	
Avril	Fréquence	0	1	0	2	9
	Durée (h)	0	3	0	6	
Totale		387(16J)	171(7J)	216(9J)	216(9J)	990 (41J)

A/ Les différents stress observé durant la période 2005-2007 pour la saison hivernale

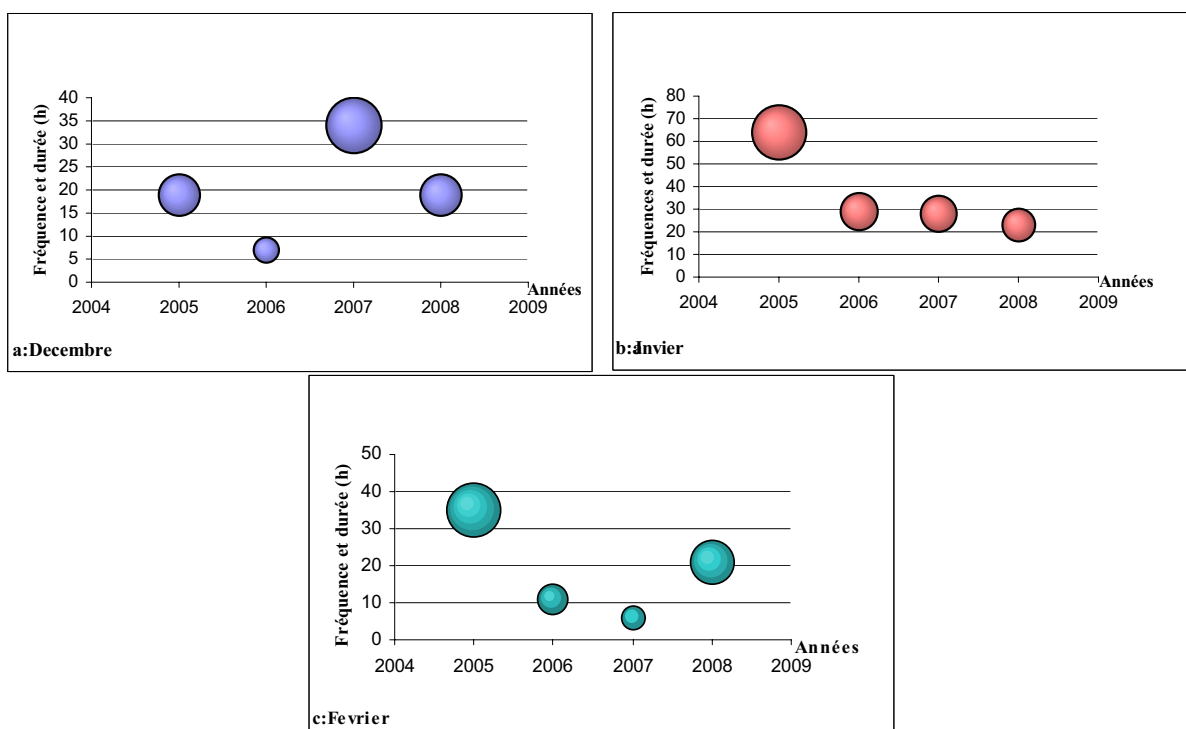


Figure 22: Fréquences et durées des températures fraîches de la région de Batna

La représentation des stress en 3D, montre que l'année 2005 enregistre une importante variabilité thermique, avec un seul refroidissement durant le mois de décembre, trois refroidissements durant le mois de janvier et deux refroidissements pour le mois de février.

1.2.2/ Les températures maximales

Le tableau (17) présente les températures maximales supérieures à "M", on constate que l'année la plus chaude est 2007 avec 249h, suivie par 2006 et 2008 avec respectivement 183h et 204h. Juillet est le mois qui présente la plus grande fréquence.

Tableau 17: Durées et fréquences des hautes températures supérieures à $M = 36.22^{\circ}\text{C}$ pour la région de Batna

Années/ classes des TC	$\beta 6, 38[$	$\beta 8, 40[$	$\# 0, 42[$	$\# 2, 44[$	Total	
2005	Fréquence	37	17	13	2	69
	Durée (h)	111	51	39	6	207(8J)
2006	Fréquence	40	16	5	0	61
	Durée (h)	120	48	15	0	183(7J)
2007	Fréquence	52	25	6	0	83
	Durée (h)	156	75	18	0	249(10J)
2008	Fréquence	38	15	14	1	68
	Durée (h)	114	45	42	3	204(8J)

A/ Les stress observé durant la période 2005-2007 pour la saison estivale

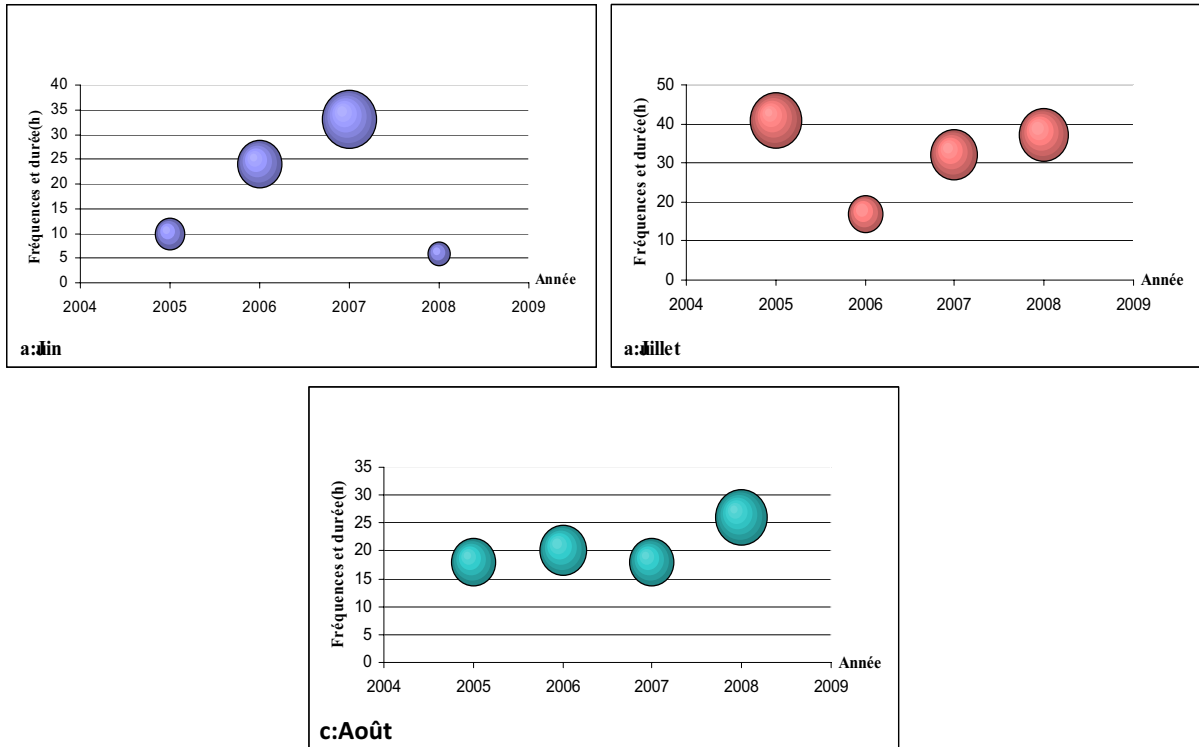


Figure23: Fréquences et durées des températures chaudes de la région de Batna

L'analyse des fréquences et des durées des températures de la saison estivale fait sortir le classement suivant: 2007>2005>2008>2006. Où l'année 2007enregistrent un total de 4 réchauffements. L'année 2006 par contre enregistre durant le mois de juillet deux stress courts, pour les mois de juin et d'août on a un seul réchauffement qui dure une dizaine de jours en moyenne.

1.2.3/ Teste de signification de la régression "tendance"

Pour mètre 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 degrés de liberté (ddl) et le niveau de signification α .

On utilise le test de l'hypothèse correspondante relative au coefficient de corrélation r pour la signification statistique. Les résultats sont enregistrés dans les figures 24 et 25 pour les mois de la saison hivernale et estivale de la période 2005-2008.

a) la saison hivernale

D'après les résultats obtenus, on constate que l'année 2007 montre un réchauffement significatif pour les mois de décembre et janvier, par contre l'année 2005 montre une certaine stabilité des températures minimales.

b) la saison estivale

Le mois de juin montre des différences significatives pour les trois années, on perçoit un réchauffement important durant ce mois, pour les autres mois de la saison estivale on constate que c'est l'année 2005 qui enregistre un réchauffement pour le mois de juillet et un refroidissement significatif pour le mois d'août.

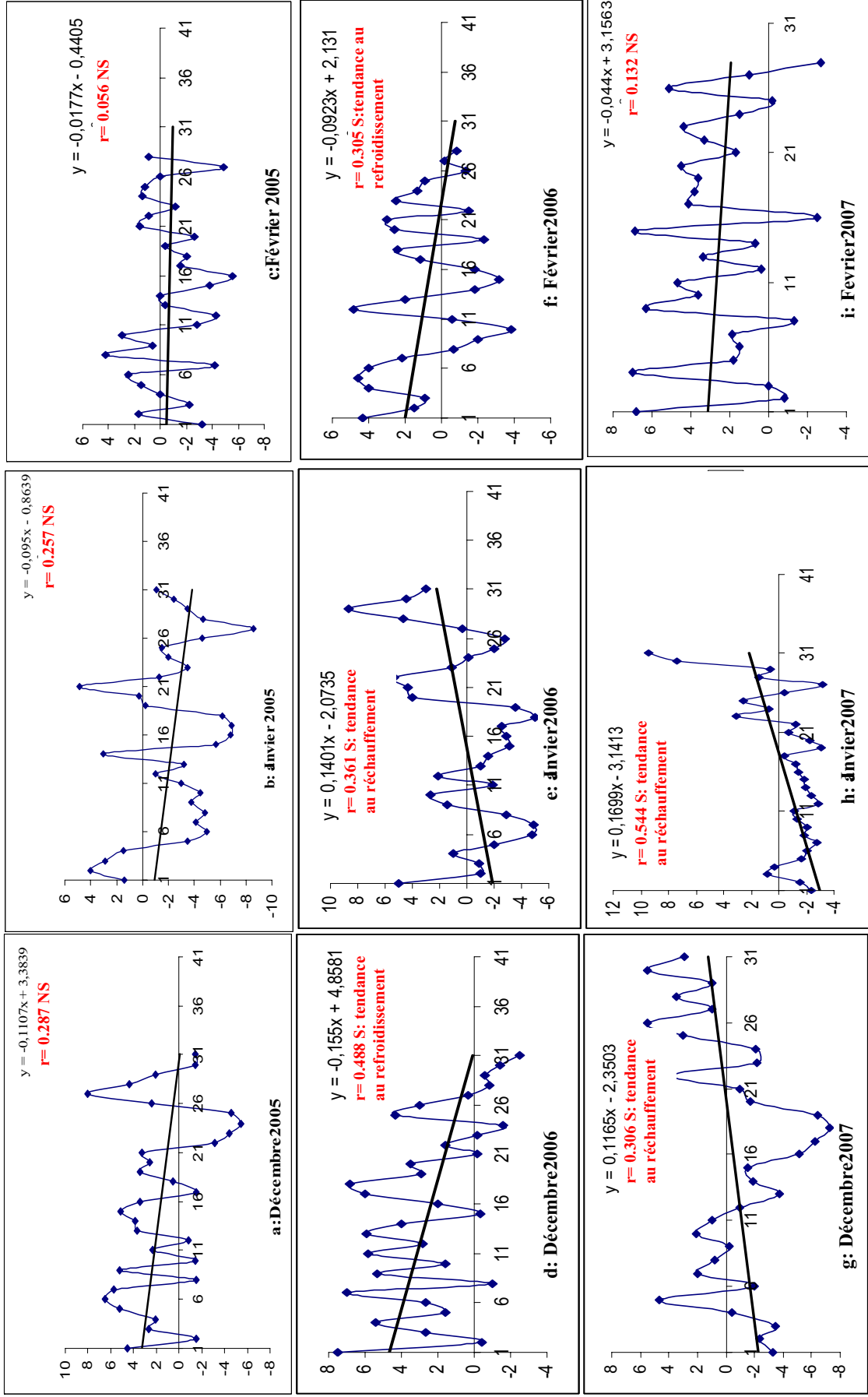


Figure24: Variabilité des températures minimales moyennes de la saison hivernale 2005-2008

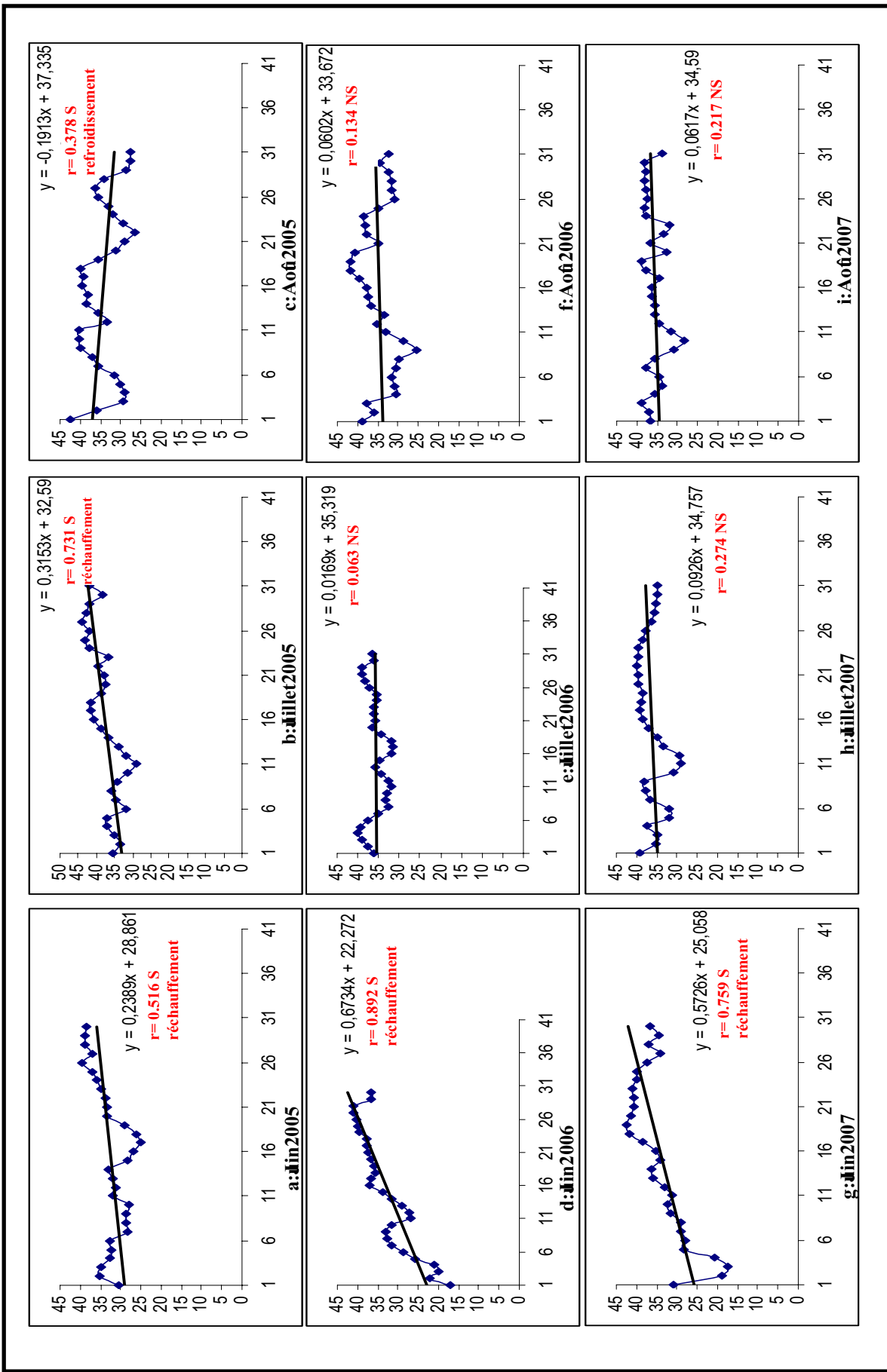


Figure25: Variabilité des températures minimales moyennes de la saison estivale 2005-2008

1.3/Comparaison des T moyennes mensuelles (T_{min}, T_{max}) du même mois de la saison hivernale et des gelées tardives

Tableau 18: Tableau des comparaisons des T_{min} et T_{max} pour les mois de la saison hivernale et du mois d'avril

	Températures minimales (T _{min})				Températures maximales (T _{max})			
	Moyenne	Ecart type	Fobs	P	Moyenne	Ecart type	Fobs	P
Décembre 4	2.948	3.105	5.50	0.000 ***	11.323	3.048	0.61	0.653 NS
Décembre 5	1.613	3.5			11.039	3.077		
Décembre 6	2.377	2.883			12.094	2.820		
Décembre 7	-0.487	3.449			11.913	3.383		
Décembre 8	0.735	3.161			11.365	3.271		
Janvier 05	-2,384	3,362	3.94	0.010 *	10.419	3.752	20.14	0.000 ***
Janvier 06	0,168	3,524			9.735	2.666		
Janvier 07	-0,423	2,839			14.845	3.257		
Janvier 08	0,023	3,475			13.700	2.479		
Février 05	-0.672	2.509	5.99	0.001 **	9.169	4.245	15.33	0.000 ***
Février 06	0.766	2.444			11.638	3.565		
Février 07	2.431	2.740			14.290	4.420		
Février 08	0.148	3.697			15.276	2.652		
Avril 05	5.843	4.178	2.88	0.039 *	20.423	5.508	5.08	0.002 **
Avril 06	7.923	4.229			23.743	4.789		
Avril 07	7.490	2.804			19.287	3.525		
Avril 08	5.427	4.354			22.660	5.678		

L'analyse de la variance à un critère de classification montre qu'il existe une différence significative pour les températures minimales entre les mois de la saison hivernale, spécialement pour les mois de décembre et février. Sur la base des valeurs moyennes des températures du mois d'avril, on a un risque de gelée.

1.4/Comparaison des T moyennes mensuelles (T_{min}, T_{max}) du même mois de la saison estivale

L'analyse de la variance à un critère de classification des moyennes des trois mois de la saison estivale montre qu'il n'existe pas de différence significative, sauf pour le mois de juillet dont on perçoit un réchauffement d'une année à l'autre

Tableau 19: Tableau des comparaisons des T_{min} et T_{max} pour les mois de la saison estivale et du mois d'avril

	Températures minimales (T _{min})				Températures maximales (T _{max})			
	Moyenne	Ecart type	Fobs	P	Moyenne	Ecart type	Fobs	P
Jun 05	15.047	4.068	0.88	0.452 NS	32.563	4.070	1.86	0.141 NS
Jun 06	15.427	6.030			32.703	6.643		
Jun 07	16.427	6.469			33.933	6.642		
Jun 08	14.287	3.571			30.490	5.182		
Jillet 05	18.135	3.167	6.02	0.001 **	37.635	3.922	2.39	0.072 NS
Jillet 06	16.819	2.059			35.590	2.423		
Jillet 07	16.523	2.435			36.239	3.071		
Jillet 08	19.087	3.010			37.090	3.425		
Août05	17.013	4.660	1.02	0.389 NS	34.274	4.601	1.26	0.292 NS
Août06	16.642	2.768			34.635	4.094		
Août07	18.045	3.210			35.577	2.578		
Août08	17.500	2.354			35.839	3.211		

1.5/Comparaison des moyennes mensuelles (T_{min}, T_{max}) pour chaque saison des 4 ans

Suite à l'analyse de la variance (Tab 20) à un critère de classification pour la saison hivernale et estivale, on constate que c'est l'hiver de l'année 2005 et 2007 qui enregistre une variabilité significative, tandis que pour la saison estivale ce sont les années 2005,2006 et 2008 qui montre une différence significative.

Tableau 20: Tableau de comparaison des températures moyennes mensuelles pour chaque saison de 4 années

	Températures minimales				Températures maximales				
	Moyenne	Ecart type	Fobs	P	Moyenne	Ecart type	Fobs	P	
Saison hivernale	Décembre 04	2.948	3.105	25.58	0.000 ***	11.323	3.048	2.55	0.084 NS
	Janvier 05	-0.2384	3.362			10.419	3.752		
	Février 05	-0.629	2.430			9.169	4.245		
	Décembre 05	1.613	3.55	1.63	0.201 NS	11.039	3.077	3.07	0.032 *
	Janvier 06	0.168	3.524			9.735	2.66		
	Février 06	0.716	2.369			9.940	5.252		
	Décembre 06	2.37	2.883	9.87	0.000 ***	12.094	2.820	3.56	0.033 *
	Janvier 07	-0.423	2.716			14.845	3.257		
	Février 07	2.274	2.839			13.368	5.565		
	Décembre 07	-0.487	3.449	0.28	0.760 NS	11.913	3.383	10.32	0.000 ***
	Janvier 08	0.023	3.475			13.700	2.479		
	Février 08	0.148	3.697			15.276	2.652		
Saison estivale	Jan 05	14.561	4.827	5.64	0.005 **	31.513	4.601	10.08	0.000 ***
	Juillet 05	18.135	3.167			37.635	3.922		
	Août 05	17.013	4.660			34.274	7.086		
	Jan 06	14.929	6.544	1.85	0.163 NS	31.648	8.784	3.94	0.023 *
	Juillet 06	16.819	2.059			35.590	2.423		
	Août 06	16.642	2.768			34.635	4.094		
	Jan 07	15.897	7.011	1.74	0.182 NS	32.839	8.932	87.44	0.000 ***
	Juillet 07	16.523	2.435			36.239	3.071		
	Août 07	18.045	3.210			18.045	3.210		
	Jan 08	13.826	4.349	20.21	0.000 ***	29.506	7.479	123.95	0.000 ***
	Juillet 08	19.087	3.010			37.090	3.425		
	Août 08	17.500	2.354			17.500	2.354		

1.6/Comparaison des moyennes saisonnières (Tmin, Tmax) de la même saison entre les 4 années

L'analyse thermique des 4 années montre que l'été reste chaud avec des températures relativement stables, alors que l'hiver présente une variabilité thermique entre les minima et les maxima.

Tableau 21: Tableau de comparaison des (T_{min}, T_{max}) de la même saison entre les 4 années

	Températures minimales (T _n)				Températures maximales (T _x)			
	Moyenne	Ecart type	Fobs	P	Moyenne	Ecart type	Fobs	P
Saison hivernale 2005	-0.022	3.706	4.30	0.005 **	10.106	4.016	20.88	0.000 ***
Saison hivernale 2006	0.832	3.199			10.131	3.944		
Saison hivernale 2007	1.410	3.073			13.435	4.175		
Saison hivernale 2008	-0.109	3.471			13.301	3.695		
Saison estivale 2005	16.570	4.494	0.50	0.681 NS	34.474	5.885	0.44	0.725 NS
Saison estivale 2006	16.130	4.310			33.958	5.949		
Saison estivale 2007	16.822	4.706			34.885	5.784		
Saison estivale 2008	16.804	3.979			34.145	6.048		

2/ Les différents stress observés durant l'année 2008

Les données thermiques tri horaire de l'année 2008, au cours de la quelle on a effectué nous analyse, nous ont permis de dressé un portrait bien détaillé des stress rencontré lors des quatre saisons de l'année (Fig26).

La figure 27 fait ressortir les points suivants:

- ✓ La saison hivernale, une corrélation significative seulement pour les T max,
- ✓ La saison printanière et estivale montre des corrélations positives et donc une tendance vers le réchauffement,
- ✓ La saison automnale on assiste à une diminution significative de la température (tendance vers le refroidissement).

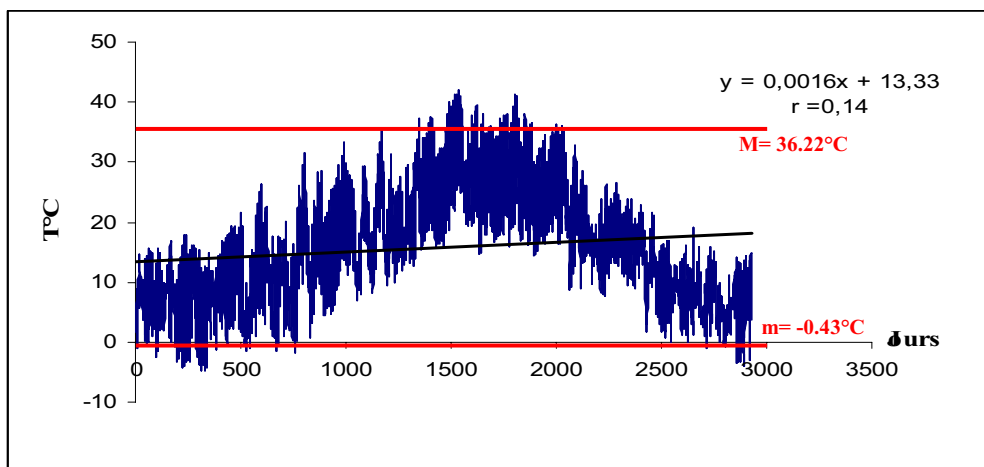


Figure26: Variation et courbe de régression des températures tri horaire de l'année 2008

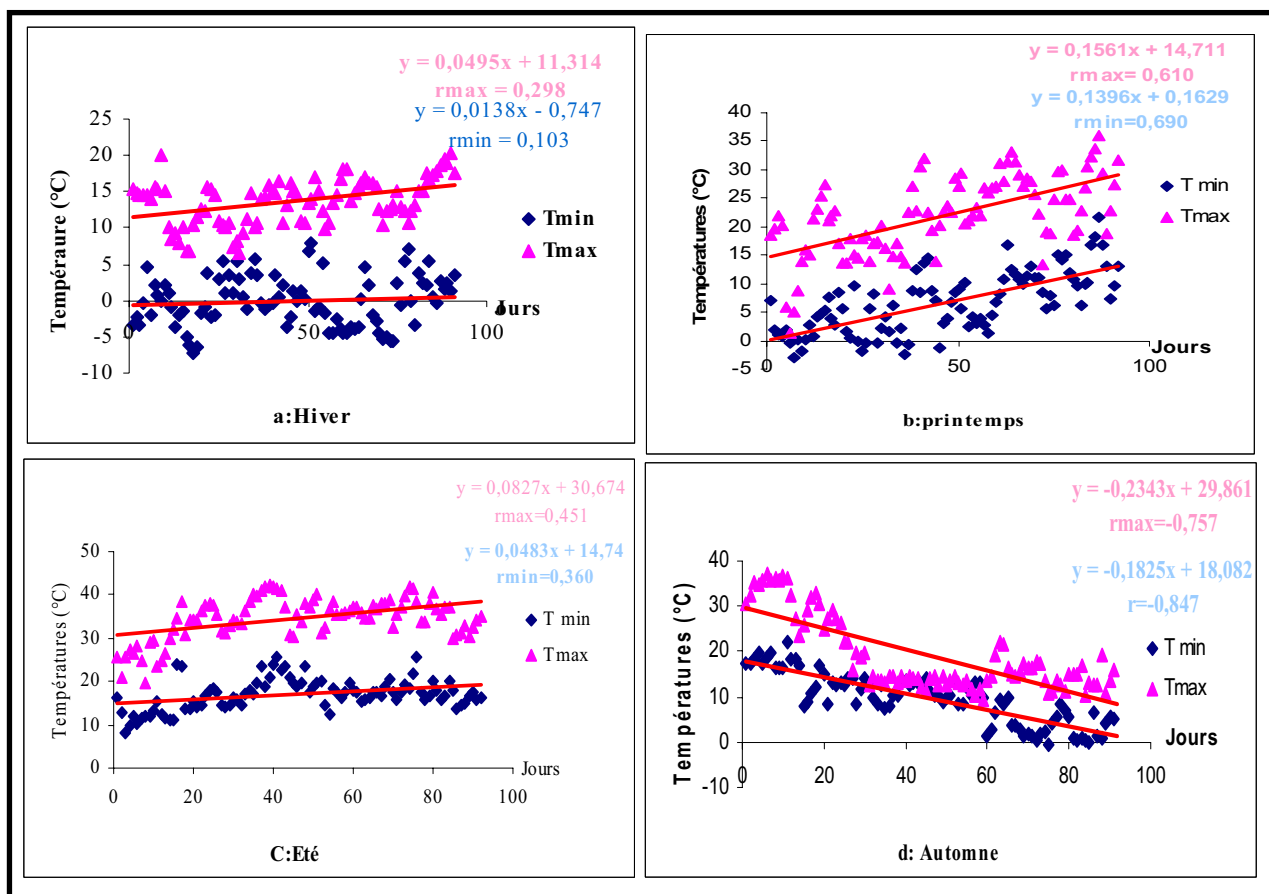


Figure 27: Courbe de régression des températures maximales et minimales en fonction des saisons de la région de Batna

2.1/ Amplitude thermique de l'année 2008

Les amplitudes thermiques enregistrées dans le tableau suivant montre qu'elles sont importantes en été et au printemps.

Tableau 22: Amplitude thermique durant l'année 2008

	Décembre 2007	Janvier.	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
Min	-0.5	0.02	0.13	2.7	5.4	11.8	14.3	19.1	17.5	14.9	10.5	3.6
Max	11.9	13.7	14.3	16.8	22.7	26.4	30.5	37.1	35.8	29.2	22.3	15.1
Amplitude thermique	12.4	13.68	14.17	14.1	17.3	14.6	16.2	18	18.3	14.3	11.8	11.5

2.2/ Cinétique des stress observés durant l'année 2008

A/ La saison hivernale

La figure 28 présente l'analyse détaillée des refroidissements rencontrés durant l'année 2008, on dénombre une durée de 261 heures de température inférieure à 0°C.

Le mois de décembre 2007: enregistre deux refroidissements:

- ✓ le premier du début du mois jusqu'au 3^{ème} jours avec une fréquence de 2-3 fois chaque jour, on a un total de 21 heures de température comprises entre [-0.7°C et -1.6°C].

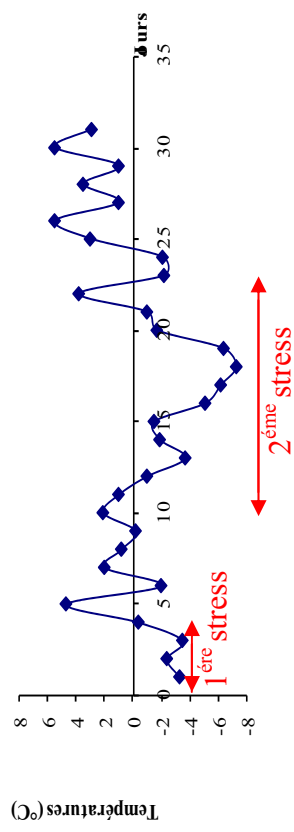
- ✓ le deuxième stress plus important, du 12^{ème}-20^{ème} jours du mois, avec une fréquence de 3 à 4 fois chaque jour, un total de 66heures avec un intervalle de -0.1 à -6.8°C.

Le mois de janvier 2008 : on a deux refroidissements:

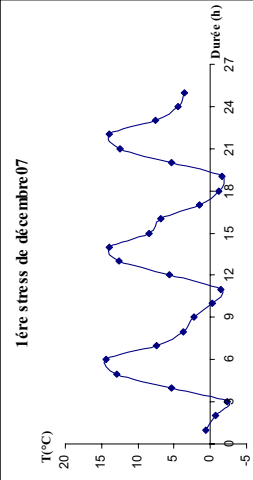
- ✓ le 1^{ère} de court durée (2 jours), une fréquence de 2fois, donc un total de 12heures avec des températures comprises entre -1.4°C et -2.5°C.
- ✓ le second est plus important 54 heures, du 24^{ème} jour jusqu'à la fin du mois avec une fréquence de 3 fois par jour. Les températures sont comprises entre -0.4°C et -4.1°C.

Le mois de février: un seul refroidissement, une durée de 6 jours durant la 2^{ème} semaine du mois, la fréquence est de 2-3 fois chaque jour, un total de 57 heures avec des températures - 0.5°C et -4.6°C.

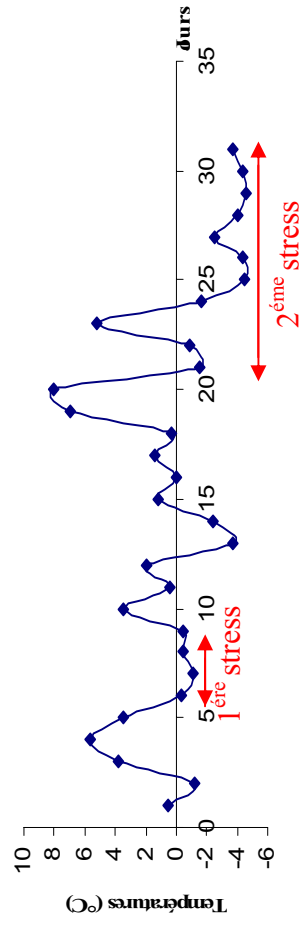
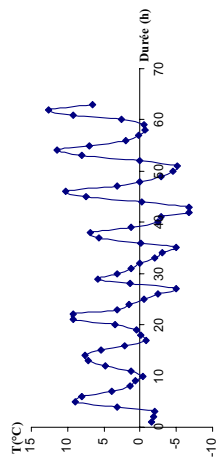
Pour le mois de mars une durée de 21heures, avec une fréquence de 7fois, le stress ne dépasse pas 3h, les températures sont de -0.1°C à -1.5°C. Quand au mois d'avril un seul stress d'une durée de 6h (le 5^{ème} jour) d'une température -1.8°C. D'une manière générale les températures négatives sont observées de 0h à 9h du matin pour chaque jour de stress. On a un hiver froid avec des températures descendant jusqu'à -7°C, on a le classement:le:décembre (102heures)>janvier et février (69h, 63h), les gelées tardives de mars et avril ne sont pas négligeables et peuvent causées ainsi des dégâts.



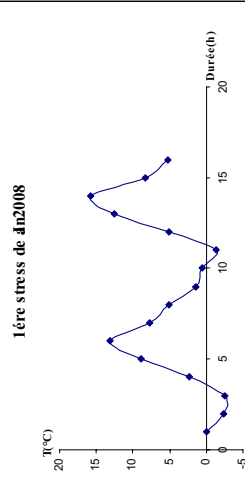
a: Décembre 2007



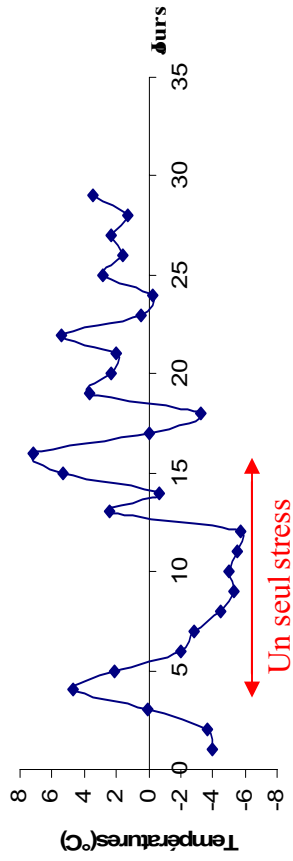
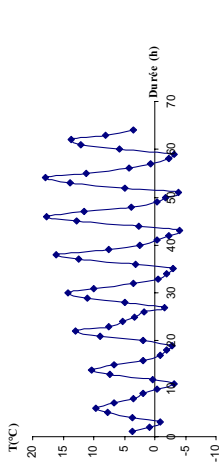
2ème stress



b: Janvier 2008



2ème stress de jan 2008



c: Février 2008

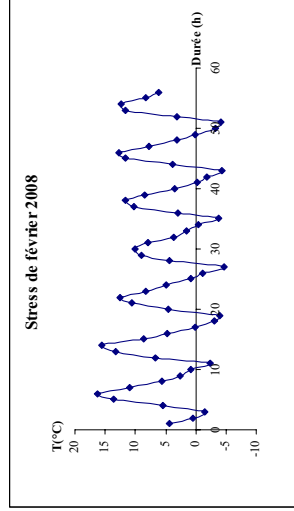


Figure 28 : Cinétique des stress de la saison hivernale

B/La saison estivale:

Durant la saison estivale on enregistre une durée de 204 heures de températures supérieures à la moyenne (Fig29).

Le mois de juin: durant ce mois on enregistre un seul stress qui s'étale du 23^{ème} au 25^{ème} jour, avec une durée totale de 18 heures, les températures ne dépassent pas 37,6°C.

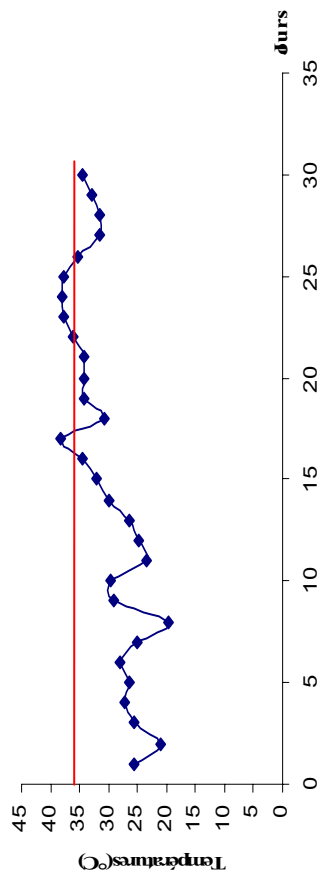
Le mois de juillet: c'est le mois le plus chaud et celui durant lequel on rencontre la plus grande fréquence en températures stressant. Donc on a deux stress:

- ✓ le 1^{ère} stress est le plus important qui se prolonge durant toute la première semaine de ce mois, avec des températures très élevées atteignant 42°C, ce stress a une durée de 75 heures et une fréquence de 2 à 3 fois chaque jour.
- ✓ le 2^{ème} stress a une durée de 4 jours vers la fin du mois, avec des températures de 36-39°C d'une fréquence de 2 fois chaque jour, soit un total de 30 heures.

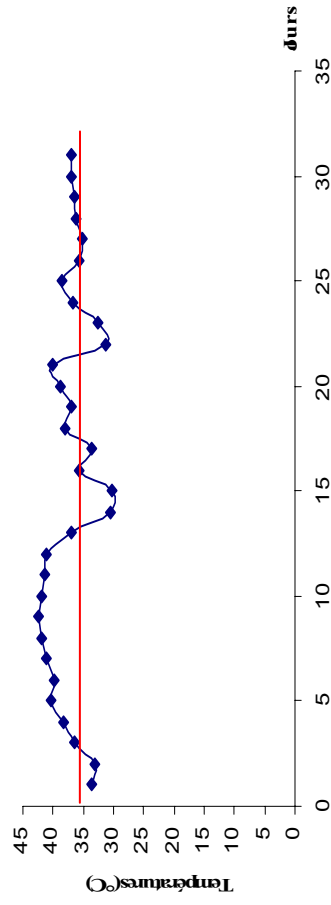
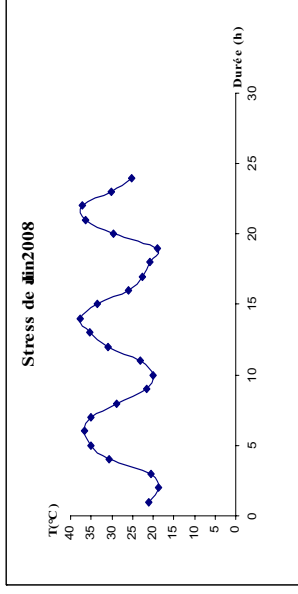
Le mois d'août ce mois présente deux réchauffements d'une durée moyenne de 4 jours successifs:

- ✓ le 1^{ère} réchauffement du 4 au 8^{ème} jours du mois avec une durée totale de 30 heures, avec des températures variant entre 36°C et 38°C, la fréquence est de 2-3 fois chaque jour.
- ✓ Le 2^{ème} réchauffement du 11^{ème} jours au mi août, d'une durée de 42 heures avec une fréquence de 3 fois chaque jour, les températures sont de 36°C à 41,4°C.

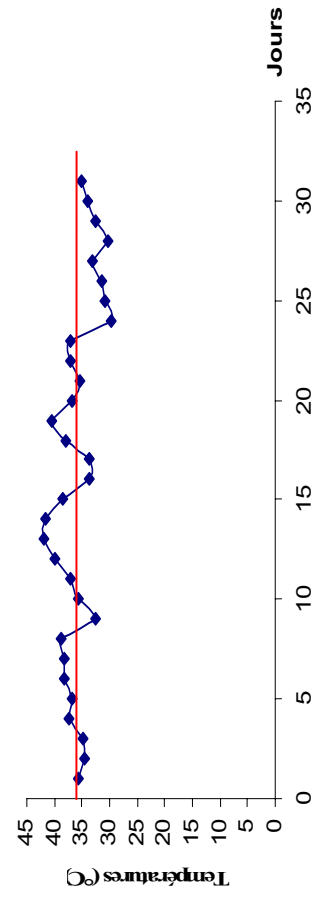
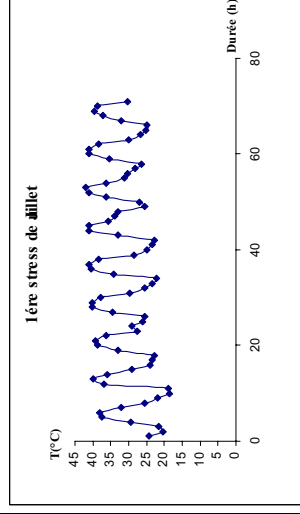
En conclusion les conditions climatiques caniculaires se manifestent dès le début du mois de juillet, avec un maximum de 42°C puis une certaine baisse vers le début du mois d'août pour s'enflammer une dernière fois avec des températures de 41°C. Ces températures critiques sont toujours enregistrées entre midi et 18h du soir, d'où un stress très important qui peu durer jusqu'à 6 heures



a: Juin 2008



b: Juillet 2008



c: Aout

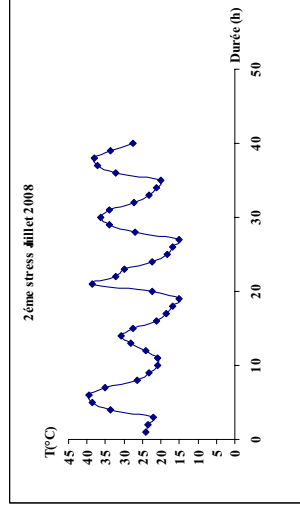
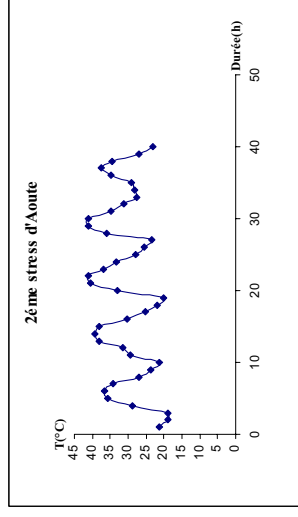
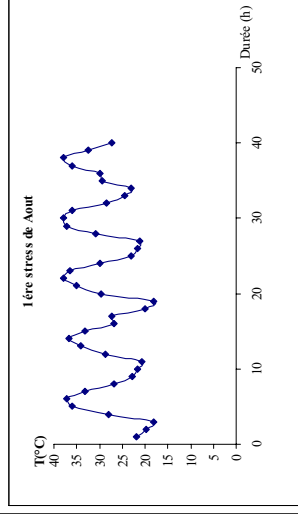


Figure 29 : Cinétique des stress de la saison estivale

II - Les paramètres biométriques

1/Effet des variations thermiques saisonnières sur les paramètres biométriques des semis du cèdre de l'Atlas:

Les résultats des paramètres biométriques pour les différentes saisons sont représentés dans le tableau 23.

Tableau 23: Paramètres statistiques des mesures morphologiques durant les saisons

	Saisons	N	Moyenne	Minimum	Ecar-Type	Maximum
LT	Hiver (2008)	3	13.829	13.72	0.128	13.971
	Printemps (2008)	3	16.555	16.32	0.238	16.797
	Été (2008)	3	16.80	15.14	0.57	117.17
	Automne (2008)	3	20.45	19.86	0.59	21.04
	Hiver (2009)	3	21.034	20.98	0.092	21.14
PFA	Hiver (2008)	3	2.666	2.448	0.194	2.816
	Printemps (2008)	3	5.253	4.923	0.350	5.621
	Été (2008)	3	6.029	5.897	0.163	6.212
	Automne (2008)	3	7.969	7.746	0.230	8.206
	Hiver (2009)	3	8.442	8.125	0.281	8.650
PSA	Hiver (2008)	3	1.201	1.102	0.087	1.267
	Printemps (2008)	3	2.364	2.215	0.157	2.529
	Été (2008)	3	2.713	2.654	0.073	2.795
	Automne (2008)	3	3.586	3.693	0.104	3.693
	Hiver (2009)	3	3.798	3.656	0.126	3.896
PFR	Hiver (2008)	3	0.851	0.831	0.063	0.924
	Printemps (2008)	3	1.056	1.045	0.010	1.065
	Été (2008)	3	1.120	1.112	0.007	1.126
	Automne (2008)	3	2.141	2.123	0.017	2.156
	Hiver (2009)	3	2.618	2.254	0.363	2.981
PSR	Hiver (2008)	3	0.212	0.203	0.015	0.231
	Printemps (2008)	3	0.264	0.261	0.025	0.266
	Été (2008)	3	0.280	0.278	0.018	0.282
	Automne (2008)	3	0.535	0.530	0.042	0.539
	Hiver (2009)	3	0.645	0.563	0.090	0.745
PSR/PSA	Hiver (2008)	3	0.177	0.164	0.011	0.185
	Printemps (2008)	3	0.112	0.105	0.006	0.118
	Été (2008)	3	0.103	0.099	0.003	0.106
	Automne (2008)	3	0.149	0.146	0.004	0.154
	Hiver (2009)	3	0.172	0.154	0.020	0.194

1.1/ La hauteur de la partie aérienne

Les stades qui jalonnent la vie d'un cèdre de l'Atlas peuvent se résumer comme suit: la plante s'édifie selon son unité architecturale. Le tronc orthotrope, à développement monopodiale et rythmique, porte des étages de branches ramifiées en rameaux longs qui portent eux-mêmes des ramilles et des rameaux courts (SBATIER, BARTHELEMY; 1995).

La figure 30 montre que la longueur de 20.45 ± 0.59 cm enregistrée durant la saison automnale, correspond au taux de croissance le plus élevé (45%) puis vient la saison printanière avec un taux de croissance estimé à 38%, ce qui coïncide effectivement avec la période de croissance du cèdre qui s'étale de la fin du mois d'avril à la fin du mois de septembre (AUSSENAC *et al.*, 1981).

L'analyse de la variance à un critère de classification appliqué aux moyennes des saisons fait ressortir une différence très significative ($P < 0.001$) (annexe 01). La comparaison de ces moyennes réalisée par le test de Newman et Keuls à 5% nous dégage quatre groupes distincts:

- ✓ groupe (A) : la saison automnale (2008) avec la plus grande moyenne 45.49%,
- ✓ groupe (B): la saison printanière (2008) 37.8%,
- ✓ groupe (C): la saison estivale (2008) 8.60%,
- ✓ groupe (D): la saison hivernale (2009) 8.1%.

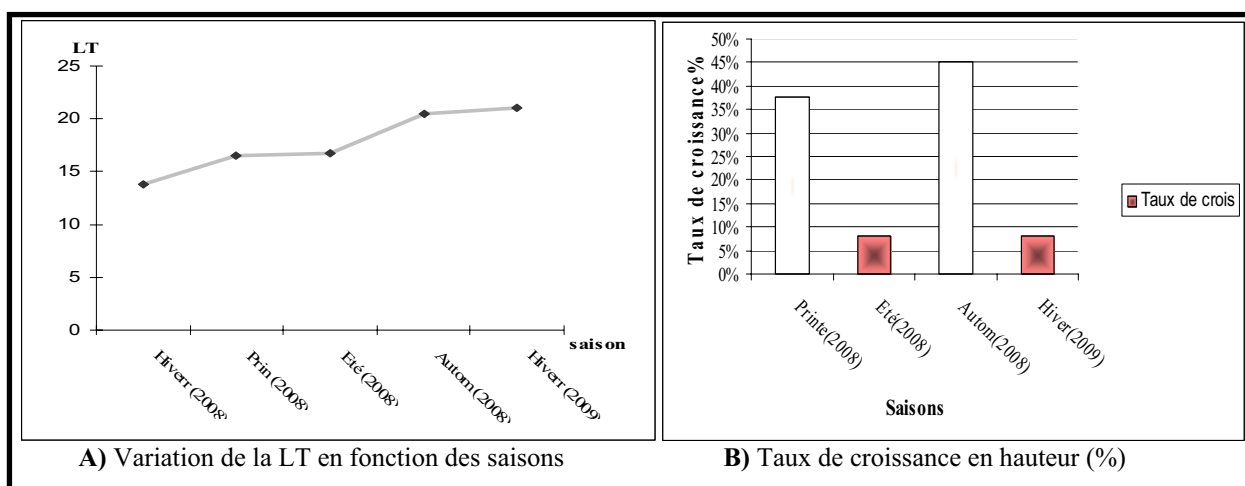


Figure30: Graphes de la longueur de la partie aérienne

1.2/ Les variation du poids frais et du poids sec de la partie aérienne

La variabilité saisonnière a induit une augmentation très significative du poids frais et du poids sec de la partie aérienne, ce qui est confirmé par l'analyse de la variance à un critère de classification ($P < 0.001$) (annexe 05); ceci est illustré par la figure (31.a). Le taux d'augmentation du poids (frais et sec) le plus élevé est signalé durant la période printanière avec une valeur moyenne de l'ordre de 45%, par contre le taux le plus faible est enregistré durant la saison hivernale avec 8% en moyenne figure (31.b).

La comparaison à l'aide du test de Newman et Keuls à 5%, montre quatre groupes distincts:

- ✓ groupe (A) : la saison printanière (2008) avec 44.77%,
- ✓ groupe (B): la saison automnale (2008) 13.44%,
- ✓ groupe (C): la saison estivale (2008)33.6%,
- ✓ groupe (D): la saison hivernale (2009) 8.2%.

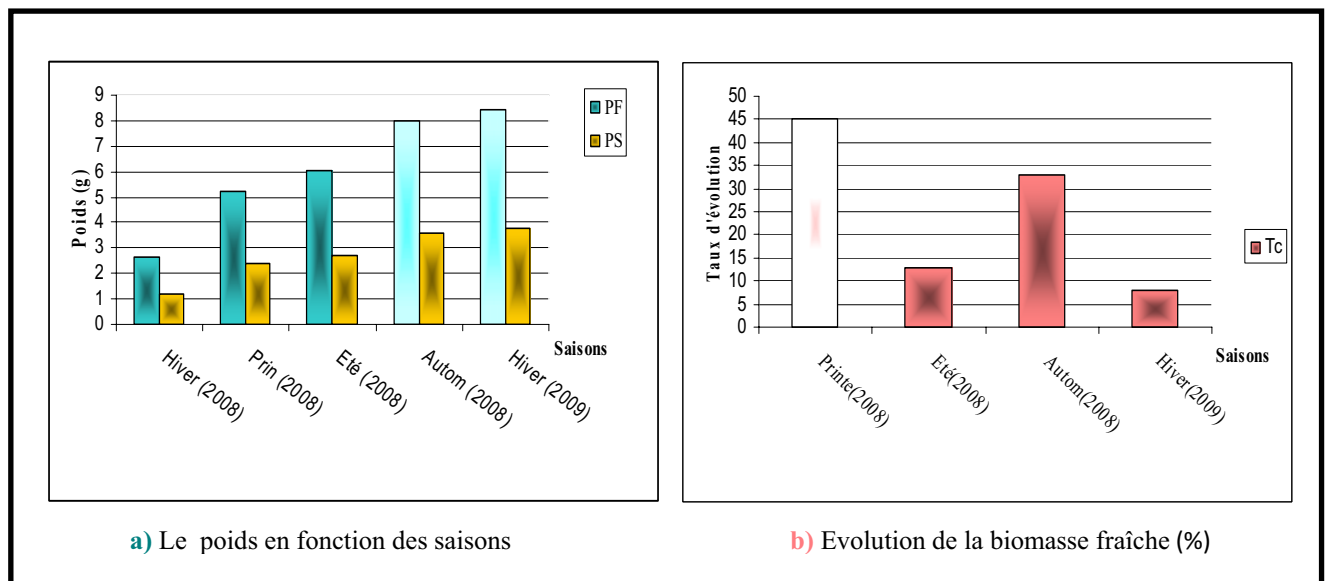
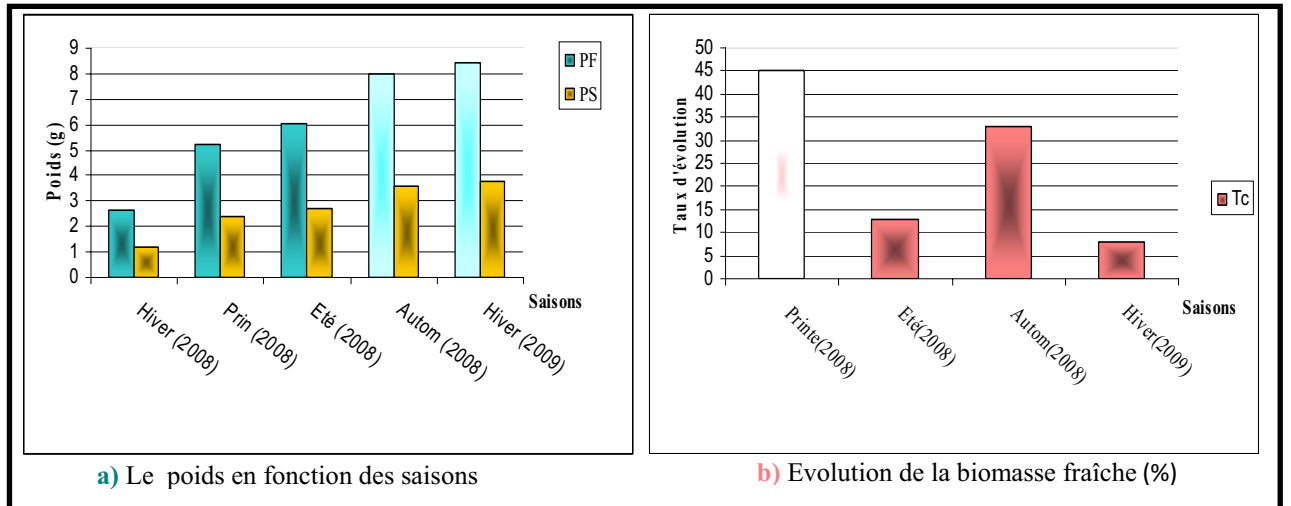


Figure 31: Variation du poids de la partie aérienne des semis de cèdre en conditions naturelles dans la région de Batna

1.3/ Les variation du poids frais et du poids sec de la partie souterraine

Le poids des racines du cèdre de l'Atlas dans la figure (32.a) enregistrent des augmentations très significatives pour le poids, comme le montre l'analyse de la variance à un critère de classification ($P < 0.001$) (annexe 01); en effet le taux d'évolution le plus important est signalé durant la saison automnale avec une moyenne de 58%, alors que le taux le plus bas est estimé en moyenne à 3% pour la saison estivale (Fig32.b).

La comparaison à l'aide du test de Newman et Keuls à 5%, montre quatre groupes distincts:

- ✓ groupe (A) : la saison automnale (2008) avec la plus grande moyenne 57.78%,
- ✓ groupe (B): la saison hivernale (2009) 26.99%,
- ✓ groupe (C): la saison printanière (2008) 11.60%,
- ✓ groupe (D): la saison estivale (2008) 3.622%.

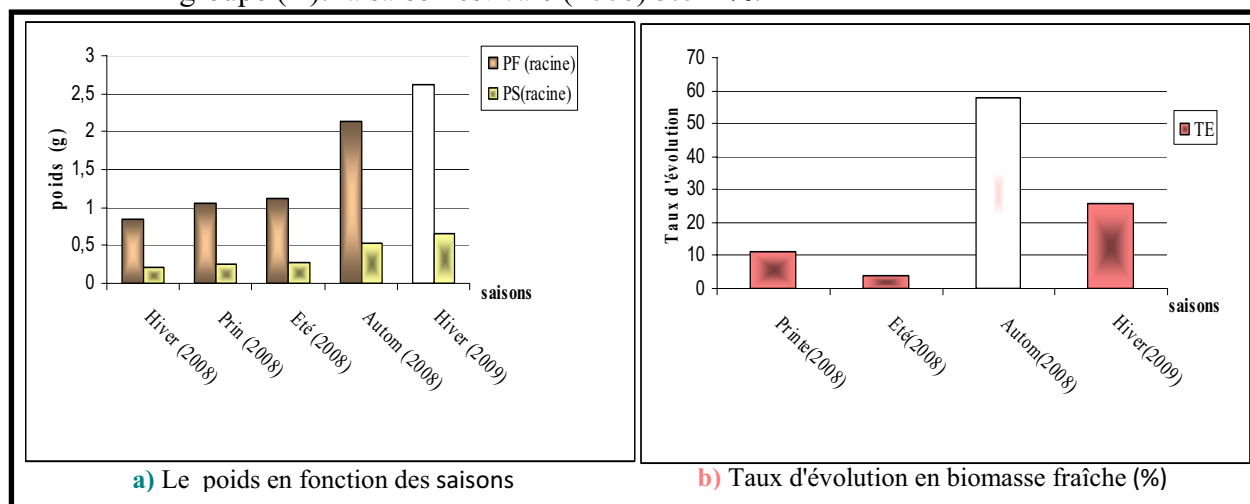


Figure32 : Variation du poids de la partie souterraine des semis de cèdre en conditions naturelles dans la région de Batna

1.4/ Le rapport de biomasse sèche partie aérienne/partie souterraine

Le rapport de biomasse sèche illustré par la figure33, montre une augmentation importante durant les deux saisons automnale et hivernale (hiver 2009) avec des valeurs respectivement de l'ordre de 0.149 ± 0.004 et 0.172 ± 0.020 , cette augmentation searit due à une répartition des assimilats carbonés qui profiterait plus aux racines qu'au parties aériennes (Girardin, 1998; Miedema, 1982). Une différence très hautement significative est signalée ($P < 0.001$) (annexe 05), on a trois groupes homogènes: le groupe (A) comprend l'hiver 2008 et 2009 suivit du groupe (B):automne2008 enfin le groupe (C) avec le printemps et l'été.

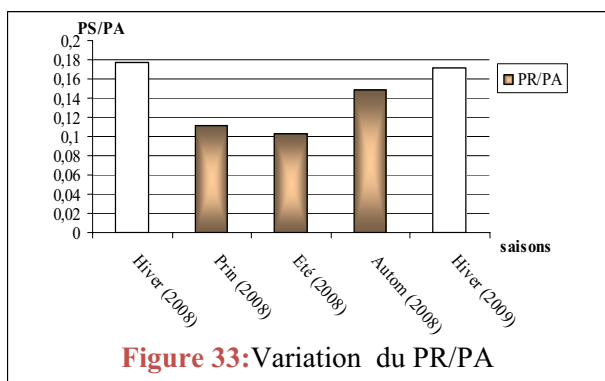


Figure 33: Variation du PR/PA

1.5/ Taux de mortalité

Sur les 50 semis plantés, on a observé durant la saison hivernale un taux de mortalité de 4%, alors que durant l'Eté on a un taux 59% (dépérissement de l'apex et brûlure des aiguilles).

Conclusion

Dans cette partie, nous avons estimés la quantification des paramètres morphologiques de la croissance des semis du cèdre de l'Atlas qui est marqué par une alternance de phase d'activité, et de repos, on parle de croissance rythmique (Alatou, 1990; Derfeye et al, 1989). La croissance en hauteur est généralement lente au cours des premières années, puis elle devient très active avec les années. A partir de l'analyse des résultats obtenus on remarque:

- ❖ Une période hivernale à croissance aérienne faible et forte au niveau racinaire.
- ❖ Une période printanière à croissance aérienne et racinaire satisfaisante.
- ❖ Une période estivale à faible croissance pour les deux parties.
- ❖ Une période automnale à forte croissance aérienne.

III - Les paramètres biochimiques

A/ La réponse des semis en chambre de culture face au stress thermique

1/Accumulation des sucres solubles (Annexe 06)

1.1/ Les basses températures

Au fur et à mesure que le stress du froid devient sévère, les semis enregistrent des teneurs en sucres très élevées comme le montre la figure 34. De ce fait, les teneurs les plus élevées sont enregistrées pour la température « $T = -10^{\circ}\text{C}$ », par contre les valeurs les plus faibles sont relevées pour le témoin « $T = 20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ». Ceci est confirmé par l'analyse de la variance à un critère de classification qui signale une différence très hautement significative en fonction des températures ($p < 0.001$).

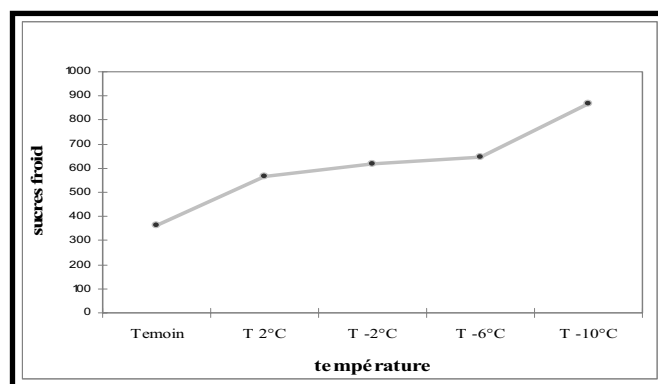


Figure 34: Taux d'accumulation des sucres solubles sous stress thermique froid

La comparaison de moyennes réalisées par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5% donne trois groupes homogènes, dont les semis soumis à la température « $T = -10^{\circ}\text{C}$ » constituent le premier groupe enregistrant le maximum ; le second comprend les températures « $T = -6^{\circ}\text{C}$; $T = -2^{\circ}\text{C}$; $T = 2^{\circ}\text{C}$ » avec des valeurs de 647,155 µmole/g MS ; 619,870 µmole/g MS ; 566,58 µmole/g MS respectivement et en dernier les semis témoin « $T = 20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ » avec la valeur la plus faible (Tab24).

Tableau 24: Groupes homogènes des sucres pour les températures froides

Basses températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
« $T = -10^{\circ}\text{C}$ »	870,072	A
« $T = -6^{\circ}\text{C}$ » « $T = -2^{\circ}\text{C}$ » « $T = 2^{\circ}\text{C}$ »	647,155 619,870 566,585	B
Témoin « $T = 20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ »	363,590	C

Les résultats des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis du cèdre de l'atlas sont illustrés dans la figure 35. Le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification pour les différentes températures au niveau des organes montre des différences très hautement significatives ($p < 0.001$).

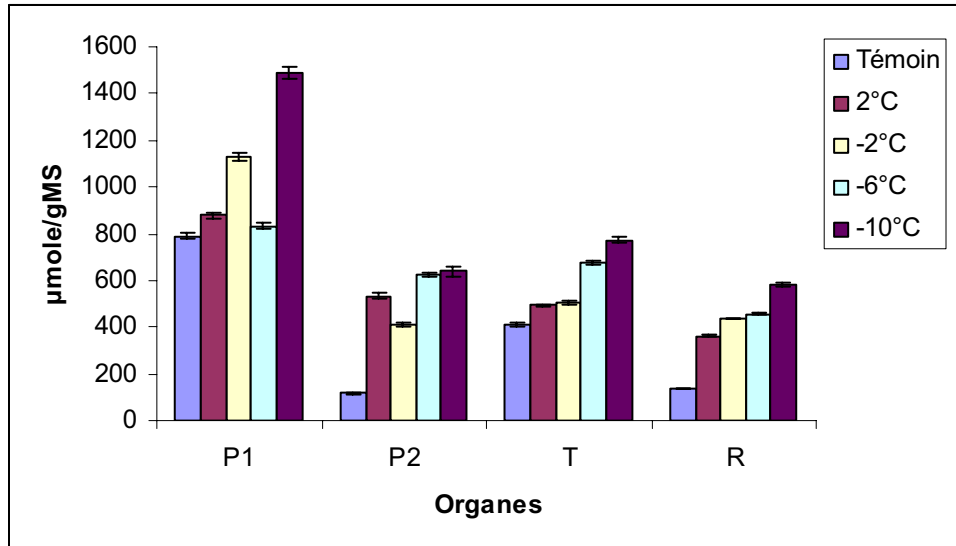


Figure 35: Variation des teneurs en sucres solubles sous contrainte thermique froid dans les différents organes des semis du cèdre de l'atlas.

En effet, les teneurs les plus élevées sont constatées au niveau des aiguilles de la première pousse en accusant une augmentation de 89%, par contre les plus faibles teneurs sont enregistrées au niveau de la racine avec un taux d'augmentation de 322% par rapport au témoin (Tab 25).

Tableau 25: Taux de variation des teneurs en sucres solubles pour les basses températures dans les différents organes des semis du cèdre de l'atlas.

	Témoin	T= 2 ⁰ C	T= -2 ⁰ C	T= -6 ⁰ C	T= -10 ⁰ C
Pousse1	/	11%	43%	6%	89%
Pousse2	/	350%	246%	426%	437%
Tige	/	20%	24%	65%	88%
Racine	/	163%	214%	230%	322%

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% donne trois groupes homogènes dont les feuilles de la première pousse de croissance, constitue le premier groupe avec une moyenne de 1023,235 ; le second comprend les tiges et le dernier comprend les feuilles de la deuxième pousse de croissance et les racines (Tab 26).

Tableau 26 : Groupes homogènes des sucres dans les organes sous stress froid

Basses températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
Aiguilles de la 1 ^{ère} pousse	1023,235	A
tiges	571,295	B
Aiguilles de la 2 ^{ème} pousse	465,205	C
Racines	394,083	C

1.2/ Les hautes températures

D'après la figure 36, le stress du chaud montre des variations importantes. Les maximums sont relevés pour la température « 44°C » alors que, les minima sont enregistrés pour le témoin « T= 20±2°C ». Ceci est confirmé par l'analyse de la variance à un critère de classification qui signale une différence très hautement significative en fonction des températures (p<0.001).

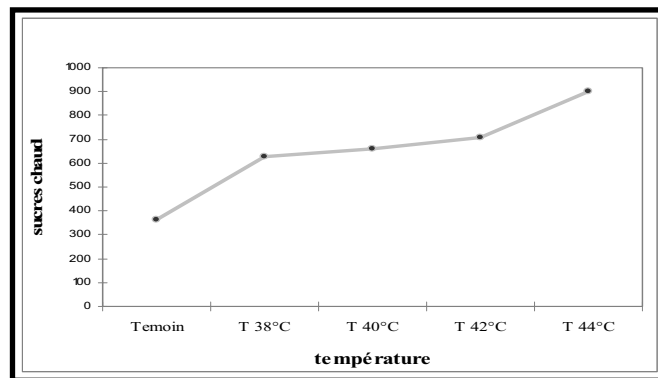


Figure 36: Taux d'accumulation des sucres solubles sous différents niveaux de stress thermique chaud

Les comparaisons de moyenne réalisées par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5% donnent trois groupes (Tab27).

Tableau 27: Groupes homogènes des sucres pour les températures chaudes

Hautes températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
« T= 44°C »	899,535	A
«T= 42°C »	706,597	B
«T= 40°C »	661,462	
«T= 38°C »	625,647	
Témoin « T=20±2°C »	363,590	C

L'accumulation des sucres solubles dans les différents organes des semis du cèdre de l'atlas sont illustrés dans la figure 37. Le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification appliquée aux moyennes des teneurs en sucres solubles au niveau des organes et pour tout les températures montre des différences très hautement significatives ($p < 0.001$).

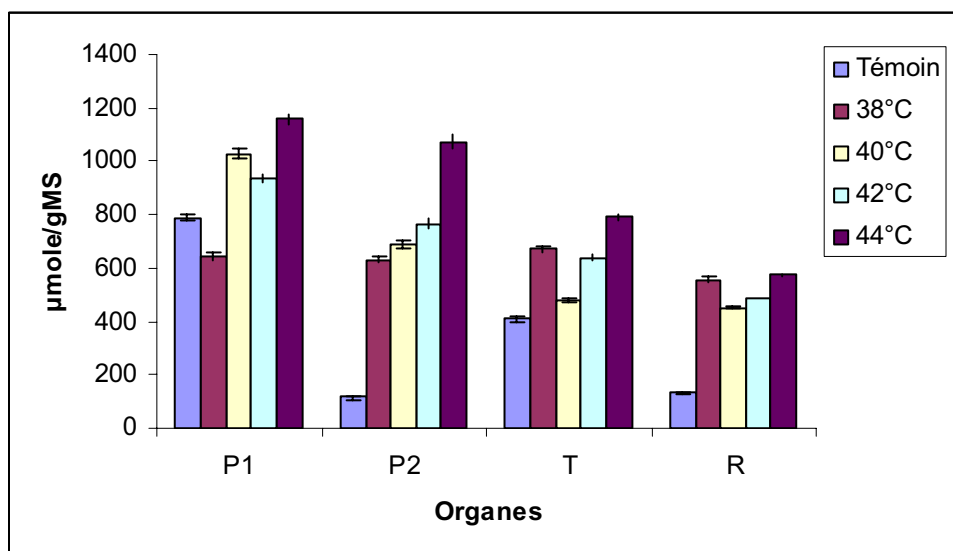


Figure 37: Variation des teneurs en sucres solubles durant le stress des hautes températures dans les différents organes des semis du cèdre de l'atlas

De ce fait les teneurs les plus élevées sont constatées au niveau des aiguilles de la première pousse en accusant une augmentation de 47% par contre les plus faibles teneurs sont enregistrées au niveau de la racine avec un taux d'augmentation de 316% par rapport au témoin (Tab 28).

Tableau 28: Taux de variation des teneurs en sucres solubles pour les hautes températures pour les différents organes des semis du cèdre de l'atlas.

	Témoin	T= 38 ⁰ C	T= 40 ⁰ C	T= 42 ⁰ C	T= 44 ⁰ C
Pousse1	/	-18%	30%	18%	47%
Pousse2	/	432%	478%	546%	795%
Tige	/	64%	18%	56%	93%
Racine	/	304%	227%	354%	316%

Le test de Newman et Keuls donne trois groupes homogènes présentés si dessus.

Hautes températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
Aiguilles de la 1^{ère} pousse	909,700	A
tiges aiguilles de la 2^{ème} pousse	655,371 598,771	B
Racines	441,623	C

1.3/ Effet de la contrainte thermique sur l'accumulation des sucres solubles

La contrainte thermique dans sa globalité a induit une augmentation des teneurs en sucres solubles, sur les jeunes plants (Tab 29).

Tableau 29: Paramètres statistiques des teneurs en sucres solubles pour les différentes températures ($\mu\text{mole/g MS}$)

	Variables	N	Moyenne	Ecartype	Minimum	Maximum
Témoin		12	363.590	282.862	115.98	803.88
Basses températures	T= 2⁰C	12	566.585	199.456	357.42	894.78
	T= -2⁰C	12	619.87	309.027	400.14	1148.52
	T= -6⁰C	12	647.155	140.875	449.16	845.54
	T= -10⁰C	12	870.072	380.326	567.52	1517.8
Hautes températures	T= 38⁰C	12	625.64	45.106	544.44	678.96
	T= 40⁰C	12	661.461	239.676	447.38	1047.22
	T= 42⁰C	12	706.596	171.187	487.62	950.64
	T= 44⁰C	12	899.535	242.841	572.84	1178.3

Le cumul des taux en sucres solubles, dans la plante entière est représenté dans la figure 38 et cela pour l'ensemble de l'éventail thermique.

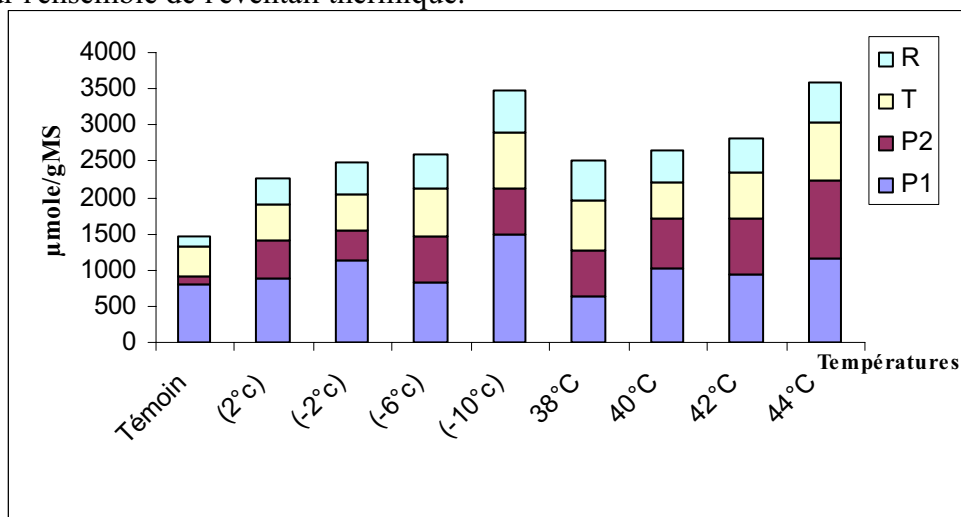


Figure 38: Cumul des sucres solubles dans la plante sous stress thermique

L'analyse de la variance montre qu'il existe une différence très hautement significative en fonction des températures ($p < 0.001$). La comparaison des moyennes réalisées par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5% fait ressortir l'ordre suivant:

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

2/ Variation des teneurs en proline (Annexe06)

2.1/ Les basses températures

Pour les plantes soumises aux basses températures, on constate que la température a induit une hausse particulièrement marquée et significative des teneurs en proline (Fig39), ce qui est confirmée par l'analyse de la variance en fonction des températures avec ($p < 0.05$).

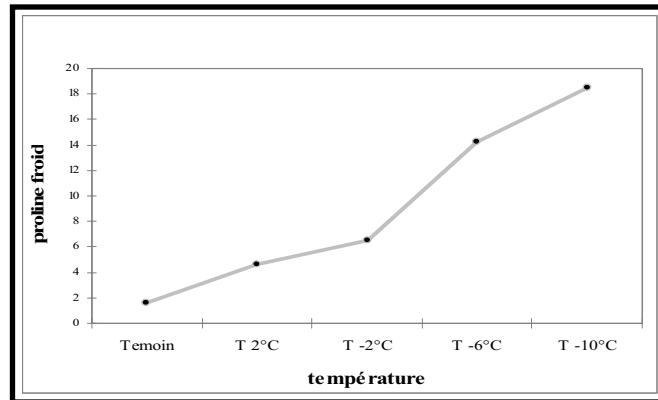


Figure 39: Variation de l'accumulation de la proline dans les semis du cèdre de l'atlas soumis à différents niveaux de stress thermique froid.

La comparaison des moyennes réalisée par le test de Newman et Keuls à 5% nous dégage deux groupes (Tab 30), le groupe (A) est formé par les températures « T= -10°C et T= -6°C » alors que le second groupe inclue les autres températures.

Tableau 30: Groupes homogènes du taux en proline pour les températures froides

Basses températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
« T= -10°C »	18,466	A
« T= -6°C »	14,291	A
« T= -2°C »	6,509	B
« T= 2°C »	4,624	B
Témoin	1,615	B

La figure40 montre les variations de la teneur en proline dans les différents organes de la plante. Le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification montre des différences très hautement significatives ($p < 0.001$). Les teneurs les plus élevées sont constatées au niveau des feuilles de la deuxième pousse de croissance en accusant une augmentation de l'ordre de 845%, par contre les plus faibles teneurs sont enregistrées au niveau de la racine avec un taux d'augmentation de 2059% par rapport au témoin (Tab 31).

Tableau 31: Taux de variation des teneurs en proline pour les basses températures dans les différents organes des semis du cèdre de l'Atlas

	Témoin	T= 2 ⁰ C	T= -2 ⁰ C	T= -6 ⁰ C	T= -10 ⁰ C
Pousse1	/	104%	283%	1320%	2376%
Pousse2	/	186%	314%	738%	845%
Tige	/	246%	227%	1172%	2659%
Racine	/	328%	84%	469%	2059%

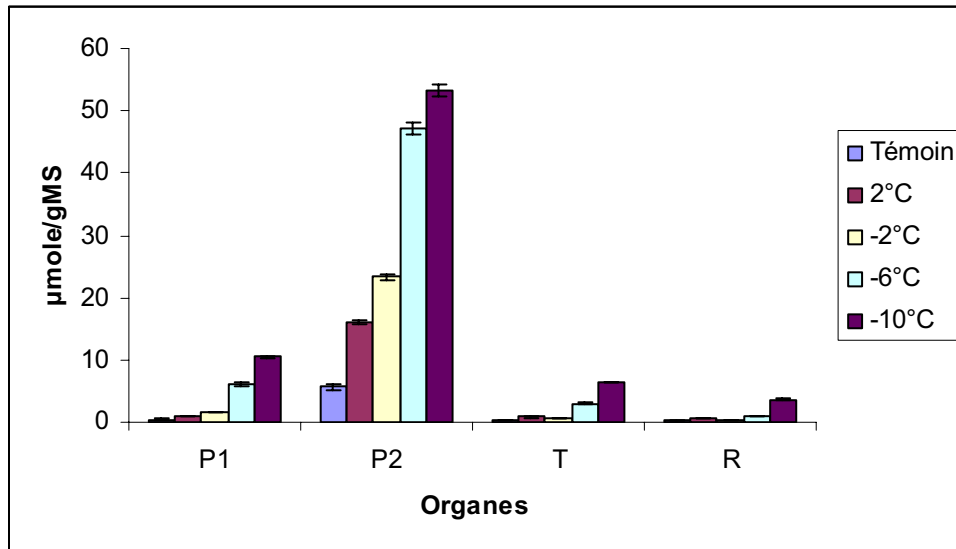


Figure 40: Variation des teneurs en proline sous stress froid pour les différents organes des semis du cèdre de l'atlas

La comparaison des moyennes réalisé par le test de Newman et Keuls à 5% nous dégage deux groupes distincts (Tab32), où on note l'affectation des aiguilles de la 2^{ème} pousse de croissance au groupe (A) et les autres organes (pousse1, tige, racine) au groupe (B).

Tableau 32: Groupes homogènes du taux en proline pour les organes sous stress froid

Basses températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
Aiguilles de la 2 ^{ème} pousse	29,089	A
*Aiguilles de la 1 ^{ère} pousse	3,886	B
*Tige	2,245	B
*Racine	1,183	B

2.2/ Les hautes températures

Les hautes températures ont suscité une progression des teneurs en proline comme le montre la figure 41, cette variation en fonction des températures est significative pour l'analyse de la variance à un critère de classification ($p < 0.05$).

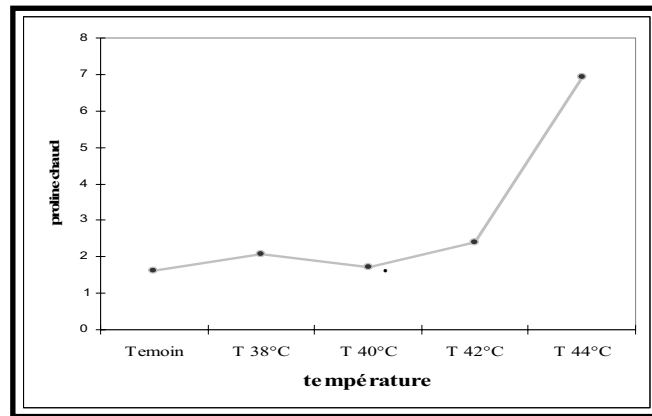


Figure 41: Variation de l'accumulation de la proline chez les semis du cèdre de l'atlas soumis au stress chaud.

La comparaison des moyennes réalisée par le test de Newman et Keuls à 5% nous dégage deux groupes distincts (Tab33).

Tableau 33: Groupes homogènes du taux en proline pour les températures chaudes

Hautes températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
« T= 44°C »	6,947	A
« T= 42°C »	2,410	B
« T= 38°C »	2,087	
« T= 40°C »	1,704	
Témoin	1,615	B

La figure 42 montre les variations de la teneur en proline dans les différents organes de la plante. Le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification appliqué aux moyennes des teneurs en proline au niveau des organes montre des différences très hautement significatives ($p < 0.001$).

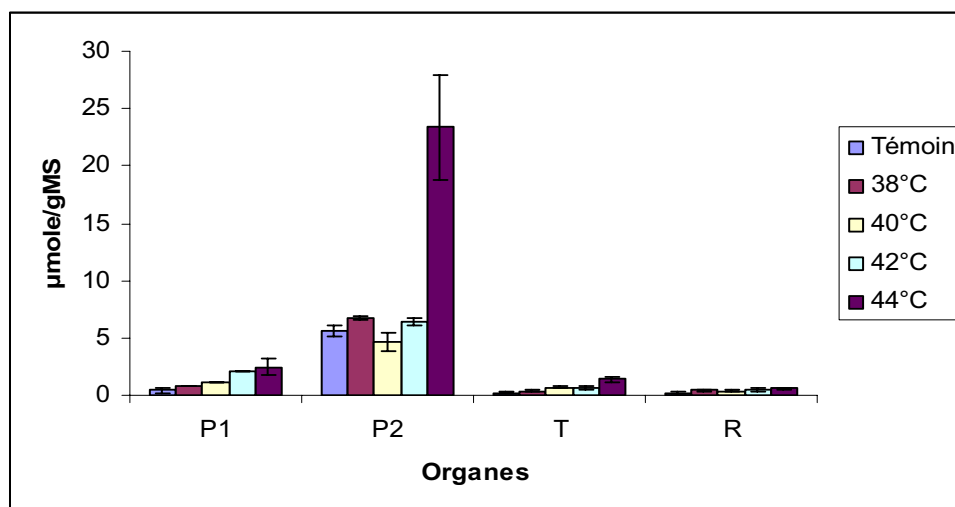


Figure 42: Variation des teneurs en proline durant le stress du chaud pour les différents organes des semis du cèdre de l'atlas

On constate ainsi que les teneurs les plus élevées sont situées au niveau des feuilles de la deuxième pousse de croissance en accusant une augmentation de 315%, par contre les plus faibles teneurs sont enregistrées au niveau de la racine avec un taux d'augmentation de 256% par rapport au témoin (Tab 34).

Tableau 34: Taux de variation des teneurs en proline pour les hautes températures dans les différents organes des semis du cèdre de l'atlas

	Témoin	T= 38 ⁰ C	T= 40 ⁰ C	T= 42 ⁰ C	T= 44 ⁰ C
Pousse1	/	95%	153%	399%	479%
Pousse2	/	19%	-17%	14%	315%
Tige	/	63%	192%	177%	484%
Racine	/	245%	132%	182%	256%

La comparaison des moyennes réalisée par le test de Newman et Keuls à 5% nous dégage deux groupes distincts (Tab35), où on note l'affectation des aiguilles de la 2^{ème} pousse de croissance au groupe (A) et les autres organes au groupe (B).

Tableau 35: Groupes homogènes du taux en proline pour les organes sous stress chaud

Hautes températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
Aiguilles de la 2^{ème} pousse	9,352	A
*Aiguilles de la 1^{ère} pousse	1,379	B
*Tige	0,653	B
*Racine	0,427	B

Les niveaux de stress thermique appliqués ont induit une augmentation impressionnante des teneurs en proline dans les feuilles des semis du cèdre de l'Atlas par rapport à celle de la tige et de la racine. Les résultats des teneurs en proline pour les différentes températures sont représentés dans le tableau 36.

Tableau 36: Paramètres statistiques pour les différentes températures (µmole/g MS)

	Variables	N	Moyenne	Ecartype	Minimum	Maximum
Témoin		12	1.615	2.434	0.115	6.087
Basses températures	T= 2⁰C	12	4.624	6.918	0.719	16.43
	T= -2⁰C	12	6.509	10.158	0.31	23.679
	T= -6⁰C	12	14.29	19.92	0.932	53.773
	T= -10⁰C	12	18.47	21.11	3.542	47.883
Hautes températures	T= 38⁰C	12	2.086	2.801	0.339	6.915
	T= 40⁰C	12	1.704	1.833	0.321	5.55
	T= 42⁰C	12	2.410	2.497	0.351	6.751
	T= 44⁰C	12	6.947	10.109	0.527	28.435

Le cumul des teneurs en proline, dans la plante entière est représenté dans la figure 43.

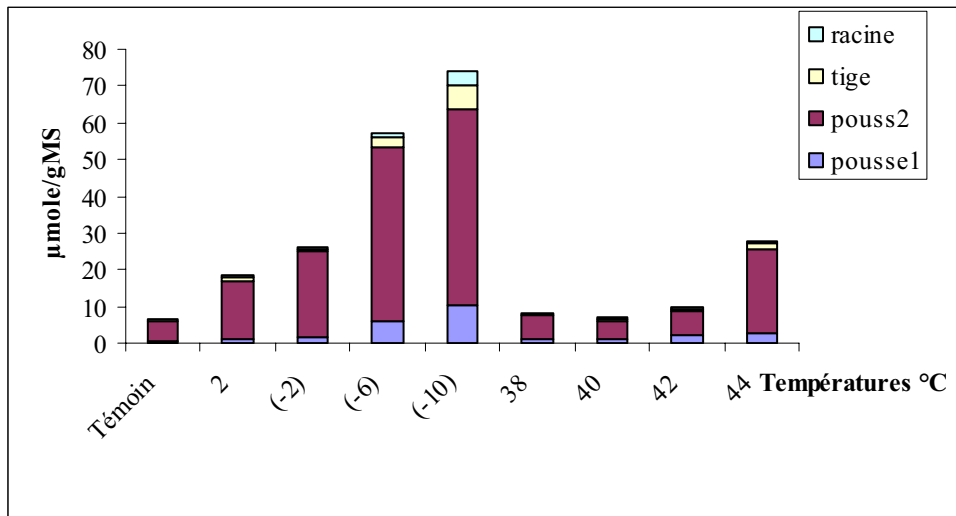


Figure 43: Cumul de la proline dans la plante sous stress thermique

L'analyse de la variance montre qu'il existe une différence très hautement significative en fonction des températures ($p < 0.001$). La comparaison des moyennes réalisées par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5% fait ressortir l'ordre suivant:

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

3/ Variation des teneurs en protéines total (Annexe 06)

3.1/ Les basses températures

Les teneurs en protéines totales durant le stress du froid ne cessent d'accroître comme le montre la figure 44, cette variation en fonction des températures est très hautement significative ($p < 0,001$). Les teneurs les plus élevées sont enregistrées à la température « T= -10°C ».

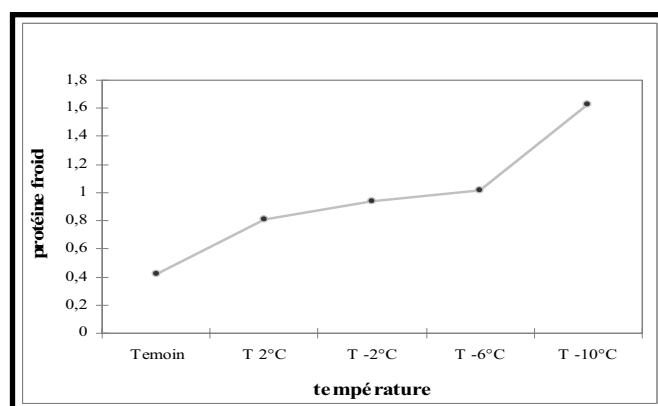


Figure 44 : Variation de la teneur en protéines totales chez les semis du cèdre de l'Atlas soumis à un stress froid.

Ces résultats sont confrontés, à la comparaison des moyennes réalisées par le test de Newman et Keuls à 5%, qui nous dégage 3 groupes distincts.

Tableau 37: Groupes homogènes des protéines pour les températures froides

Basses températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
« T= -10°C »	1,629	A
« T= -6°C »	1,013	B
« T= -2°C »	0,935	B
« T= 2°C »	0,811	B
Témoïn « T= 20±2°C »	0,421	C

Température et taux d'augmentation pour les différents organes

La figure 45 montre les variations de la teneur en protéines totales pour les différents organes de la plante. Le test de l'analyse de la variance appliquée aux moyennes des teneurs en protéines au niveau des organes et des températures montre des différences très hautement significatives ($p < 0.001$).

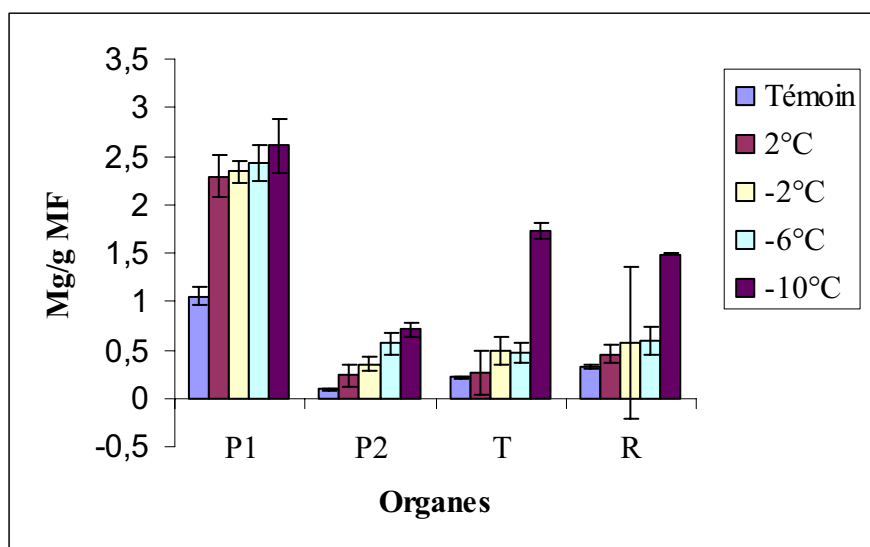


Figure 45: Variation des teneurs en protéines chez les semis du cèdre de l'Atlas soumis à un stress froid.

D'après les résultats obtenus on remarque que les teneurs les plus élevées sont observées au niveau des feuilles de la première pousse de croissance en accusant une augmentation de l'ordre de 147%, alors que les plus faibles teneurs sont enregistrées au niveau des feuilles de la première pousse de croissance avec un taux d'augmentation de 644% par rapport au témoin (Tab 38).

Tableau 38: Taux de variation des teneurs en proline pour les basses températures dans les différents organes des semis du cèdre de l'atlas.

	Témoin	T= 2 ⁰ C	T= -2 ⁰ C	T= -6 ⁰ C	T= -10 ⁰ C
Pousse1	/	117%	122%	130%	147%
Pousse2	/	145%	273%	495%	644%
Tige	/	23%	124%	116%	695%
Racine	/	43%	80%	88%	369%

La comparaison des moyennes réalisé par le test de Newman et Keuls à 5% nous dégage trois groupes (Tab 39), où on note que les aiguilles de la 1^{ère} pousse de croissance forme le groupe (A), la tige et la racine au groupe (B) enfin le groupe (C) avec la plus faible moyenne pour les aiguilles de la 2^{ème} pousse de croissance.

Tableau 39: Groupes homogènes des protéines dans les organes sous stress froid

Basses températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
Aiguilles de la 1^{ère} pousse	2.144	A
Racines	0.683	B
Tiges	0.630	
Aiguilles de la 2^{ème} pousse	0.391	C

3.2/ Les hautes températures

Les différentes températures appliquées ont induit une augmentation notable des teneurs en protéines totales pour les semis de cèdre de l'atlas. En effet, plus la température augmente, plus les teneurs en protéines deviennent plus marquées (Fig 46). Cette variation est non significative comme le montre l'analyse de la variance à un critère de classification ($p=0,209>0,05$). Les teneurs les plus élevées sont enregistrées pour la température « T= 44⁰C », tandis que les teneurs les plus faibles sont enregistrées pour le témoin.

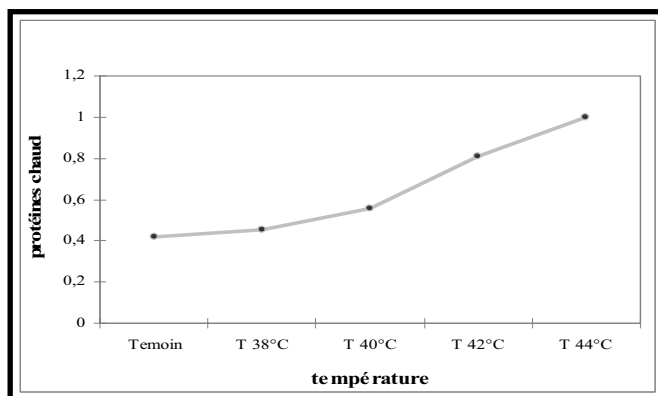


Figure 46 : Variation de la teneur en protéines totales dans les semis du cèdre de l'Atlas soumis à un stress chaud

La comparaison des moyennes réalisées par le test de Newman et Keuls à 5% nous dégage deux groupes (Tab 40), le premier comprend les températures « T= 44°C et T= 42°C » et les autres températures en groupe (B).

Tableau 40: Groupes homogènes des protéines pour les températures chaudes

Hautes températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
« T= 44°C »	0.996	A
« T= 42°C »	0.807	
« T= 40°C »	0.554	B
« T= 38°C »	0.456	
Témoin « T= 20±2°C »	0.421	

La figure 47 montre l'accumulation des protéines totales au niveau des organes de la plante. Le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification montre des différences très hautement significatives ($p < 0.001$). D'après les résultats on remarque que les teneurs les plus élevées sont constatées au niveau des aiguilles de la première pousse de croissance en accusant une augmentation de 154%, par contre, les plus faibles teneurs sont enregistrées au niveau des aiguilles de la première pousse de croissance avec un taux d'augmentation de 304% par rapport au témoin (Tab41).

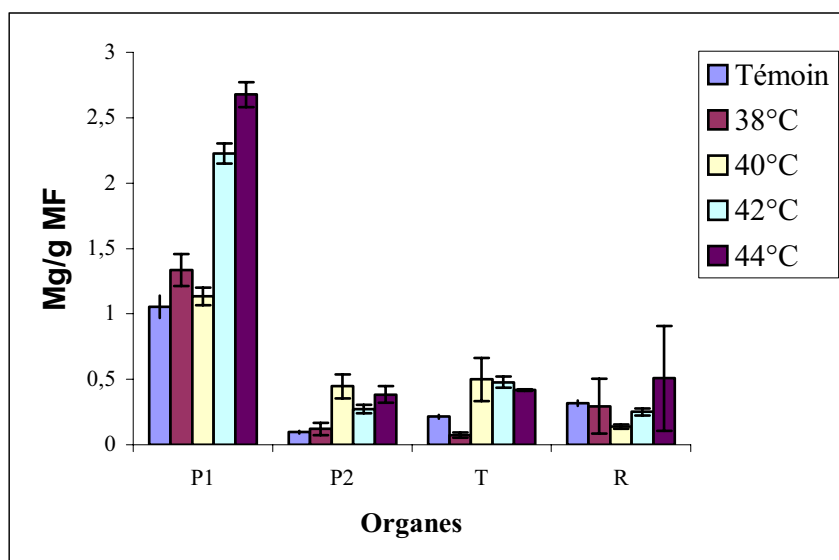


Figure 47: Variation des teneurs en protéines totales durant le stress du chaud dans les organes des semis du cèdre de l'atlas

Tableau 41 : Taux de variation des teneurs en protéines pour les hautes températures dans les organes des semis du cèdre de l'atlas.

	Témoin	T= 38 ⁰ C	T= 40 ⁰ C	T= 42 ⁰ C	T= 44 ⁰ C
Pousse1	/	27%	7%	111%	154%
Pousse2	/	26%	368%	185%	304%
Tige	/	-66%	132%	122%	94%
Racine	/	-7%	-57%	-21%	60%

La comparaison des moyennes réalisées par le test de Newman et Keuls à 5% nous dégage deux groupes distincts (Tab 42), les feuilles de la 1^{ère} pousse de croissance forme le groupe (A) avec la plus forte moyenne.

Tableau 42 : Groupes homogènes des protéines pour les organes sous stress chaud

Hautes températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
Aiguilles de la 1^{ère} pousse	1.686	A
*Racines	0.337	B
*Tiges	0.301	
*Aiguilles de la 2^{ème} pousse	0.264	

3.3/Effet de la contrainte thermique sur la variation des teneurs en protéines total

La contrainte thermique a provoqué en générale une augmentation des teneurs en protéines totaux sur les semis du cèdre testés. En effet, plus le stress devient rigoureux plus la concentration en protéines totaux est élevée. Les résultats des teneurs en protéines totaux pour les différentes températures sont représentés dans le tableau 43.

Tableau 43: Paramètres statistiques des teneurs en protéines totaux (Mg/g MF)

	Variables	N	Moyenne	Ecartype	Minimum	Maximum
Témoin		12	0,421	0,393	0,088	1,150
Basses températures	T= 2⁰C	12	0,811	0,908	0,033	2,534
	T= -2⁰C	12	0,935	0,916	0,094	2,466
	T= -6⁰C	12	1,013	0,863	0,394	2,625
	T= -10⁰C	12	1,629	0,719	0,631	2,925
Hautes températures	T= 38⁰C	12	0,456	0,548	0,057	1,416
	T= 40⁰C	12	0,554	0,388	0,119	1,177
	T= 42⁰C	12	0,807	0,862	0,2197899	2,307
	T= 44⁰C	12	0,996	1,029	0,171	2,785

Le cumul des teneurs en protéines totaux, dans la plante entière est représenté dans la figure 48.

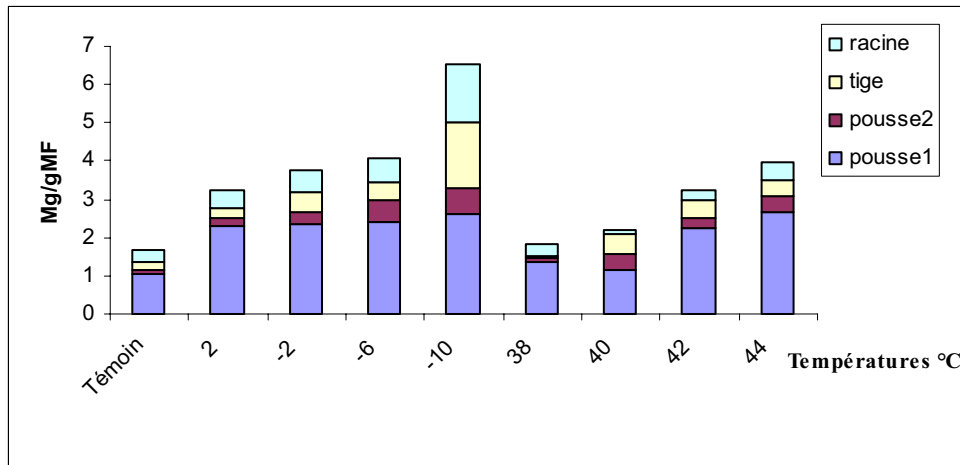


Figure 48: Cumul des protéines totales dans la plante sous stress thermique

L'analyse de la variance montre qu'il existe une différence très hautement significative en fonction des températures ($p < 0.001$). La comparaison des moyennes réalisées par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5% fait ressortir l'ordre suivant:

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

4/ Effet de la contrainte thermique sur la synthèse chlorophyllienne (Annexe02)

4.1/ Les basses températures

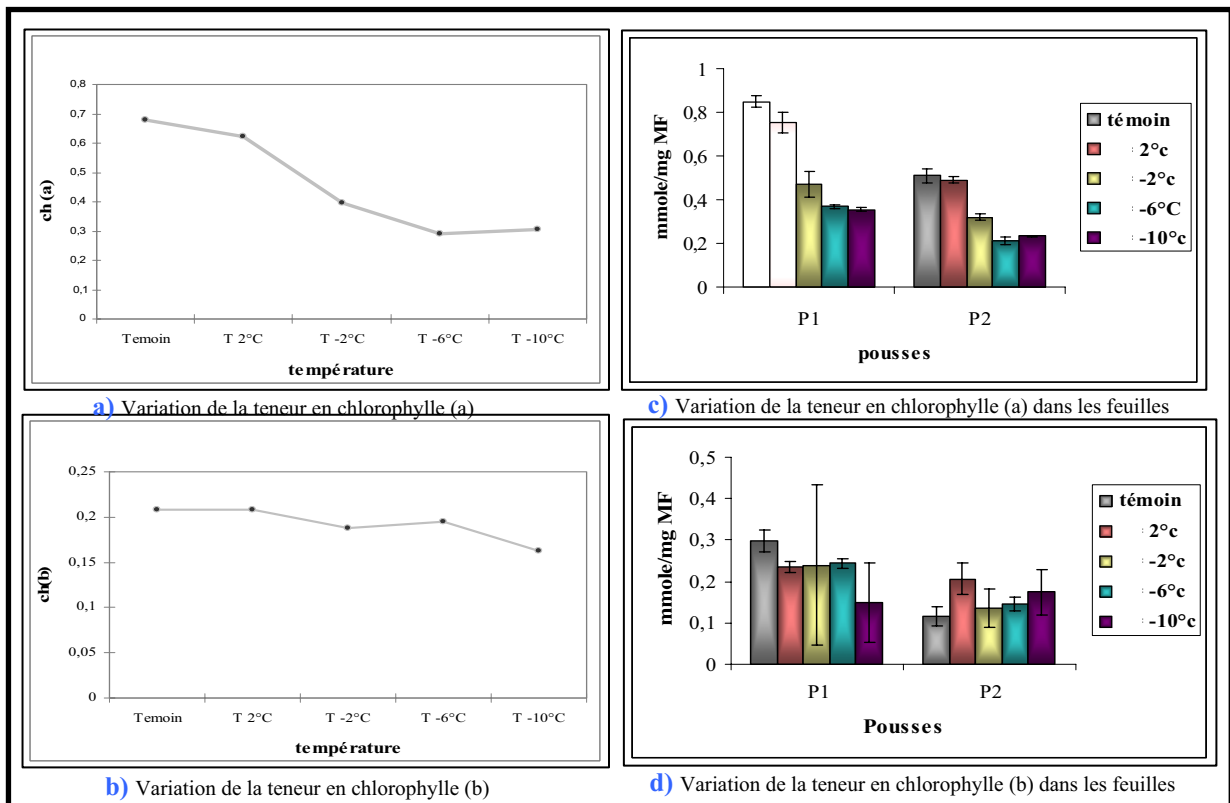


Figure 49: Variation des chlorophylles (a,b) durant le stress du froid des semis de cèdre de l'Atlas.

4.1.1/Les chlorophylles (a) et (b)

Au fur et à mesure que le stress du froid devient sévère, les feuilles des semis du cèdre de l'Atlas enregistrent une réduction des teneurs en chlorophylles (Fig:49.a, 49.b). On constate que les taux de chlorophylle (b) sont moins importants que ceux de la chlorophylle (a), de façon à avoir un rapport approximative de 1chlorophylle (a) pour 3 chlorophylle (b), cette dernière est donc complémentaire à la chlorophylle (a).

De ce fait, les teneurs les plus basses sont enregistrées à la température « $T = -6^{\circ}\text{C}$ », par contre les valeurs les plus importantes sont relevées pour le témoin « $T = 20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ». Ceci est confirmé par l'analyse de la variance à un critère de classification qui signale une différence très hautement significative en fonction des températures ($p < 0.001$). Par contre la régression des teneurs en chlorophylle (b) est non significative ($p = 0,826 > 0,05$).

La comparaison des moyennes en chlorophylle (a) réalisées par le test de Newman et Keuls à 5% nous dégage trois groupes (Tab 44), où on note l'affectation du témoin et de la température « $T = 2^{\circ}\text{C}$ » au groupe (A), la température « $T = -2^{\circ}\text{C}$ » au groupe (B).

Tableau 44: Groupes homogènes des températures froids pour la ch(a)

Basses températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
Témoin	0.680	A
« $T = 2^{\circ}\text{C}$ »	0.622	
« $T = -2^{\circ}\text{C}$ »	0.395	B
« $T = -10^{\circ}\text{C}$ »	0.305	C
« $T = -6^{\circ}\text{C}$ »	0.291	

La figure (44.c, 44.d) montre les variations du contenu en chlorophylle (a), le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification appliqué aux moyennes montre des différences très hautement significatives ($p < 0.001$). D'après ces résultats, on remarque que les aiguilles les plus affectées par la diminution de la température sont ceux de la 2^{ème} pousse avec une diminution de l'ordre de 54%, par contre les plus fortes teneurs sont enregistrées pour les aiguilles de la 1^{ère} pousse avec un taux de diminution de 58% (Tab 45).

Tableau 45 : Taux de variation de la chlorophylle (a)

	Témoin	$T = 2^{\circ}\text{C}$	$T = -2^{\circ}\text{C}$	$T = -6^{\circ}\text{C}$	$T = -10^{\circ}\text{C}$
Pousse1	/	-12%	-45%	-57%	-58%
Pousse2	/	-4%	-38%	-58%	-54%

Par contre la chlorophylle (B), enregistre une réduction d'environ 50% pour les feuilles de la 1^{ère} et 2^{ème} pousse de croissance.

Tableau 46: Taux de variation de la chlorophylle (b)

	Témoin	T= 2 ⁰ C	T= -2 ⁰ C	T= -6 ⁰ C	T= -10 ⁰ C
Pousse1	/	-22%	-20%	-18%	-50%
Pousse2	/	77%	16%	24%	51%

La comparaison des moyennes réalisée par le test de Newman et Keuls à 5% nous dégage deux groupes distincts (Tab47), où on note l'affectation des feuilles de la 1^{ère} pousse de croissance au groupe (A) et les feuilles de la 2^{ème} pousse de croissance au groupe (B).

Tableau 47:Groupes homogènes des aiguilles pour la ch(a)

Hautes températures			
Modalité	Moyenne	Groupes	
Aiguilles de la 1 ^{ère} pousse	Ch(a)	0.559	A
	Ch(b)	0.247	
Aiguilles de la 2 ^{ème} pousse	Ch(a)	0.358	B
	Ch(b)	0.138	

4.1.2/La chlorophylle total et le rapport a/b

Au fur et à mesure que le stress au froid devient sévère, les feuilles enregistrent des taux très bas en chlorophylle totale (Fig45.a).Une différence très hautement significative en fonction des températures ($p < 0.001$) est enregistrée. Pour le rapport (a)/(b), les basses températures ont suscité une régression comme le montre la figure (45.b) puis une légère augmentation à la température $T = -10^{\circ}\text{C}$, cette variation est significative comme le montre l'analyse de la variance ($p < 0.05$). La comparaison des moyennes des teneurs en chlorophylle totale réalisée par le test de Newman et Keuls à 5% fait ressortir deux groupes (Tab 48).

Tableau 48:Groupes homogènes de la ch total pour les basses températures

Basses températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
Témoin	0.888	A
« T= 2 ⁰ C »	0.829	
« T= -2 ⁰ C »	0.583	B
« T= -6 ⁰ C »	0.486	
« T= -10 ⁰ C »	0.468	

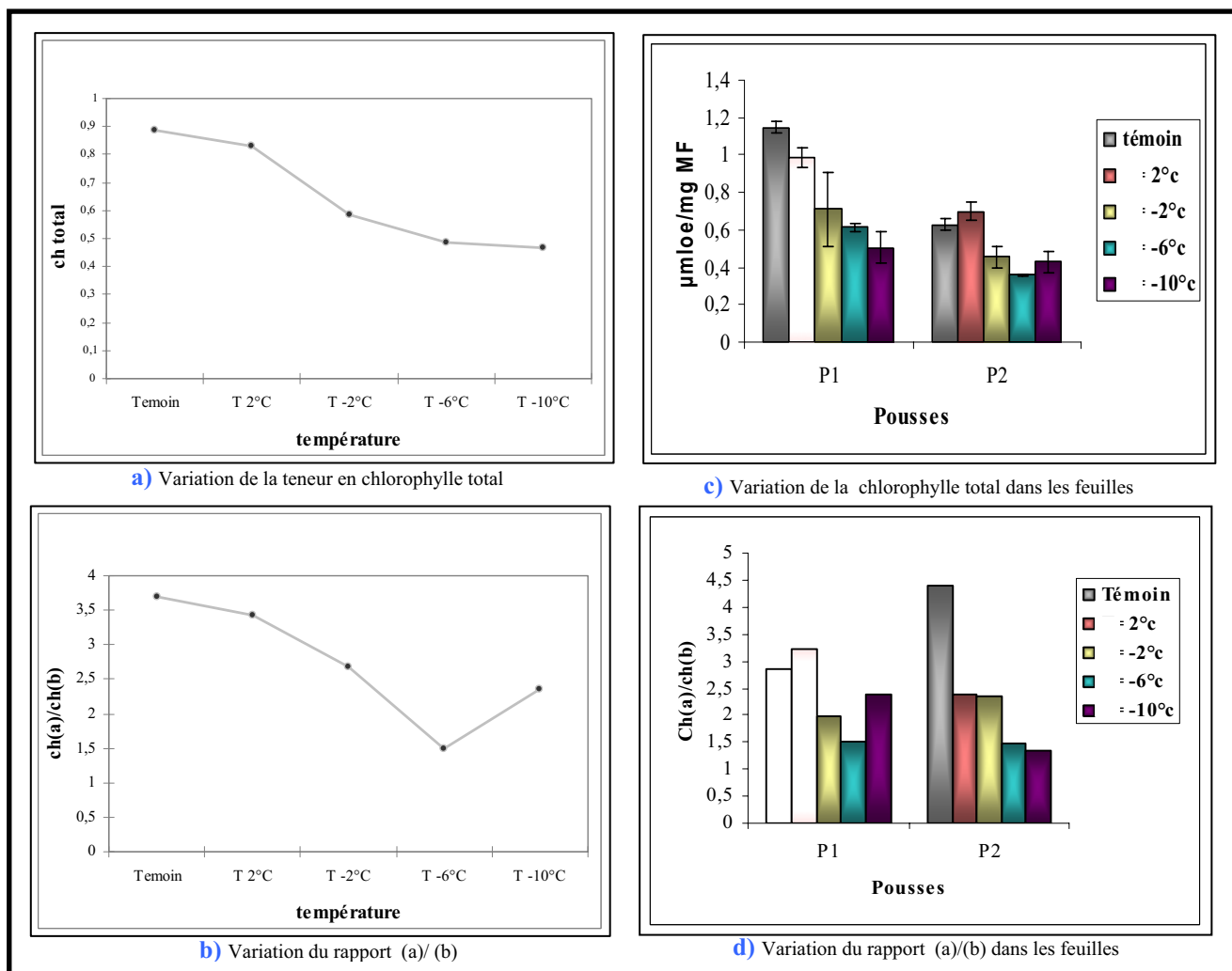


Figure 50: Variation de la chlorophylle totale et du rapport a/b durant le stress des semis de cèdre de l'Atlas soumise à températures froides.

Pour le rapport a/b la comparaison des moyennes réalisé par le test de Newman et Keuls à 5% nous dégage deux groupes (A) et (B) (Tab 49), où on note le chevauchement des deux groupes pour les températures « T= -2°C; T= -10°C » alors que le témoin se trouve dans le premier groupe avec le rapport le plus grand et la température (-6°C) au dernier groupe et avec le rapport le plus faible.

Tableau 49: Groupes homogènes du rapport a/b pour les températures froides

Basses températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
Témoin	3.689	A
« T= 2°C »	3.432	
« T= -2°C »	2.671	
« T= -10°C »	2.353	
« T= -2°C »	2.671	B
« T= -10°C »	2.353	
« T= -6°C »	1.498	

La figure (50.c) montre les variations du contenu en chlorophylle totale pour les aiguilles. Le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification montre des différences très hautement significatives ($p < 0.001$). Alors que ce même test appliqué aux moyennes du rapport a/b montre qu'il n'existe pas de différences significatives ($p > 0.05$).

Les résultats des moyennes en chlorophylle totale montrent que les pousses les plus affectées par la diminution de la température sont celle de la 1^{ère} pousse avec une diminution de l'ordre de 56% pour la température $T = -10^{\circ}\text{C}$ et 43% pour une température de $T = -6^{\circ}\text{C}$ pour les aiguilles de la 2^{ème} pousse de croissance (Tab 50).

Tableau 50 : Taux de variation de la chlorophylle totale

	Témoin	T= 2 ⁰ C	T= -2 ⁰ C	T= -6 ⁰ C	T= -10 ⁰ C
Pousse1	/	-14%	-38%	-47%	-56%
Pousse2	/	11%	-28%	-43%	-35%

La comparaison des moyennes réalisées par le test de Newman et Keuls à 5% nous dégage deux groupes distincts (Tab51).

Tableau 51: Groupes homogènes des aiguilles pour le stress du froid

Basses températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
Aiguilles de la 1^{ère} pousse	0.806	A
Aiguilles de la 2^{ème} pousse	0.496	B

Concernant le rapport (a)/(b), les pousses les plus affectées par la diminution de la température sont les aiguilles de la 2^{ème} pousse avec une diminution de l'ordre de 70% et -17% pour les aiguilles de la première pousse de croissance (Tab 52).

Tableau 52: Taux de variation du rapport (a)/(b)

	Témoin	T= 2 ⁰ C	T= -2 ⁰ C	T= -6 ⁰ C	T= -10 ⁰ C
Pousse1	/	13%	-31%	-47%	-17%
Pousse2	/	-45%	-46%	-66%	-70%

4.2/ Les hautes températures

Pour les hautes températures les pousses des semis du cèdre de l'Atlas manifestent une diminution du taux de chlorophylle (a, b) au fur et à mesure que le stress devient sévère (Fig 46.a, 46.b).

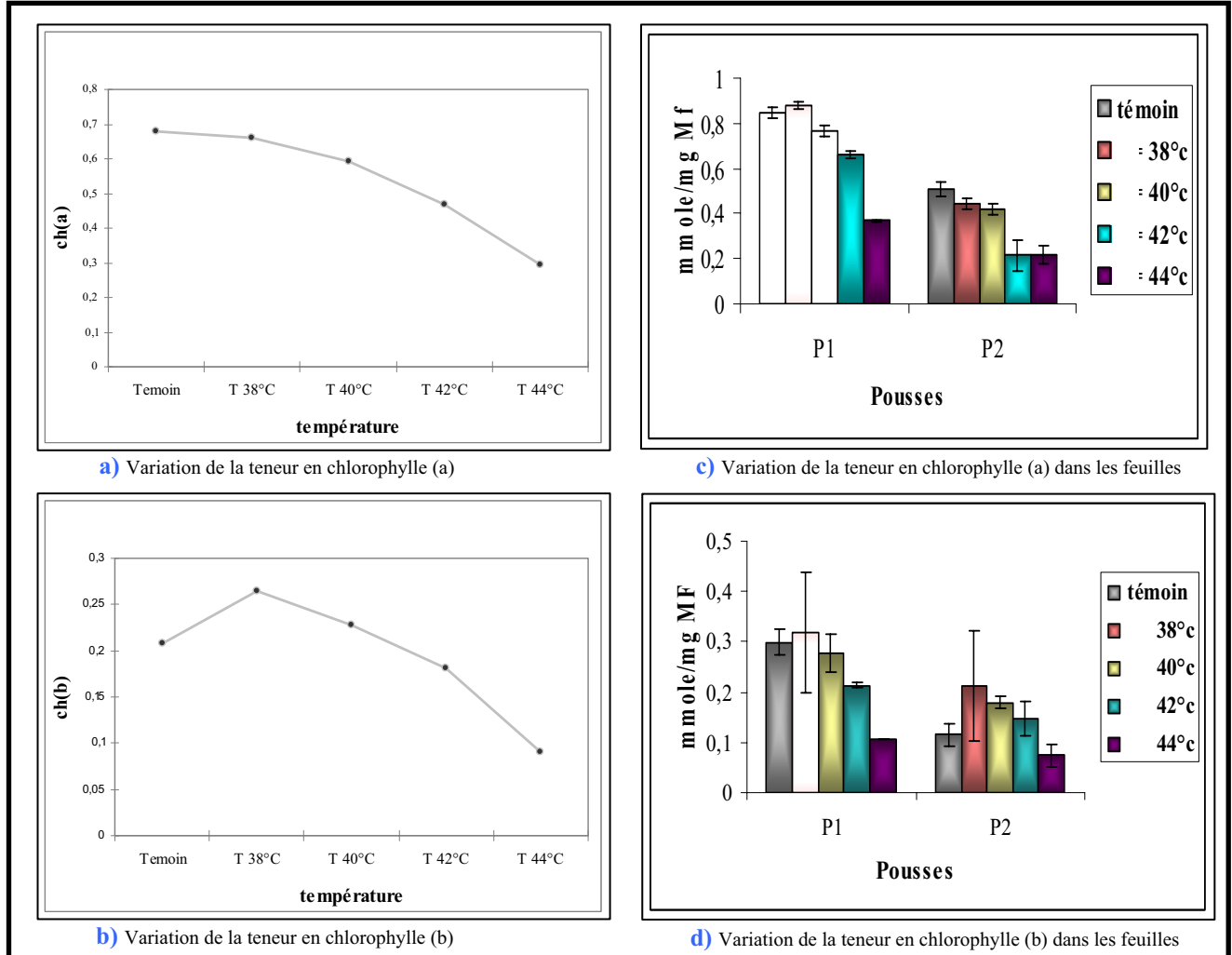


Figure 51: Variation de la chlorophylle (a,b) durant le stress du chaud pour les semis du cèdre de l'Atlas.

4.2.1/La chlorophylle (a) et (b)

Pour la chlorophylle (a) les teneurs les plus basses sont enregistrées pour la température « T= 44⁰C », par contre les valeurs les plus élevées sont relevées pour le témoin « T= 20±2⁰C ». Ceci est confirmé par l'analyse de la variance à un critère de classification qui signale une différence hautement significative (p= 0.01≤0.01). Pour la chlorophylle (b) cette diminution en fonction des températures est hautement significative comme le montre l'analyse de la variance à un critère de classification (p= 0.009<0.01) à l'inverse des basses températures où la variation est non significative.

La comparaison des moyennes réalisée par le test de Newman et Keuls à 5% nous dégage trois groupes pour la chlorophylle (a) (Tab 53), où on note que le témoin et les températures « T= 38°C, T= 40°C » forme le groupe (A), la température « T= 42°C » au groupe (B) et la température « T= 44°C » au groupe (C).

Tableau 53: Groupes homogènes de la ch(a) pour les hautes températures

Hautes températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
Témoin	0.680	A
« T= 38°C »	0.660	
« T= 40°C »	0.593	
« T= 42°C »	0.469	B
« T=44°C »	0.293	C

Par ce même test les moyennes en chlorophylle (b) sont répartis en deux groupes (Tab 54), où on note l'affectation du témoin et les températures « T= 38°C, T= 40°C, T= 42°C » au groupe (A) et la température « T= 44°C » au groupe (B).

Tableau 54: Groupes homogènes de la ch(b) pour les hautes températures

Hautes températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
« T= 38°C »	0.265	A
« T= 40°C »	0.228	
Témoin	0.208	
« T= 42°C »	0.181	
« T= 44°C »	0.090	B

Les figures (51.c ,51d) montrent les variations du contenu en chlorophylle pour les feuilles de la 1^{ère} et 2^{ème} pousse de croissance. Le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification appliqué aux moyennes des teneurs en chlorophylle (a) et (b) au niveau des pousses pour les températures montre des différences très hautement significatives ($p < 0.001$). D'après ces résultats on remarque que les deux pousses sont affectées par la diminution du contenu en chlorophylle (a) estimé à 57% (Tab 55).

Tableau 585: Taux de variation de la chlorophylle (a)

	Témoin	T= 38°C	T= 40°C	T= 42°C	T= 44°C
Pousse1	/	3%	-10%	-22%	-57%
Pousse2	/	-13%	-18%	-58%	-57%

La comparaison des moyennes réalisées par le test de Newman et Keuls à 5% nous dégage deux groupes distincts (Tab 56).

Tableau 56: Groupes homogènes de la ch(a) des aiguilles sous stress chaud

Hautes températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
Aiguilles de la 1 ^{ère} pousse	0.705	A
Aiguilles de la 2 ^{ème} pousse	0.373	B

Pour la chlorophylle (b) on remarque que les pousses les plus affectées par la diminution de la température sont les aiguilles de la 1^{ère} pousse avec une diminution de l'ordre de 64% par contre elle est 36% pour les aiguilles de la 2^{ème} pousse (Tab 57).

Tableau 57: Taux de variation de la chlorophylle (b) pour les hautes températures dans les pousses des semis du cèdre de l'atlas.

	Témoin	T= 38 ⁰ C	T= 40 ⁰ C	T= 42 ⁰ C	T= 44 ⁰ C
Pousse1	/	4%	-7%	-9	-64%
Pousse2	/	23%	54%	27%	-36%

La comparaison des moyennes réalisées par le test de Newman et Keuls à 5% nous dégage deux groupes distincts (Tab 58).

Tableau 58: Groupes homogènes de la ch(b) des aiguilles sous stress chaud

Hautes températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
Aiguilles de la 1 ^{ère} pousse	0.243	A
Aiguilles de la 2 ^{ème} pousse	0.146	B

4.2.2/La chlorophylle totale et le rapport a/b

Les taux en chlorophylle totale enregistré lors du stress par le chaud sont en régression au fur et à mesure que le stress devient sévère. Les feuilles enregistrent des valeurs beaucoup plus basses que celle du stress du froid. La figure (52.a) illustre que les taux les plus élevés sont enregistrées pour le témoin «T= 20±2⁰C », alors que les valeurs les plus faibles sont observées à «T= 44⁰C ».

Ceci est confirmé par l'analyse de la variance à un critère de classification qui signale une différence très hautement significative en fonction des températures (p<0.001). Le rapport a/b manifeste une variation non significative (Fig:52.b) comme le montre l'analyse de la variance a un critère de classification (p>0.05).

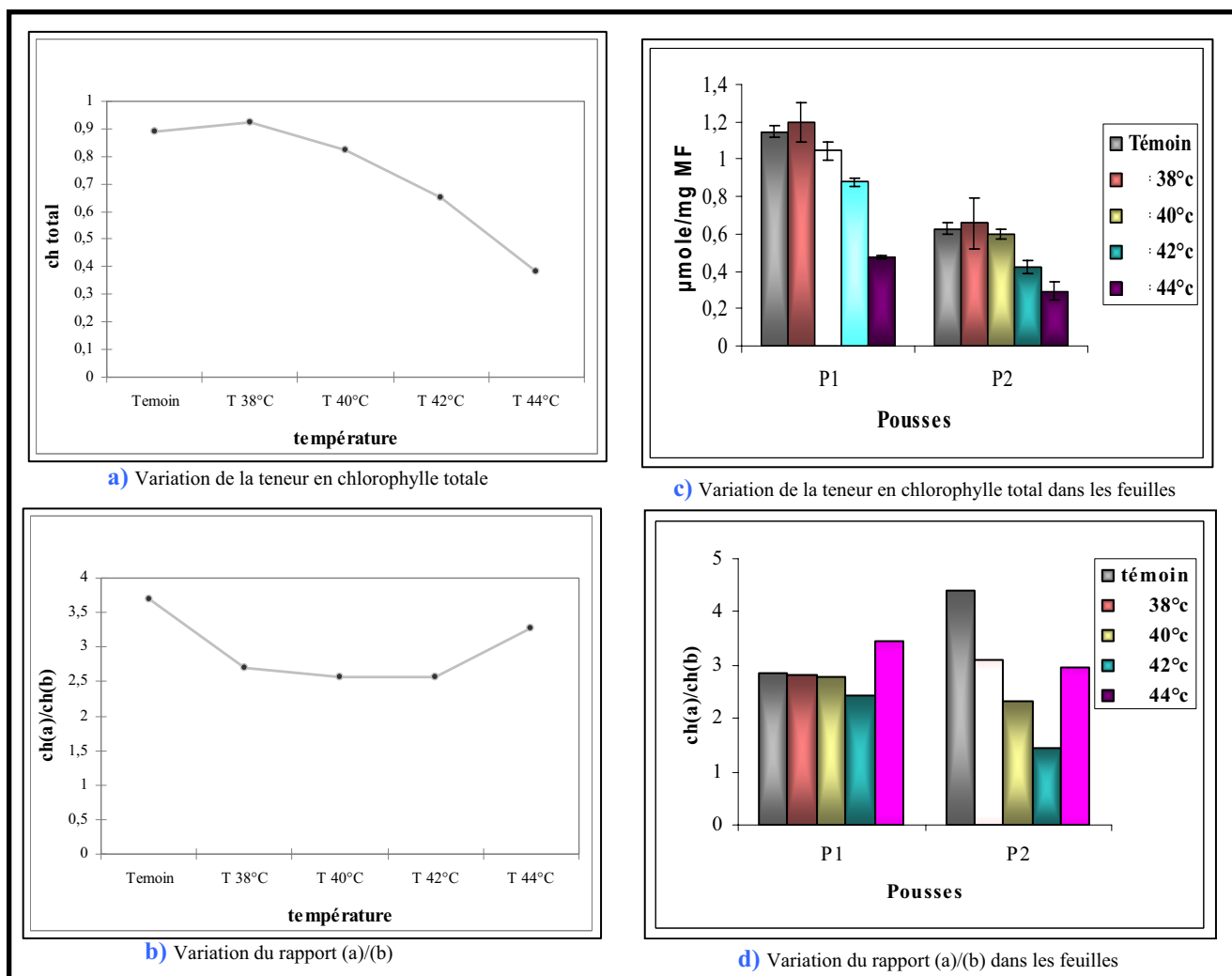


Figure 52: Variation de la chlorophylle totale et du rapport (a)/(b) pour les semis du cèdre de l'Atlas soumis à un stress chaud

La comparaison des moyennes réalisée par le test de Newman et Keuls à 5% fait ressortir trois groupes (Tab 59), ou on note l'affectation du témoin des températures « T= 38°C et T= 40°C » au groupe (A), la température « T= 42°C » au groupe (B) enfin le dernier groupe (C) avec le taux le plus faible pour une température de 44°C.

Tableau 59: Groupes homogènes de la ch totale pour les hautes températures

Hautes températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
« T= 38°C »	0,926	A
Témoin	0,888	
« T= 40°C »	0,821	
« T= 42°C »	0,650	B
« T= 44°C »	0,384	C

La figure (52.c, 52.d) montre les variations pour les aiguilles de la 1^{ère} et 2^{ème} pousse de croissance. Le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification montre des différences très hautement significatives ($p < 0.001$). Par contre le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification pour le rapport (a)/(b) au niveau des pousses et pour les différentes températures montre qu'il n'existe pas de différences significatives ($p > 0.05$).

Ces résultats montrent que les pousses les plus affectées par la diminution du contenu en chlorophylle totale suite à l'augmentation de la température sont les aiguilles de la 1^{ère} pousse avec une diminution de l'ordre de 59% par contre les aiguilles de la 2^{ème} pousse de croissance présentent une diminution estimée à 53% (Tab 60).

Tableau 60: Taux de variation de la chlorophylle totale

	Témoin	T= 38 ⁰ C	T= 40 ⁰ C	T= 42 ⁰ C	T= 44 ⁰ C
Pousse1	/	3%	-8%	-19%	-59%
Pousse2	/	-6%	-5%	-42%	-53%

La comparaison des moyennes réalisée par le test de Newman et Keuls à 5% nous dégage deux groupes distincts (Tab61).

Tableau 61: Groupes homogènes de la ch totale dans aiguilles sous stress chaud

Hautes températures		
Modalité	Moyenne	Groupes
Aiguilles de la 1^{ère} pousse	0.948	A
Aiguilles de la 2^{ème} pousse	0.519	B

Les résultats du rapport (a)/(b) montrent que les pousses les plus affectées par la diminution de la température sont les aiguilles de la 2^{ème} pousse avec une diminution de l'ordre de 67% par contre les aiguilles de la 1^{ère} pousse de croissance présentent une diminution de 15% (Tab 62).

Tableau 62: Taux de variation du rapport (a)/(b)

	Témoin	T= 38 ⁰ C	T= 40 ⁰ C	T= 42 ⁰ C	T= 44 ⁰ C
Pousse1	/	-1%	-3%	-15%	20%
Pousse2	/	-30%	-47%	-67%	-33%

4.3/ Variation des teneurs en chlorophylle totale en fonction des différents niveaux de stress thermique

Tableau 63: Paramètres statistiques des teneurs en chlorophylle pour les différentes températures ($\mu\text{mole/mg MF}$)

	Variables	N	Paramètres	Moyenne	Ecartype	Minimum	Maximum
Témoin		6	Ch a	0.680	0.187	0.481	0.865
			Ch b	0.208	0.103	0.094	0.316
			Ch(a+b)	0.888	0.287	0.599	1.181
			Ch(a/b)	3.688	1.111	2.626	5.372
Basses températures	T= 2⁰C	6	Ch a	0.622	0.145	0.479	0.781
			Ch b	0.221	0.029	0.163	0.248
			Ch(a+b)	0.842	0.165	0.642	1.024
			Ch(a/b)	2.81	0.506	2.149	3.366
	T= -2⁰C	6	Ch a	0.395	0.091	0.305	0.535
			Ch b	0.188	0.138	0.104	0.461
			Ch(a+b)	0.583	0.190	0.481	0.916
			Ch(a/b)	2.67	1.127	0.986	4.048
	T= -6⁰C	6	Ch a	0.291	0.086	0.194	0.378
			Ch b	0.195	0.056	0.133	0.253
			Ch(a+b)	0.486	0.140	0.354	0.631
			Ch(a/b)	1.497	0.166	1.190	1.661
	T= -10⁰C	6	Ch a	0.305	0.055	0.252	0.365
			Ch b	0.162	0.071	0.069	0.256
			Ch(a+b)	0.468	0.077	0.392	0.6
			Ch(a/b)	2.53	1.561	1.088	5.289
Hautes températures	T= 38⁰C	6	Ch a	0.660	0.238	0.426	0.891
			Ch b	0.265	0.118	0.141	0.456
			Ch(a+b)	0.926	0.315	0.572	1.316
			Ch(a/b)	2.696	0.889	1.397	3.602
	T= 40⁰C	6	Ch a	0.593	0.192	0.391	0.786
			Ch b	0.228	0.058	0.169	0.319
			Ch(a+b)	0.821	0.246	0.567	1.09
			Ch(a/b)	2.568	0.357	2.186	3.046
	T= 42⁰C	6	Ch a	0.469	0.218	0.223	0.682
			Ch b	0.181	0.043	0.109	0.217
			Ch(a+b)	0.650	0.252	0.401	0.897
			Ch(a/b)	2.567	0.888	1.253	3.220
	T= 44⁰C	6	Ch a	0.293	0.086	0.175	0.373
			Ch b	0.091	0.023	0.059	0.107
			Ch(a+b)	0.383	0.105	0.238	0.48
			Ch(a/b)	3.269	0.635	2.327	4.152

Le contenu en chlorophylle diminue au fur et à mesure que le stress thermique s'accroît. Les résultats des teneurs en chlorophylle pour les différentes températures sont représentés par leurs éléments statistiques dans le tableau 63. Le cumul des teneurs en chlorophylle totale, dans la plante entière est représenté dans la figure 53.

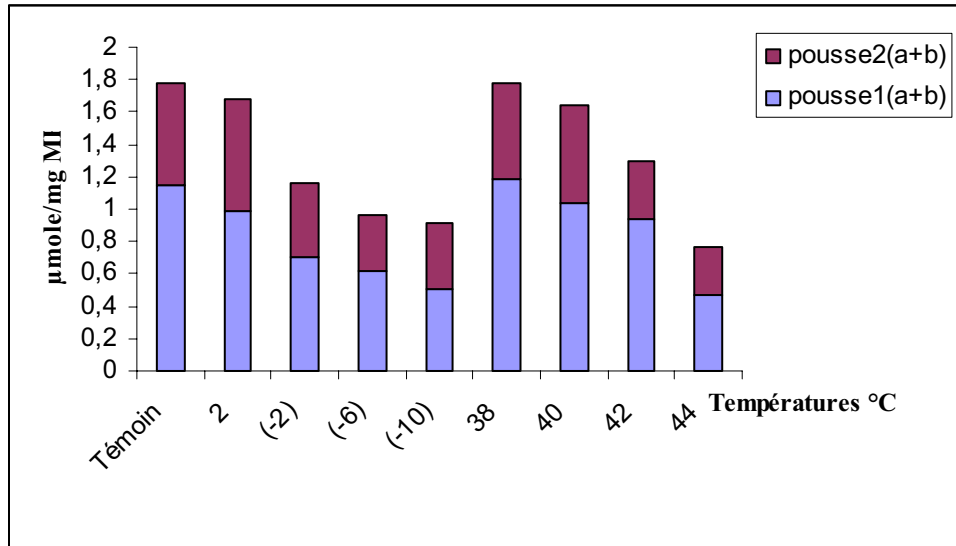


Figure 53: Cumul dans la plante sous stress thermique

L'analyse de la variance montre qu'il existe une différence très hautement significative en fonction des températures ($p < 0.001$). La comparaison des moyennes réalisées par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5% fait ressortir l'ordre suivant:

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

5/La résistance stomatique en conditions naturelles

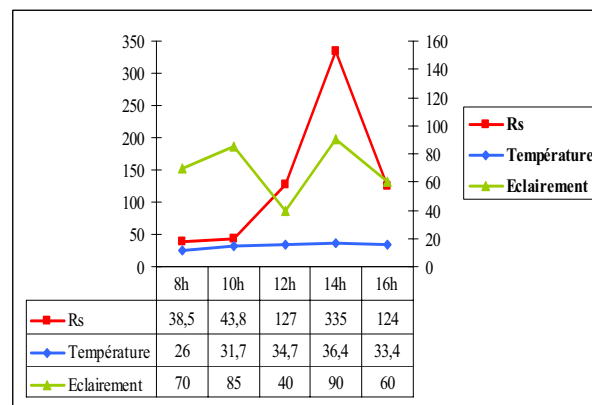
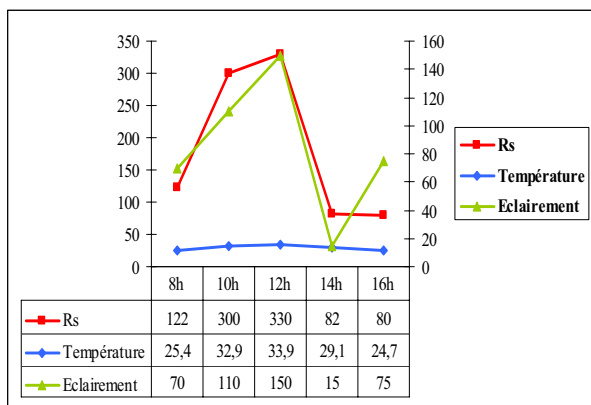
Les stomates interviennent dans la régulation des échanges gazeux entre la feuille et l'atmosphère. Au travers des stomates, a lieu la diffusion de l'eau sous forme de vapeur vers l'extérieur et l'entrée de CO_2 vers les sites de carboxylation. En modifiant leur degré d'ouverture, les stomates font varier la résistance stomatique et affectent les échanges entre la feuille et son environnement. Plusieurs facteurs abiotiques et biotiques contrôlent l'ouverture et la fermeture stomatique, comme le déficit de pression de vapeur d'eau entre la feuille et l'air, le potentiel hydrique, la température de la feuille, la concentration externe de CO_2 , la lumière, la résistance minimale, la résistance maximale et le déficit en eau du sol (Avisar et al, 1985; Dickuison et al, 1991). Les facteurs le plus fréquemment étudiés sont le potentiel hydrique (Whithead et al, 1981; Mascart et al, 1991) et la lumière (Jones et Mansfield, 197; Stanghellini, 1987; Denden et Lemeur, 1999). Cependant, la résistance stomatique est

également dépendante des caractéristiques morphologiques des stomates. Ceux-ci peuvent avoir une forme circulaire ou elliptique selon leur état de turgescence.

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 Maleszewsh, 1990). En revanche, la fermeture des stomates est liée à une réduction de l'influx de l'ion K^+ , provoquée par une augmentation de l'acide abscissique suite à une diminution du potentiel hydrique (Zabadal, 1974).

5.1/ Evolution de la résistance stomatique en fonction de la température et de l'éclairement

La mesure des résistances stomatiques sur la face inférieure des feuilles, prises périodiquement toutes les deux heures sous l'effet de la température et de l'éclairement chez le cèdre de l'Atlas pour le mois de mai et le mois juin.



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 des résistances. Pour *Cedrus atlantica*, la résistance stomatique augmente régulièrement avec la température et l'éclairement jusqu'à 14heures. Lorsqu'il y a déséquilibre entre la demande atmosphérique de vapeur d'eau et la disponibilité en eau pour la plante, les stomates se ferment partiellement ou totalement pour limiter la transpiration. En générale la lumière fait ouvrir les stomates. L'ouverture s'accompagne d'une élévation de la pression osmotique des cellules de garde. La lumière agit de deux façons :

- Elle est source principale de l'évaporation de l'eau (avec accessoirement les vents chauds).
- Elle agit sur l'ouverture des stomates.

B/ Réponse des semis en conditions naturelles

1/Effet des variations thermiques inter saisonnière sur l'accumulation des sucres solubles:

1.1/ Variation saisonnière

On constate qu'il y'a une fluctuation des teneurs en sucres solubles accumulées au cours des saisons durant l'année 2008. Le tableau ci dessus montre les taux de variation des quatre saisons par rapport au témoin. De ce fait, les teneurs les plus élevées sont enregistrées durant la saison hivernale avec une moyenne de 780.693µmole/g MS, par contre les plus faibles sont relevées pendant la saison printanière avec une moyenne de 387.693µmole/g MS. Ceci est confirmé par l'analyse de la variance à un critère de classification qui signale une différence très hautement significative ($p \leq 0.001$) (Annexe03).

Tableau 64: Taux de variation inter saisonnier en sucres solubles par rapport au témoin.

	Témoin	Hiver	Printemps	Été	Automne
Pousse1	/	49%	-13%	55%	-0,5%
Tige	/	75%	-15%	30%	-37%
Racine	/	238%	0,5%	15%	6%

La comparaison des moyennes réalisées par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5% donne trois groupes homogènes (Tab 65).

Tableau 65: Groupes homogènes des sucres solubles durant les saisons

Saisons		
Modalité	Moyenne	Groupes
Hiver	780.539	A
Été	568.628	B
Automne Printemps	392.917 387.702	C

Les résultats des teneurs en sucres solubles dans les différents organes (feuilles, tiges et racines) sont illustrés dans la figure 54. Le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification montre des différences très hautement significatives ($p < 0.001$) (Annexe03). En effet, le test de Newman et Keuls au seuil de 5% donne trois groupes homogènes distincts, le premier groupe est celui des aiguilles de la 1^{ère} pousse de croissance, le second comprend les tiges et le dernier pour les racines (Tab 66).

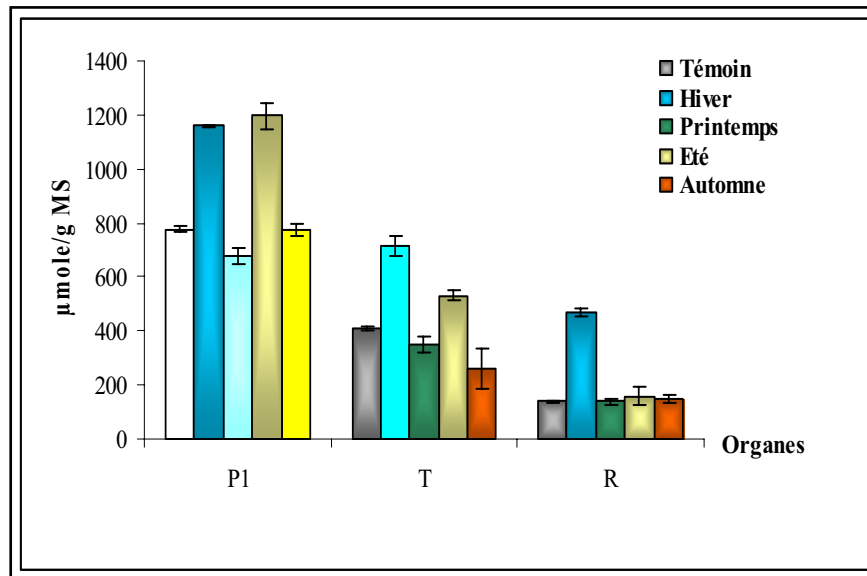


Figure 54: Variation inter saisonnière des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de cèdre de l'Atlas

Tableau 66: Groupes homogènes des sucres solubles dans les organes

Organes		
Modalité	Moyenne	Groupes
Aiguilles de la 1 ^{ère} pousse	950.825	A
Tiges	419.095	B
Racines	227.420	C

1.2/ Accumulation des sucres solubles au niveau de la plante entière

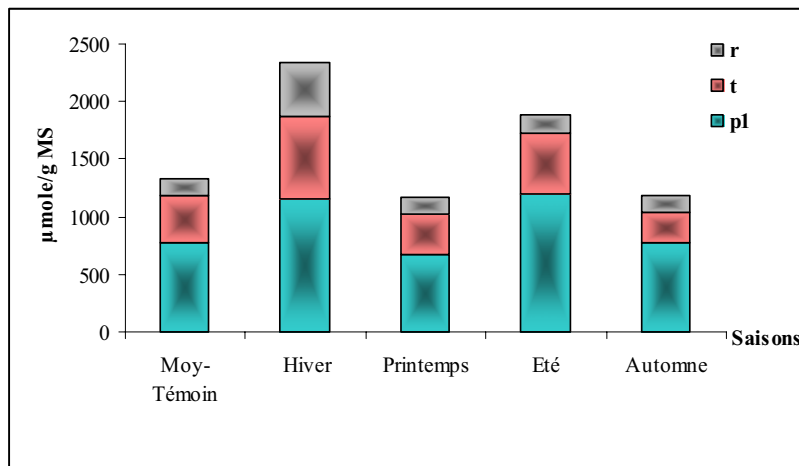


Figure 55: Cumul saisonnier dans la plante entière

L'accumulation reste importante durant l'hiver et l'été et demeure stabilisé au printemps et en automne, la figure 55 montre le cumul dans les différents organes de la plante, on a l'ordre suivant: [P1] > [T] > [R].

2/ Effet des variations thermiques inter saisonnière sur les teneurs en proline

2.1/ Variation saisonnière

Le tableau 67, montre les taux de variation des quatre saisons par rapport au témoin. De ce fait, les teneurs les plus élevées sont enregistrées durant la saison hivernale avec une moyenne de 4.508µmole/g MS, par contre les plus faibles sont relevées pendant la saison automnale avec une moyenne de 0.516µmole/g MS. L'analyse de la variance à un critère de classification signale une différence significative ($p=0.052 \leq 0.05$) (Annexe07).

Tableau 67: Taux de variation inter saisonnier en proline par rapport au témoin.

	Témoin	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Pousse1	/	70%	-32%	203%	67%
Tige	/	123%	5%	700%	195%
Racine	/	16%	-63%	-60%	-75%

La comparaison des moyennes réalisées par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5% fait ressortir trois groupes homogènes, dont la saison hivernale constitue le premier groupe, le second comprend la saison estivale et en dernier la saison automnale et printanière (Tab 68).

Tableau 68: Groupes homogènes de la proline durant les saisons

Saisons		
Modalité	Moyenne	Groupes
Hiver	4.508	A
Eté	3.190	A-B
Automne	0.957	B
Printemps	0.517	

La figure56 montre les variations de la teneur en proline dans les différents organes (feuilles, tiges et racines). Le test de l'analyse de la variance à deux critères de classification montre des différences très hautement significatives ($p < 0.001$) (Annexe03). La comparaison des moyennes réalisées par le test de Newman et Keuls à 5% nous dégage deux groupes homogènes (Tab 69), ou on note que le groupes (A) renferme les aiguilles la 1^{ère} pousse de croissance, le second les tiges et les racines.

Tableau 69: Groupes homogènes du contenu en proline dans les organes

Organes		
Modalité	Moyenne	Groupes
Aiguilles de la 1^{ère} pousse	5.701	A
Tiges	0.863	B
racines	0.342	

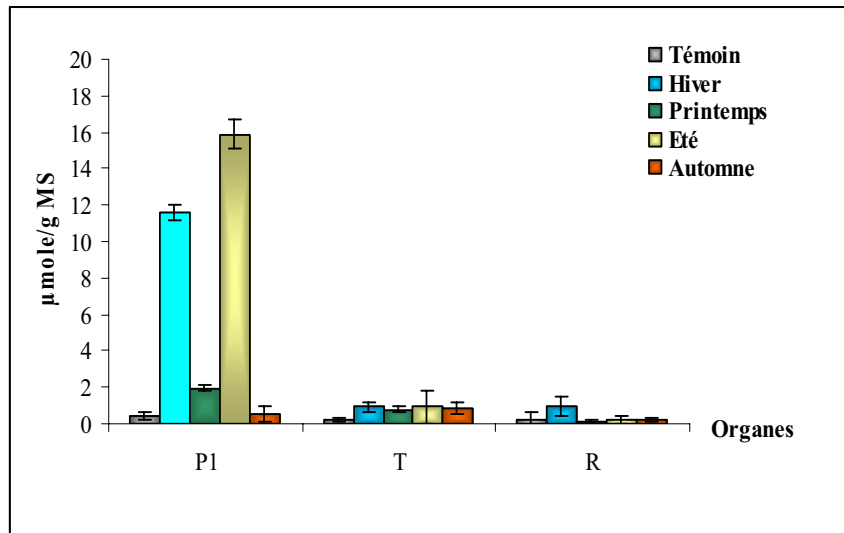


Figure56: Variation inter saisonnière des teneurs en proline dans les différents organes

2.2/ Variation du taux de proline dans la plante entière

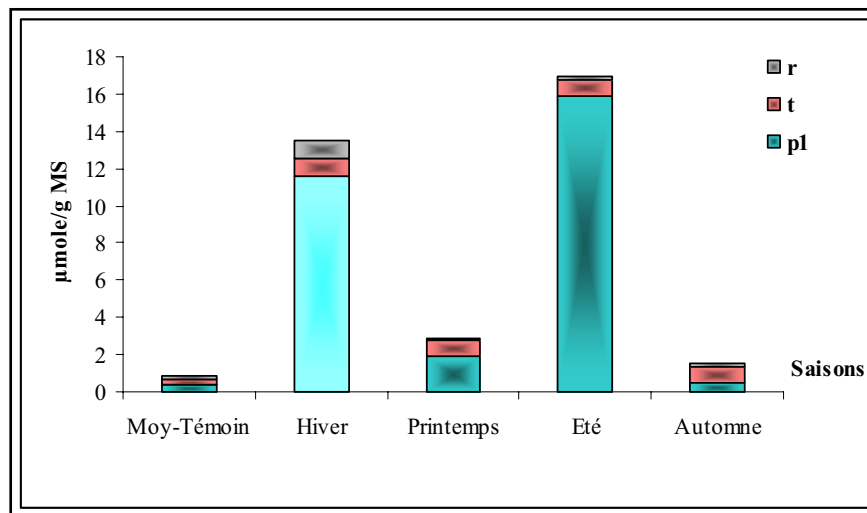


Figure57: Cumul saisonnier de la proline au niveau de la plante entière

D'après la figure57, le taux en proline présente la séquence d'accumulation suivante: [P1] >>> [T] > [R]. On constate que les feuilles de la 1^{ère} pousse de croissance présente le taux d'accumulation le plus important jusqu'à 10 fois plus que le témoin en saison hivernale et estivale, on peut dire qu'en conditions idéales (absence de stress) le taux en proline dans les différents organes est presque identique, la plante réagit en accumulant de la proline au niveau des différents organes et spécialement dans les feuilles afin de maintenir une certaine turgescence cellulaire, est ainsi assuré la protection de cet organe important.

3/Effet des variations thermiques inter saisonnière sur la synthèse chlorophyllienne

Le dosage est réalisé au niveau des aiguilles de la 1^{ère} pousse de croissance (Tab70).

Tableau 70: Taux de variation inter saisonnier de la chlorophylle par rapport au témoin.

	Témoin	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Ch (a)	/	-60%	-4%	-84%	-60%
Ch (b)	/	-69%	-12%	-83%	-65%
Ch (a+b)	/	-62%	-7%	-83%	-61%
Ch(a)/ch(b)	/	+29%	+9%	-9%	+15%

3.1/ Les chlorophylles (a) et (b)

Le contenu en chlorophylle (a) et (b) varie d'une manière très hautement significative, d'une saison à l'autre comme le montre l'analyse de la variance à un critère de classification ($p < 0.001$) (Annexe03). La comparaison des moyennes réalisées par le test de Newman et Keuls au seuil 5%, fait ressortir trois groupes (tableau71).

Tableau 71: Groupes homogènes des chlorophylles durant les saisons

Saisons			
Modalité		Moyenne	Groupes
Printemps	Ch (a)	0.827	A
	Ch (b)	0.264	
Automne Hiver	Ch (a)	0.318 0.345	B
	Ch (b)	0.105 0.094	
Eté	Ch (a)	0.135	C

3.2/ La chlorophylle total et le rapport a/b

Pour la chlorophylle totale (a+b), on constate qu'il existe une différence très hautement significative ($p < 0.001$), en fonction des saisons, avec la plus grande moyenne enregistrée durant la saison printanière estimé à $1.084 \mu\text{mole/mgMF}$, le second groupe comprend la saison automnale et hivernale avec une moyenne de $0.45 \mu\text{mole/mgMF}$ et $0.439 \mu\text{mole/mg MF}$; la dernière moyenne est enregistrée pour la saison estivale $0.187 \mu\text{mole/mgMF}$. Pour le rapport a/b l'analyse de la variance ne révèle aucune différence significative entre les saisons ($p = 0.180$) (Annexe03). La figure 58, montrent les différentes variations du contenu en chlorophylle suivant les variations saisonnières.

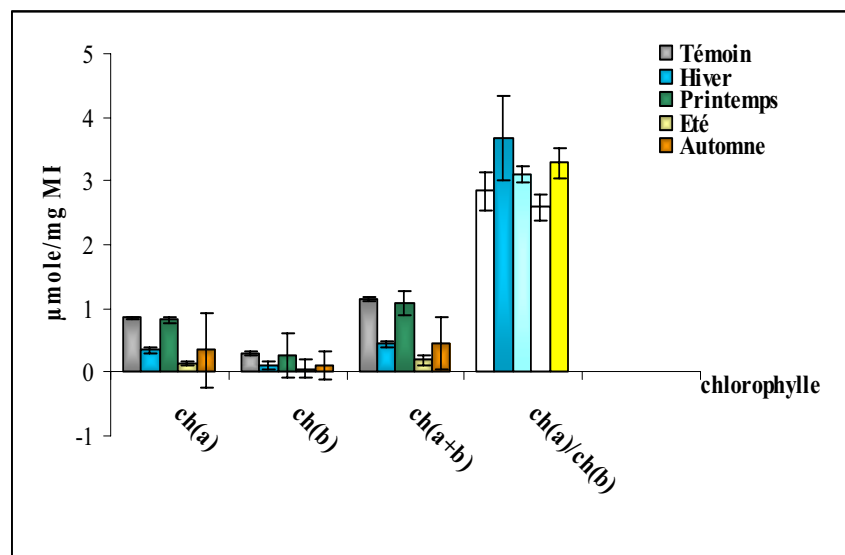


Figure 58: Variation inter saisonnière des teneurs en chlorophylle dans les aiguilles de la 1^{ère} pousse de croissance des semis de cèdre

Discussion

Le stress thermique appliqué à différents seuils a induit une multitude de modifications métaboliques, qui se traduit par des variations de l'accumulation des sucres solubles, proline, protéines et des chlorophylle (a) et (b) afin de tester la capacité d'adaptation du cèdre de l'Atlas à tolérer les températures extrêmes.

De nombreux travaux ont mis en évidence l'action de la température sur l'intensité du métabolisme des végétaux (Claude Lance et François Moreau, 1992 in Come, 1992) et les déséquilibres qu'elles engendrent. L'une des conséquences majeures de ce déséquilibre est l'accumulation de solutés entre autres les sucres solubles, un bon nombre de ligneux comme l'*Eucalyptus microtheca* (Chunyang, 1998) et le *Quercus ilex* (Pesoli et al, 2003) ont montré une augmentation importante dans les concentrations en sucres solubles. La présence des 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 (Munns et al, 1975; Barlow et al, 1976, in Bulletin de l'OIV, 2000). L'acclimation au froid s'accompagne d'une synthèse de nombreux composés tels que les sucres, malate, alanine, aspartate et gultamate, qui participent à un mécanisme cryoprotecteur des protéines membranaires (Steponkus, 1971 in Côme 1992).

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 d'eucalyptus sous différents stress hydriques, par KAMELI et LÖSEL (1995 a et b) chez le blé suite à un déficit hydrique; et par

NOIRAUD et al., (2000) chez le céleri sous stress salin. 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, abaissement du stress hydrique, mécanique et ionique et un rôle énergétique. La teneur en sucres solubles est plus importante dans les feuilles de la 1^{ère} pousse de croissance puis le contenu commence à diminuer dans les autres organes (tiges, feuilles de la 2^{ème} pousse et racines), ceci montre que les sucres sont synthétisés au niveau des feuilles "sources" et sont transportées vers les autres organes (Aissani et Bousba, 1992). Les fortes teneurs en sucres dans les feuilles n'est pas due à une surproduction des assimilats mais plutôt une réduction de leur translocation du site de synthèse, feuilles vers le reste de la plante particulièrement le système racinaire dont la croissance est tributaire (Alaoui-Sossé et al, 1994).

Parmi les acides aminés pouvant être accumulés, la proline représente l'une des manifestations de stratégies adaptatives déclenchées par la plante face aux contraintes de l'environnement (Belkhodja, 2005 in Zekri 2008). On a additionnellement à l'augmentation des sucres solubles, une augmentation en teneurs de proline, l'accumulation de cet acide aminé sous conditions déficitaires a été reportée par plusieurs chercheurs, sur différents types de plantes (Blum et Ebercon, 1980; Huang et Cavalieri, 1979; Hubac et Viera Da Silva, 1980; Claussen, 2005). L'une des causes de cette accumulation, serait une protéolyse membranaire, elle est donc accumulée suite à une perturbation du métabolisme des protéines, Claussen (2005) suggère que l'accumulation de la proline serait due soit à une induction ou activation de l'enzyme impliquée dans la biosynthèse de la proline, ou suite à un abaissement de son oxydation en glutamate, et une amélioration du turnover des protéines. Le mécanisme de l'accumulation de la proline permet de penser à la présence de site 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 de 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 la fève et le trèfle d'alexandrie (Belkhodja, 2005 in Zekri, 2008).

L'accumulation s'effectue différemment, dans les feuilles, la tige et la racine. Ainsi dans les feuilles, la quantité et d'autant plus importante que le stress augmente, la concentration en proline est beaucoup moins importante pour les tiges et les racines. La proline se concentre beaucoup plus en conditions thermique froid que chaudes.

Selon Dorffling et al, 1998, l'augmentation de la teneur en proline durant l'endurcissement au froid a été associée à une augmentation de la tolérance au froid chez plusieurs espèces.

Les sucres et la proline accumulés ont un rôle dans le maintien de la turgescence, les travaux de Losch et al, 1982 le confirment. Il est à noter que la synthèse des protéines est étroitement liée au métabolisme des sucres appuyé par une corrélation positive très hautement significative enregistrée entre l'accumulation des sucres et le taux en protéines totaux ($r=0.713$, $p<0.001$) et la respiration à partir de l' α -cétoglutarate intermédiaire du cycle de krebs qui donne le squelette carboné pour la synthèse de la proline. Par contre une corrélation négative hautement significative est enregistrée entre l'accumulation de la proline et le taux en protéines totaux ($r=-0.378$, $p=0.005$). De même, la synthèse des protéines pourrait jouer un rôle majeur dans la mobilisation de l'énergie métabolique requise durant le stress.

Une augmentation de la concentration des protéines totales est beaucoup plus importante à basses températures, ce qui concorde bien avec les travaux de Davis et Gilbert, 1970; Mckenzie et al, 1988 et Dionne, 2001 où on observe des concentrations très élevées en protéines durant l'endurcissement au froid. Les protéines se concentrent beaucoup plus dans les feuilles de la 1^{ère} pousse de croissance, puis elle tend à diminuer dans les autres organes (racines, tiges et feuilles de la 2^{ème} pousse de croissance).

L'accumulation de ces différents osmolytes (proline, sucres et protéines) montre les capacités d'adaptation de cette espèce aux températures extrêmes notamment pour les températures basses. Pour ce qui est du taux de la chlorophylle (a,b), il y a une réduction sensible par rapport au témoin.. Suite à ces résultats on constate que la synthèse de la chlorophylle est beaucoup plus affectée par la chaleur, elle est inhibée à 70% chez des plantules étiolées de concombre mises à la lumière dans une chambre de culture à 42°C. Selon Haldiman 1999, un génotype tolérant conserverait une activité photosynthétique, une quantité de chlorophylle (a) et (b) et un rapport (a/b) suffisant pour continuer sa croissance sans subir des dommages photooxydatifs.

Il convient de retenir les points suivants:

- ✓ Les plantes révèlent une amplitude à synthétiser des sucres, de la proline et des protéines quel que soit le degré ou la nature de la contrainte thermique,
- ✓ La chlorophylle est beaucoup plus affectée par la chaleur, où on a un taux en toujours plus élevée au niveau des aiguilles de la 1^{ème} pousse.
- ✓ La teneur de ces osmolytes varie dans la plante d'un organe à l'autre

- les feuilles de la 1^{ère} pousse de croissance ont tendance à accumuler plus des sucres et de protéines,
- les feuilles de la 2^{ème} pousse de croissance enregistrent les plus grands taux en proline,
- la concentration des osmolytes au niveau des tiges et toujours plus importante que celle enregistrée au niveau des racines.

Pour les semis en pleine nature l'accumulation des osmolytes (sucres et proline) est beaucoup plus importante durant la saison hivernale et estivale, comme celle constaté chez le peuplier qui présente une très forte teneur en saccharose du parenchyme xylémien (Sauter et Kloth, 1987), ainsi que de fortes concentrations en sucres et proline sont enregistrées durant les mois de froid et qui jouent un rôle important dans la réparation de l'embolie hivernale (Amelgio et al, 2001). Chez le *Salix* par exemple, l'accumulation de saccharose est très importante à partir de décembre jusqu'au début mars avec des accumulations atteignant 3 à 7mg/ml par 24h. En avril-mai, l'accumulation dans les vaisseaux serait moins importante avec des valeurs proches de 0.2mg/ml par 24h (Decourteix, 2005). La proline se concentre beaucoup plus durant la saison hivernale, ce qui est selon Dorffling et al, 1998 expliqué par le fait que la proline est associé à une augmentation de la tolérance au froid.

Parallèlement à cela, les travaux de Clifford et al, 1998, montrent que l'accumulation de la proline est concomitante de celle des sucres solubles. En effet, une corrélation positive hautement significative est enregistrée entre les sucres et la proline ($r= 0.661$ et $p= 0.005$). Suggérant l'extrême sensibilité de la synthèse de la proline au niveau de la réduction du NADP^+ cellulaire et ceci renforce les données, stipulant que la synthèse de la proline est un moyen de régulation du potentiel redox cellulaire par une contribution dans l'ajustement énergétique (Bellinger et al, 1987; Rai, 2002). Par ailleurs, on peut déduire que les sucres solubles sont des effecteurs de l'accumulation de la proline (Joyce et al, 1992). Mastrangelo et al, 2000, Nouri (2002), suggèrent que l'habilité de certains génotypes à accumuler ces osmoticums(proline, sucres), est utilisé comme base pour la sélection de génotypes tolérants à la sécheresse.

Au printemps la chlorophylle enregistre le taux le plus élevé, coïncidant avec les conditions optimale de croissance, au fur est à mesure que les conditions deviennent hostiles ce taux diminue, la synthèse de la chlorophylle est beaucoup plus affectée par les températures chaudes.

Parallèlement à l'augmentation de la teneur en sucres solubles sous l'effet du stress, une baisse des teneurs en pigments chlorophylliens totaux a été enregistrée comme le montre la corrélation négative très hautement significative ($r = -0.698$ et $p < 0.001$).

En conclusion, le cèdre de l'Atlas montre un caractère adaptatif face aux basses températures suite à l'accumulation d'osmoprotecteurs, par contre il craint les hautes températures. Il est beaucoup plus sensible aux variations climatiques qui tendent vers le réchauffement.

Conclusion

Il ne fait aucun doute qu'au cours de ce siècle, la terre connaîtra de brusques changements climatiques. Inévitablement, ces modifications auront des conséquences sur la répartition des différentes espèces végétales qui peuplent notre planète. La cédraie Algérienne constitue l'une des plus belles curiosités naturelles du monde, la cédraie de Belezma est presque entièrement atteinte par le dépérissement, à l'exception de sa partie centrale humide. Le dépérissement est la résultante de l'interaction de plusieurs facteurs de stress de nature biotique et abiotique. Ces facteurs agissent de façon consécutive ou concomitante et provoquent l'affaiblissement de l'arbre et parfois même sa mort. Parmi ces stress, on a le stress thermique qui peut directement ou indirectement affecter la physiologie de l'organisme en altérant son métabolisme, sa croissance et son développement.

Notre travail a pour objectif de traiter les variabilités des paramètres thermiques, notamment les températures minimales et maximales des saisons froides et chaudes, les risques des gelées du mois d'avril et leurs conséquences. L'analyse thermique des températures extrêmes de la dernière décennie de la région de Batna montre une grande variabilité des températures minimales et maximales, la température minimale varie entre -0.43 et -5.27 °C et la température maximale varie entre 36.22 et 40.69 °C. La variabilité des températures maximales moyennes de la saison estivale pour les années 2005, 2006, 2007 et 2008 donne des courbes qui tendent vers un réchauffement, ce qui explique les fortes températures estivales de la région; pour la variabilité des températures minimales moyennes de la saison hivernale on constate un refroidissement pour 2005, 2006 et 2008, par contre, l'année 2007, montre un réchauffement hivernal significative. Les saisons des années 2005, 2006, 2007 et 2008 ont été traitées sur des données tri-horaire afin de ressortir les différents stress observé durant la saison hivernale et estivale, où la saison hivernale de l'année 2005 a montré la plus basse température -8 °C avec un stress d'une période de 387 heures, alors que la saison estivale de l'année 2007 a montré le plus grand stress d'une série de températures comprises entre 36 et 42 °C avec une période de 249 heures.

Les gelées des saisons hivernales des trois années avec une moyenne de 47 jours, bien que les gelées se poursuivent jusqu'au mois de mars et varient entre 5 et 8 jours et 2 jours pour avril.

La sensibilité des plants aux températures extrêmes est très variable, certaines sont tuées ou lésées par des baisses modérées de température; pour notre espèce, on constate quelle est parfaitement acclimatée et capable de survivre à des basses températures jusqu'à -10 °C alors que pour les hautes températures le seuil est de 40 °C. Une réponse commune au stress

thermique est l'accumulation d'osmoprotecteurs, tel que les sucres solubles, la proline et les protéines solubles qui par leur concentration assurent l'ajustement osmotique entre le cytosol et la vacuole, la synthèse chlorophyllienne a été fortement affectée suite a l'intensité du stress.

Dans les conditions normales (témoin $20\pm 2^{\circ}\text{C}$), la plupart des marqueurs biochimiques dosés montrent des concentrations basses et un taux en chlorophylle appréciable. Sous stress thermique de 3heures avec des températures froides comprise entre (2°C et -10°C) et des températures chaudes de (38°C à 44°C), l'augmentation de la concentration en osmoprotecteurs est très hautement significative au niveau des différents organes de la plante, pour chaque paramètres dosé. Les résultats montre un éventail thermique de $[-10^{\circ}\text{C};40^{\circ}\text{C}]$.

Sucres solubles : aiguilles de la 1^{ère} pousse > tige > aiguilles de la 2^{ème} pousse > racines,

Proline: aiguilles de la 1^{ère} pousse > aiguilles de la 2^{ème} pousse > tiges > racines,

Protéines solubles: aiguilles de la 1^{ère} pousse > racines > tiges > aiguilles de la 2^{ème} pousse,

Donc on peut dire que chaque organe a une tendance à accumuler différents osmolytes, les aiguilles de la 1^{ère} pousse de croissance accumulent beaucoup plus de sucres et de protéines, les aiguilles de la 2^{ème} pousse de croissance manifeste des taux exceptionnels en proline, les concentrations au niveau des tiges sont toujours supérieure à celle des racines.

Pour les taux en chlorophylle, les résultats montrent que les aiguilles de la 1^{ère} pousse montre des concentrations toujours plus élevées que celle de la 2^{ème} pousse de croissance, et que la synthèse de la chlorophylle est plus affectée par les hautes températures (67% de diminution pour les hautes et - 47% pour les hautes températures).

Pour les résultats des analyses saisonnières, on a un gain en biomasse et en hauteur durant la saison automnale et printanière ce qui coïncide avec les périodes où en enregistre le moins de stress thermique. Pour les concentrations en sucres solubles et proline on constate que durant la saison hivernale et estivale un durcissement est constaté (forte concentration), par contre la chlorophylle enregistre les taux les plus faibles durant la saison estivale. L'accumulation des différents métabolites (protéines, proline, sucres solubles...) au niveau des différents organes montre la capacité du cèdre de l'Atlas à l'endurcissement durant la période hivernale alors que durant la saison estivale le cèdre est plus sensible et montre un grand taux de mortalité. Enfin le suivie de la résistance stomatique au cours de la saison estivale, montre que le cèdre à une grande capacité a minimisé ses pertes en eau.

Bibliographie

Références bibliographiques

- 1/Abrol, Y.P.; Ingram, K.T.; Bazzaz, F.A. (ed.); Sombroek, W.G. (1997). Les effets de la hausse des températures diurnes et nocturnes sur la croissance et les rendements de certaines plantes cultivées FAO, Rome (Italy). Div. de la Mise en Valeur des Terres et des Eaux Division: AGL.
- 2/Abdessemed K. (1981). Réflexion sur les cédraies algériennes. Bull. Tech. Forest. N° 6, pp : 7 – 10.
- 3/Abdessemed K. (1982). Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le massif de l'Aurès et du Belezma. Etude phytosociologique. Problèmes de conservation et d'aménagement. Thèse Doc. Ing. Fac. Des sciences et techniques, St Jérôme Aix Marseille, 200 p.
- 4/Ahrens, M.J. and Ingram, D.L. (1988). Heat tolerance of citrus leaves. Hort Sci. 23: 747-748.
- 5/Aissani R. Bousba. D. (1992). Croissance rythmique de deux chêne méditerranéens: le chêne liège et le chêne zeen.
- 6/Alaoui-Sossé B. Parmentier C. Dizengremel P. Barnola P. (1994). Rythmic growth and carbon allocation in *Quercus robur*. Starch and sucrose. Plant physio.Bioche. 32, 331-339.
- 7/Alatou D., (1984). Facteurs physiologiques de la concurrence interspécifique du chêne liège et du chêne zeen. p73, 78.123p. Thèse de magister : Ecologie végétale. Univ de Constantine.
- 8/Alatou. (1990). Recherche sur le déterminisme de la croissance rythmique du chêne: *Quercus pedunculata* Ehrh, *Quercus mirbeckii*, *Quercus suber* L. Etude morphologique, biochimique et écophysologique. Thèse de doctorat d'état en sciences naturelles ISN., Uni de Constantine, 109P+ annexes.
- 9/Ali Dib T, Monneveux P, Araus JL. (1992). Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. II: Caractères physiologiques d'adaptation. Agronomie 12:381-393.
- 10/Allen, D.J., D.R. Ort. (2001). Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. Trends in Plant Science 6:36-42.
- 11/Amelgio T. Ewers FW. Cochard H. Martignac M Vandame M. Bodet C. Cruziat P. (2001). Winter stem xylem pressure in walnut: effects of carbohydrates, chilling and freezing. Tree physiol. 21:387-394
- 12/Aussenac G, Granier A et Gross P. (1981). Etude de la croissance en hauteur du cèdre "utilisation d'un appareillage de mesure automatique Ann.Sci.forest., 38:301-316.
- 13/AUSSENAC G. et FRINKELSTEIN D. (1983). Influence de la sécheresse sur la croissance et la photosynthèse du cèdre. Ann. Sci. For., 40 (1). I.N.R.A., Nancy, Pp 67-76.

14/AUSSENAC G. et GUEHL J. (1990). Ecophysiologie du cèdre (*Cedrus sp.*). Conséquence pour la sylviculture station de sylviculture et de production INRA, Nancy, pp : 191 – 139.

15/Aussenac G.,Guehl J M., (1994). Les facteurs abiotiques.pp.466-470.

16/Avissar R, Avissar P, Mahrer Y, Bravdo BA. (1985). model to simulate plant stomatal to environmental conditions. *Agric Forest Meteo* ; 34 : 21-9

17/Aubert A ., Kelley K.W. & Dantzer R., (1997).Differential effect of lipopolysaccharide on food hoarding behavior and food consumption in rats. *Brain, Behavior, and Immunity*, 11: 229-238

18/Arnholdt-Schmitt B., (2004). Stress-induced reprogramming. A role for global genome regulation? *Plant Physiol* 136: 2579–2586

19/Bagnouls et Gaussen, (1957). Les climats biologiques et leur classification. *Ann. Geogr.*N°355 Pp **Aubert, A .; Kelley, K.W. & Dantzer, R. (1997)**

Differential effect of lipopolysaccharide on food hoarding behavior and food consumption in rats.

Brain, Behavior, and Immunity, 11: 229-238.193-220.

20/Bammoun A.(1997). Contribution à l'étude de quelques caractères morphophysiologiques, biochimiques et moléculaires chez des variétés de blé dur, *Triticum turgidum esp.durum*, pour l'étude de la tolérance à la sécheresse dans la région des hautes plateaux de l'ouest Algérien. Thèse de Magistère, Pp1-33.

21/ Barnette NM., Naylor AW,(1966). *Plant Physiol.* 41,1222.

22/Bergmann, F. et Gregorius, H.R. 1992 Ecogeographical distribution and thermostability of isocitrate deshydrogenase (IDH) alloenzymes in European silver fir (*Abies alba*). *Biochem. Syst. Ecol.*, 21:597-605.

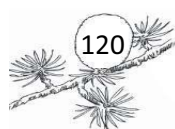
23/Barry-Lenger A. Evrard R. Gathy P. (1988). La forêt, 3ème Edition du Perron, Pp41-50.

24/Batunyi F. (2005). Point focale nationale pour le centre d'échange de la républic démocratique du Conga.

25/Beghami Y. (2003) Contribution à l'étude de la flore et de quelques paramètres de l'environnemnt de la cédraie du massif de Chélia.Thèse de Magistère. Université de Batna, Pp28-39

26/Belkhodja. M (2005). Analyse de la proline pour l'étude de la résistance d'une halophyte *Atriplex halimusL.* À la salinité.

27/BELLINGER et LARHER(1987).proline accumulation in higher plants: a redox buffer.



- 28/Bellinger Y. Bensaoud A. Larher F. (1989).** Les conséquences de la canicule et de la sécheresse sur la santé des forêts: bilan à la fin de l'année (DSF échelon central) p23.
- 29/Bellinger Y.,Bensaoud A.,Larher F.(1989).** Physiology breeding of winter cereals for stress environments colloque N°3, Montpellier, France.
- 30/Blum A.Ebercon. A. (1980).** Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat, *Crop sc.*21, 43-47.
- 31/Bois. (2005).** Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorizés en milieu salin et solonique. Thèse de doctorat. 187p.
- 32/BOUDY P. (1952).** Guide forestier en Afrique du Nord. Edit La Maison rustique, Paris, 288 p.
- 33/Bourdu R, (1984).** Bases physiologiques de l'action des températures. Pp399- 407.
- 34/Burke JJ, Orzech A. (1988).** *Plant, cell and environment*; 11: 441-444.
- 35/Chaisompongpan, N., Li, P.H., Davis, D.W. and Mackhart, A.H. (1990).** Photosynthetic responses to heat stress in common bean genotypes differing in heat acclimation potential. *Crop Sci.* **30**: 100-104.
- 36/CHEBOUKI. (1994).** Contribution à l'étude de l'organisation reproductive du cèdre de l'Atlas. Thèse de maistrère-Université de Barna- Pp5-13.
- 37/Chunyang L. kaiyun W. (2003).** Differences in drought responses of three contrasting *Eucalyptus microtheca* F.Muell. Populations. Uni of Hesinki. Finland. *Forest Ecology and Management*, 179 Pp 967-977.
- 38/Chunyang L.(1998).** Some aspects of leaf water relations in four *Eucalyptus microtheca* seedlings. *Forest Ecology and Mnagement* 111,303-308
- 39/CLIFFORD S.C., KARNDT S., CORLETT J.E., JOCHI S., SANKHLA N., POPP M. and HAMLYN G.J. (1998).** The role of solute accumulation, osmotic adjustment and changes in cell wall elasticity in drought tolerance in *Ziziphus mauritiana* (Lamk.). *Journal of Experimental Botany*, Vol.49, N°323, Pp.967 – 977.
- 40/CLIFFORD S.C., KARNDT S., CORLETT J.E., JOCHI S., SANKHLA N., POPP M. and HAMLYN G.J. (1998).** The role of solute accumulation, osmotic adjustment and changes in cell wall elasticity in drought tolerance in *Ziziphus mauritiana* (Lamk.). *Journal of Experimental Botany*, Vol.49, N°323, Pp.967 – 977.
- 41/Côme D., (1992)** les végétaux et le froid 600p
- 42/Cornic G, (2007).** Effet de la température sur la photosynthèse. pp 13-35
- 43/Cortes et Sinclair (1987), Geingenberger et al, (1997)**

- 44/Dagnelie P, (2006).** Statistique théorique et appliquée au volés un et deux dimension- Université de Boeck et Larcier (Belgique). P560-630.
- 45/DatJ., Vandenabeels S., Varnova E., Van montagu M., Van Breusegem F.(2000).** Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. Cellular and Molecular Life Sciences 57: 779-795
- 46/Davis D L.,Gilbert W B.(1970)** Winter hardiness and changes in soluble proteinifications of bemudagrass; corp sci, 10:7-9.
- 47/Decourteix M. (2005).** Caractérisation physiologique et moléculaire de transporteurs de saccharose et d'hexose de xylème de noyer: role dans les échanges latéraux de sucres pendant la période non-feuillée. Thèse de docteur d'université. Université
- 48/Delauney A J.,Verma D P S.(1993).** Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. Plant J. 4:215-223.
- 49/Denden M, Lemeur R. (1999).** Mesure de la transpiration par le modèle de Penman-Monteith. Sécheresse ; 10 : 39-44.
- 50/Dickuison RE, Sellers AH, Rosenzweig C, Sellers PJ. (1991).**Evapotranspiration models with canopy resistance for use in clima.te models, a review. Agric Forest Meteo ; 54 : 373-88.
- 51/Diehl, (1975).** Agriculture générale.2ème édition.392p.
- 52/DionneJ. (2001).** Protection hivernale et tolérance au froid du pâturin annuel. Thèse (Ph.D), Univ Laval.47P.
- 53/Dorffling KM. Abromeit U. Bradersen H. Melz G. (1998).** Involvement of abscisic acid and proline in cold acclimation of winter wheat (*Triticum aestivum*) varieties. XII Eucarpia congress.
- 54/Dorffling KM. Abromeit U. Braderson H. Melz G. (1998).** Involvement of abscisic acid and proline in cold acclimation of winter wheat. In plant cold hariness.Li and Chen Ed. Pergamon Press, new York. Pp.283-292
- 55/Emberger. (1935).** La distribution géographique du cèdre au Maroc. C.R.Sec.Biogéographie.12: 108.
- 56/Emberger. (1939).** Aperçu générale sur la végétation du Maroc, commentaire de la carte phytogéographique du Maroc, Mém. H.S.Sec.Nat. Maroc 117 P.
- 57/Fabre J.P. (1994).** Etat actuel des connaissances sur les ravageurs originaires de l'aire naturelle des cèdres parvenus en France, colonisation par les insectes d'un nouvel écosystème forestier. In : Le cèdre de l'Atlas. Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc), 7 – 11 Juin 1993. Annales de la recherche forestière au Maroc 27 (spécial).540-551.

- 58/Farjon A. (1990).** Pinaceae: drawings and descriptions of the genera *Abies*, *Cedrus*, *Pseudolarix*, *Keteleeria*, *Nothotsuga*, *Tsuga*, *Cathaya*, *Pseudotsuga*, *Larix* and *Picea*. Koeltz scientific books. 330 p.
- 59/Foyer C H., Vanacker H., Gomez L D., Harbinson J.(2002).** Regulation of photosynthesis and antioxidant metabolism in maize leaves at optimal and chilling temperatures: review. *Plant physiology and Biochemistry* 40:659-668.
- 60/Galiba G. (1994)** In vitro adaptation for drought and cold hardiness in wheat. *Plant Breeding Reviews* 12:115-162.
- 61/Gallais A, (1984).** *Physiologie du maïs*. Edition INRA. Pp390- 415.
- 62/Gauquelin T. (2005).** Histoire du service de la carte de végétation de France.
- 63/Gaussen, (1964).** Les gymnospermes actuels et fossiles. Fascicule VII. *Pinus*, *Cedrus* et *Abies*. Fac des sciences, Toulouse Pp295-320.
- 64/GEIGENBERGER P., REIMHOLZ R., GEIGER M., MERLO L., CANALE V. and STITT M. (1997).** Regulation of sucrose and starch metabolism in potato tubers in response to short-term water deficit. *Planta* , 201, 502-518.
- 65/Girardin P. (1998).** *Ecophysiologie du maïs agpm*.
- 66/Gomez L D., Noctor G., Knight M R., foyer C H.(2004).** Regulation of proline calcium signalling and gene expression by glutathione. *Journal of Experimental botany* 55:1851-1859.
- 67/GoubierM. (2006).** Les végétaux d'altitude: adptation et reproduction. Jardin alpin du lautaret. DUT agronomie, université claud Bernard; Lyon.39pp.
- 68/Grime J P. (1989).** Whole-plant reponses to stress in natural and agricultural systems. *Plant under stress*.H.G. Jones, T.J.Flowers and M.B. Jones. New York, Cambridge univerty press:31-46.
- 69/Haldiman 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
- 70/Hall, A.E., (1993).** Breeding for heat tolerance. *Plant Breed Res.* 10: 129-168.
- 71/HARE P O., Cress W A., Van Staden J.(1998).** Proline synthesis and degradation:amodel system for elucidating related signal transduction. *J. Exp. Bot.*50:413-434.
- 72/Heller, R., R. Esnault, C. Lance. (1998).** *Physiologie végétale 1.Nutrition*. 6èmeédition, Paris.
- 73/Hopkins. (2003).** *Physiologie végétale*. 2ème édition américaine. Traduction en français (Serge Rambour). Paris. 514P.

- 74/Hubac, C; (1967).**, Accroissement chez les plantes de la résistance à la dessiccation par action préalable de la proline CR.Acad.Sci. 264, pp.1286-1288
- 75/Huner N P A., Oquist G., Sarhan F.(1998).** Energy balance and acclimation to light and cold. Trends in plant science 3:224-230.
- 76/Jones HG., Flowers T j., Jones M B. (1989).** Plants under stress. Cambridge University press
- 77/Jones RJ, Mansfield TA.(1970).** Suppression of stomatal opening in leaves treated with abscissic acid. J Exp Bot ; 21 : 714-9.
- 78/Joyce P A. Aspinall D.Paleg LG. (1992).** Photosynthesis and the accumulation of proline in response to water deficit. Aust.J.Plant physio, 19:249-261.
- 79/Kasperska A. (2004).** Sensor types in signal transduction pathways in plant cells responding to abiotic stressors: do they depend on stress intensity, Physiological plantarum 122:159-168.
- 80/KIM J-Y., MACHE A., BRANGEON J. and PRIOUL J-L. (2000).** A Maize vacuolar invertase, IVR2, is induced by water stress. Organ/Tissue specificity and diurnal modulation of expression. Plant physiology, Vol.124, Pp 71 - 84.
- 81/Koslowsky, T.T;(1968)** Water deficits and plant growth", vol.11, Academic Press, New York, P.333
- 82/Kocsy,G., Von Ballmoos P., Ruegsegger A., Szakai G., Galiba G., Brunold C. (2001).** Increasing the glutathione content in a chilling-sensitive maize genotype using safeners increased protection against chilling-induced injury. Plant Physiology 127:1147-1156.
- 83/Lance. C., Moreau F, in Côme., (1992).** Effet métabolique du froid.Chapitre2.Paris.pp.27-50.
- 84/Levitt, J. (1980).** Responses of plants to environmental stresses, Vol. 1, 2nd ed. Academic Press, New York.
- 85/LÖSCH R., TENHUNEN J. D., PEREIRA J. S. et LANGE O.L. (1982).** Diurnal courses of stomatal resistance and transpiration of wild and cultivated mediterranean perennials at the end of the summer dry season in Portugal. Flora 172, 138 – 160.
- 86/Mascart P, Taconet O, Pinty JP, Mehrez MB. (1991).**Canopy resistance formulation and its effect in mesoscale models: a apex perspective. Agric Forest Meteo ; 54 : 319-51.
- 87/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.
- 88/M'hirit O. 1994.** Le cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica Manetti). Présentation générale et état des connaissances à travers le réseau Silva Mediterranea "Le Cèdre". In : Le cèdre de

l'Atlas. Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc), 7 – 11 Juin 1993. Annales de la recherche forestière au Maroc 27 (spécial). 4-21.

89/M'hirit O. et al. 1999. Le grand livre de la forêt marocaine. Belgique, Mardaga. 280p.

90/Mikulska M, Maleszewski S. (1990). Oxygen at high concentration reduces the response of phaseolus stomata to light. *Photosynthetica* ; 24 : 607-12.

91/Murata, N., Los, A. (1997). Membrane fluidity and temperature perception. *Plant Physiology* 115:875-879

92/DAMBLON, (1989),, Damblon F. 1989. Les recherches palynologiques au Maroc : 騁at et perspectives. *In* : Premier symposium de palynologie africaine, 15 – 21 May 1989, Rabat.

93/NADJAH M. (1988). La croissance et la productivité du cèdre de l'Atlas à Chréa, *Ann. Rech.Forest. Algérie, Vol2, Pp23-58.*

94/Nemmar, M; (1983). Contribution à l'étude de la résistance à la sècheresse chez les Variétés de blé dur (*Triticum durum. Desf*) et de blé tendre (*Triticum aestivum L.*) Evolution des teneurs en proline au cours du cycle de développement", thèse Doct Ing. onpellier, P.108

95/Nouri, (2002). Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez la blé dur en condition de déficit hydrique"– Thèse de Magistère- Université de Constantine –

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

97/Pastori JB. Foyer .(2002). Water in the soil-plant-atmosphere continuum. In « Encyclopedia of plant physiology », new serie, Vol. 12B, 5-33.

98/Pelham, H. (1986). Speculations on the major heat shock and glucose regulated proteins. *Cell* 46: 959-961.

99/Pujos A, (1966). Les milieux de la Cèdraie marocaine. *Ann. R.F.N.T. 8 Rabat. P283.*

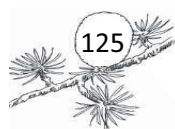
100/Putod R, (1979). Le reboisement du cèdre dans le Sud-Est de la France. *Bull. Vulg. Forest. N°8 P:58.*

101/Quezel .P et Santa .S, (1962). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions méridionales désertiques .C.N.R.S.Paris

102/Quézel P, (1980). Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen.*In* PESSON : Actualités d'ecologie forestières. Paris, Bordas. 205-256.

103/Quezel, (1976). Les forêts du pourtour méditerranéen, Notes techniques M.A.B.2 UNESCO .Paris. Pp9-34.

104/RAI V. K. (2002). Role of amino acids in plant responses to stresses. *Biologia Plantarum* 45 (4), 481 – 487.



105/RAI V. K. (2002). Role of amino acids in plant responses to stresses. *Biologia Plantarum* 45 (4), 481 – 487.

106/René H., (1977). Physiologie végétale. NUTRITION. Paris.

107/Roche E, (2006). Palynologie de la région méditerranéenne. Université de Liège. Notes decours, inédit.

108/Roeder V.(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

109/SAMAI A. (1991). Effet de l'humidité du milieu sur l'accumulation de la proline dans les tissus de blé pendant les premiers stades végétatifs. Thèse de DES en Biologie Végétale, p 51.

110/SARDA X., VANSUT G., TOUSCH D., CASSE-DELBART F et LAMAZE T. (1992). Les signaux racinaires de la régulation stomatique. In Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Les colloques de l'INRA, n° 64 (Paris).

111/SBATIER, BARTHELEMY. (1995). Architecture des arbres fruitiers et forestiers. Paris: INRA, P157-173.

112/Schoenberger A, (1970). Etude du couvert végétal de l'Aurès orientale, FAO. Algérie 15 Constantine.

113/Stanghellini C.(1987). Transpiration of greenhouse crops an aid to climate management. Ph.D.dissertation. Wageningen the Netherlands: Agricultural university,; 139 p.

114/Sung, D.Y., F. Kaplan, K.J. Lee,CL. Guy. (2003). Acquired tolerance to temperature extremes. *Trends in Plant Science* 8:179-187.

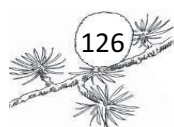
115/Thomashow, M.F. (1999). Plant cold acclimation: Freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50:571-599.

116/Till C, (1985). Recherches dendrochronologiques sur le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*(Endl;) carrière) au Maroc. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Université Catholique de Louvain, 231 p et annexes, inédit.

117/TOTH J, (1990) Le cèdre : utilisation et qualité technologique. *La forêt prévue* n° 194, pp : 57 – 60. Intérêt paysage : cédraies touristiques la prévue n° 195, pp : 50 – 57.

118/Toth J, (1994). Le cèdre de l'Atlas en France : croissance et production dans les dispositifs anciens. In : *Le cèdre de l'Atlas. Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas.* Ifrane (Maroc), 7 – 11 Juin 1993. *Annales de la recherche forestière au Maroc* 27 (spécial). 322-335.

119/Toth J, (2005). Le cèdre de France. Etude approfondie de l'espèce. Paris, L'Harmattan. Biologie, Ecologie, Agronomie. 207 p.



120/TOTH J,(1984). Effet des facteurs de l'environnement sur l'accroissement de cèdre de l'Atlas. Bull. Société et Sci. Nat. Vaucluse, pp : 71 – 76.

121/Touchard CH, (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

122/Upadhyaya, A., Davis, T.D., Larsen, M.H., Walsen, R.H. and Sankhla, M. (1990-1991). Uniconazole-induced thermotolerance in soybean seedling root tissue. *Physiol. Plant.* 79: 78-84.

123/Van Breusegem, F., E. Vranova, J.F. Dat, and D. Inze. (2001). The role of active oxygen species in plant signal transduction. *Plant Science* 161:405-414.

124/Whitehead D, Okali DUU, Fasehun FE.(1981) Stomatal response to environmental variables in two tropical forest species during the dry season in Nigeria. *J Applie Ecol* ; 18 : 571-87.

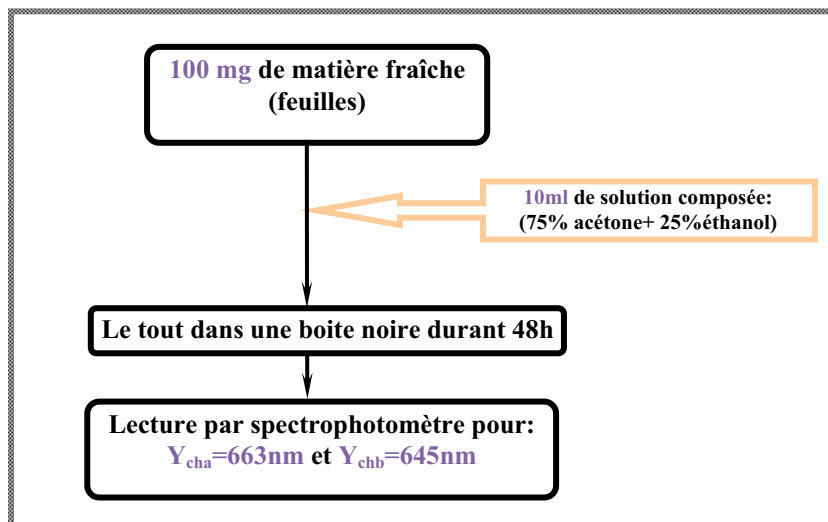
125/Zabadal TJ. (1974). A water potentiel threshold for the increase of abscissic acid in leaves. *Plant Physiol* ; 53 : 125-7.

Annexes

Annexe1

Dosage de la chlorophylle

La méthode utilisée est celle de Mac Kinney (1941), les échantillons prélevés subissent:



Méthode de dosage selon Mac Kinney (1941)

Enfin la lecture se fait aux deux longueurs d'ondes 645 et 663 nm, et l'étalonnage de l'appareil se fait par la solution témoin (acétone à 75%+ éthanol 25%).

Le calcul des valeurs de la chlorophylle se fait grâce à la formule d'ARNON (1949) :

$$\text{Chl.a } (\mu\text{mole/mgMF}) = 12.7 \text{ DO } (663) - 2.69 \text{ DO } (645)$$

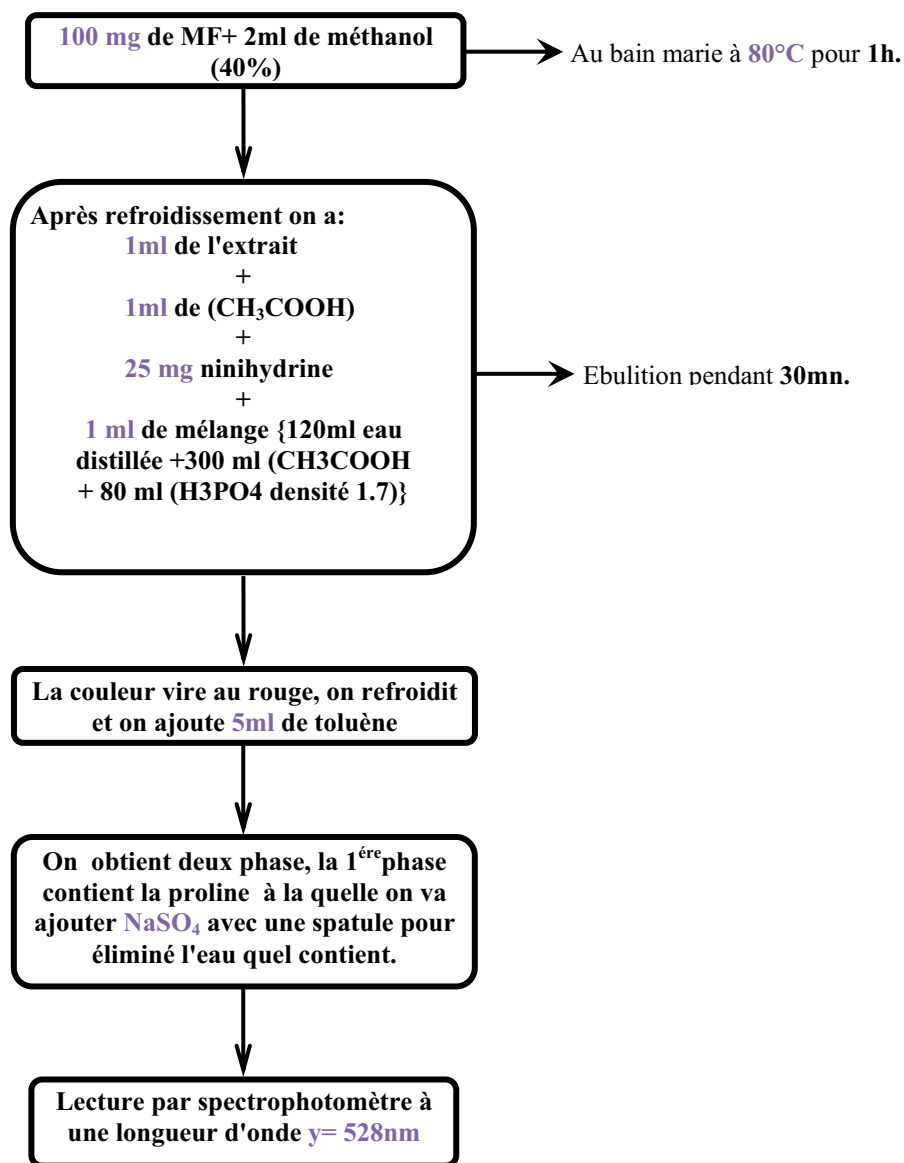
$$\text{Chl.b}(\mu\text{mole/mgMF}) = 22.9 \text{ DO}(645) - 4.86 \text{ DO}(663)$$

$$\text{Chl.a} + \text{Chl.b}(\mu\text{mole/mgMF}) = 8.02 \text{ DO}(663) + 20.20 \text{ DO}(645)$$

Annexe2

Dosage de la proline

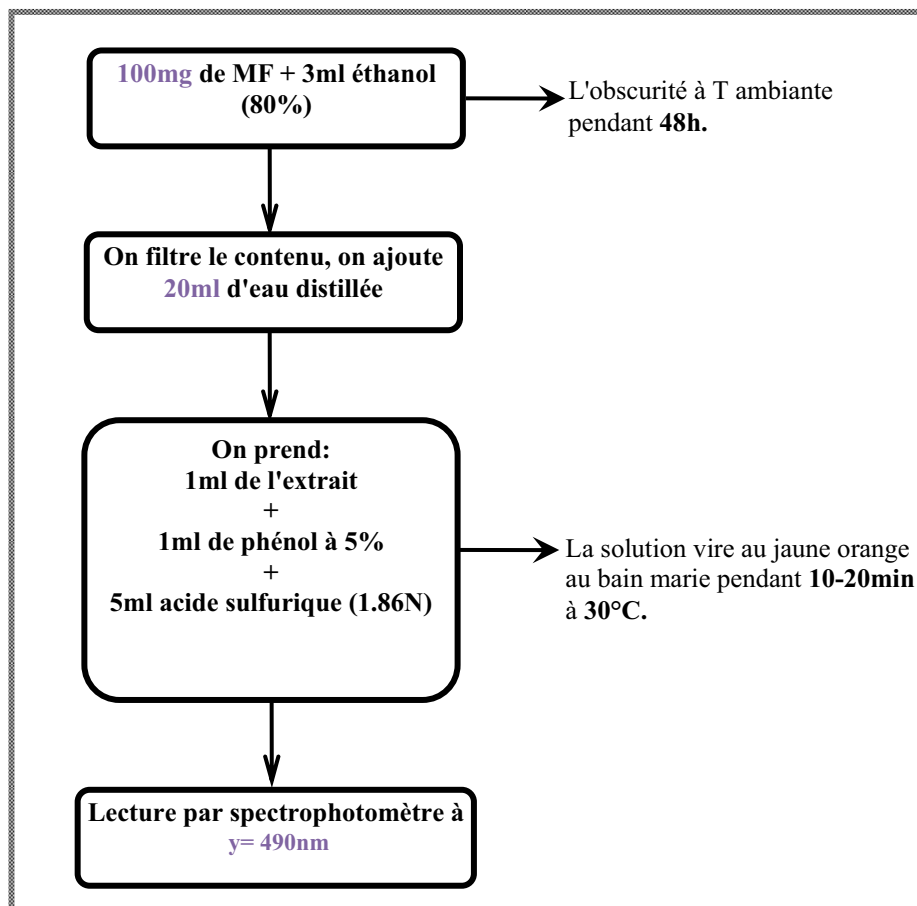
Méthode de Troll et Lindsley (1955), modifiée par Monneveux et Nemmar (1986).



Annexe3

Dosage des sucres solubles

Le dosage des sucres est effectué selon la méthode de Dubois et *al* (1956).



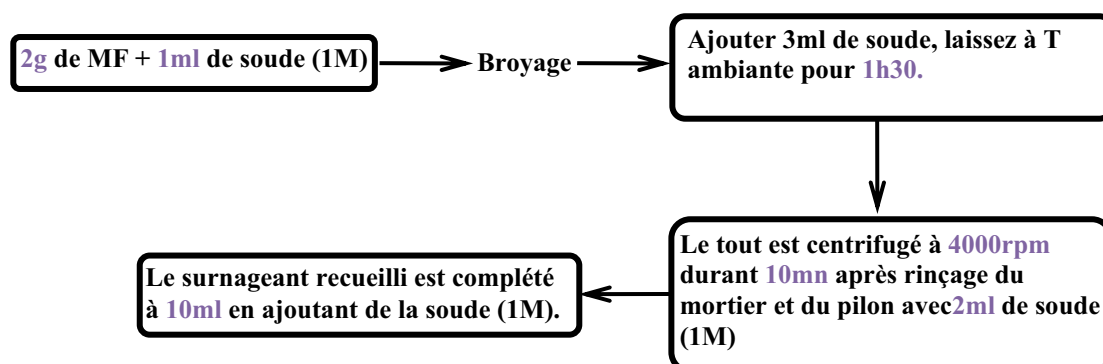
Annexe 4

Dosage des protéines solubles

La méthode utilisée est celle de Lowry (1951).

a/ Extraction

La méthode de Lowry est une méthode dérivée de celle de Biuret, en milieu alcalin les ions cuivre forment avec les protéines un complexe cuivrique violet-rose caractéristique des liaisons peptidiques. Les étapes de l'extraction sont les suivantes:



b/ Dosage

On prépare quatre types de solutions A, B, C et M afin de réaliser le dosage.

	Solution A	Solution B	Solution C	Solution M
Contenu	Na ₂ CO ₃ à 2% dans NaOH (0.1n)	Tartrate double de Na et K à 2% dans l'eau distillée	CuSO ₄ à 1% dans l'eau distillée.	50ml de A+0.5ml de B+ 0.5ml de C.

On ajoute à 1 ml d'échantillon 5 ml de la solution M agiter et laisser reposer 10 minutes à température ambiante; puis on ajoute 0.5 ml de réactif de **Folin** dilué 1/3. après le développement de la réaction colore. On laisse les échantillons à l'obscurité pendant 30 minutes. Lecture est faite au spectrophotomètre à **650nm**. Les teneurs en protéines sont obtenus à partir de l'équation suivante:

$$Y = 1.4751 X$$

Annexe 05

AV1 longueur tige:

Analyse de variance pour LT

Source	DL	SC	CM	F	P
Saisons	4	107,337	26,834	177,62	0,000
Erreur	10	1,511	0,151		
Total	14	108,848			

AV1poids frais PA:

Analyse de variance pour PF

Source	DL	SC	CM	F	P
saisons	4	64,4161	16,1040	252,18	0,000
Erreur	10	0,6386	0,0639		
Total	14	65,0547			

AV1poids sec PA:

Analyse de variance pour PS

Source	DL	SC	CM	F	P
saisons	4	13,0443	3,2611	252,18	0,000
Erreur	10	0,1293	0,0129		
Total	14	13,1736			

AV1poids frais PR:

Analyse de variance pour PR

Source	DL	SC	CM	F	P
saisons	4	7,2223	1,8056	66,08	0,000
Erreur	10	0,2732	0,0273		
Total	14	7,4955			

AV1 PR/PA:

source	DL	SC	CM	F	P
saisons	4	0,013793	0,003448	28,89	0,000
Erreur	10	0,001194	0,000119		
Total	14				

Annexe 06

ANOVA à deux facteurs contrôlés : sucre en fonction de Température froid; organes

Analyse de variance pour sucre

Source	DL	SC	CM	F	P
Températ	4	3949,75	987,44	2808,84	0,000
organes	3	8992,47	2997,49	8526,59	0,000
Interaction	12	1437,57	119,80	340,77	0,000
Erreur	40	14,06	0,35		
Total	59	14393,85			

ANOVA à deux facteurs contrôlés : proline en fonction de Température froids; organes

Analyse de variance pour proline

Source	DL	SC	CM	F	P
Températ	4	2271,57	567,89	3786,07	0,000
organes	3	8043,64	2681,21	1,8E+04	0,000
Interaction	12	3044,76	253,73	1691,58	0,000
Erreur	40	6,00	0,15		
Total	59	13365,97			

ANOVA à deux facteurs contrôlés : protéine en fonction de Température froids; organes

Analyse de variance pour protéine

Source	DL	SC	CM	F	P
Températ	4	9,1701	2,2925	48,67	0,000
organes	3	28,6568	9,5523	202,81	0,000
Interaction	12	3,3449	0,2787	5,92	0,000
Erreur	40	1,8840	0,0471		
Total	59	43,0559			

ANOVA à deux facteurs contrôlés : sucre en fonction de Température chaud; organes

Analyse de variance pour sucre

Source	DL	SC	CM	F	P
Températ	4	1778600	444650	2689,79	0,000
organes	3	1702666	567555	3433,27	0,000
Interaction	12	796145	66345	401,34	0,000
Erreur	40	6612	165		
Total	59	4284024			

ANOVA à deux facteurs contrôlés : proline en fonction de Température chaud; organes

Analyse de variance pour proline

Source	DL	SC	CM	F	P
Températ	4	244,18	61,04	55,28	0,000
organes	3	826,53	275,51	249,51	0,000
Interaction	12	510,34	42,53	38,52	0,000
Erreur	40	44,17	1,10		
Total	59	1625,22			

ANOVA à deux facteurs contrôlés : protéines en fonction de Température chaud; organes

Analyse de variance pour protéine

Source	DL	SC	CM	F	P
Températ	4	2,9289	0,7322	49,73	0,000
organes	3	21,6227	7,2076	489,48	0,000
Interaction	12	4,2869	0,3572	24,26	0,000
Erreur	40	0,5890	0,0147		
Total	59	29,4275			

ANOVA à deux facteurs contrôlés : cha en fonction de Température chaud; organes

Analyse de variance pour cha

Source	DL	SC	CM	F	P
Températ	4	0,61641	0,15410	150,62	0,000
organes	1	0,82635	0,82635	807,66	0,000
Interaction	4	0,07048	0,01762	17,22	0,000
Erreur	20	0,02046	0,00102		
Total	29	1,53370			

ANOVA à deux facteurs contrôlés : chb en fonction de Température; organes

Analyse de variance pour chb

Source	DL	SC	CM	F	P
Températ	4	0,10394	0,02599	8,38	0,000
organes	1	0,07096	0,07096	22,89	0,000
Interaction	4	0,01892	0,00473	1,53	0,233
Erreur	20	0,06200	0,00310		
Total	29	0,25581			

ANOVA à deux facteurs contrôlés : ch total en fonction de Température chaud; organes

Analyse de variance pour cht

Source	DL	SC	CM	F	P
Températ	4	1,18564	0,29641	76,24	0,000
organes	1	1,38159	1,38159	355,35	0,000
Interaction	4	0,12390	0,03097	7,97	0,001
Erreur	20	0,07776	0,00389		
Total	29	2,76889			

ANOVA à deux facteurs contrôlés : cha/chb en fonction de Température chaud; organes

Analyse de variance pour cha/chb

Source	DL	SC	CM	F	P
Températ	4	6,026	1,507	3,08	0,040
organes	1	0,207	0,207	0,42	0,523
Interaction	4	6,746	1,686	3,45	0,027
Erreur	20	9,787	0,489		
Total	29	22,766			

ANOVA à deux facteurs contrôlés : ch a en fonction de Température froid; organes

Analyse de variance pour ch a

Source	DL	SC	CM	F	P
Températ	4	0,94861	0,23715	39,22	0,000
organes	1	0,58464	0,58464	96,68	0,000
Interaction	4	0,15311	0,03828	6,33	0,002
Erreur	20	0,12094	0,00605		
Total	29	1,80730			

ANOVA à deux facteurs contrôlés : ch b en fonction de Température froid; organes

Analyse de variance pour ch b

Source	DL	SC	CM	F	P
Températ	4	0,01152	0,00288	0,52	0,719
organes	1	0,04586	0,04586	8,35	0,009
Interaction	4	0,03788	0,00947	1,72	0,184
Erreur	20	0,10980	0,00549		
Total	29	0,20506			

ANOVA à deux facteurs contrôlés : ch t en fonction de Température froid; organes

Analyse de variance pour ch t

Source	DL	SC	CM	F	P
Températ	4	0,94861	0,23715	39,22	0,000
organes	1	0,58464	0,58464	96,68	0,000
Interaction	4	0,15311	0,03828	6,33	0,002
Erreur	20	0,12094	0,00605		
Total	29	1,80730			

ANOVA à deux facteurs contrôlés : cha/chb en fonction de Température froid; organes

Analyse de variance pour cha/chb

Source	DL	SC	CM	F	P
Températ	4	15,082	3,770	4,43	0,010
organes	1	0,339	0,339	0,40	0,535
Interaction	4	8,785	2,196	2,58	0,069
Erreur	20	17,022	0,851		
Total	29	41,227			

Annexe 07

AV1 saison (sucres):

Analyse de variance pour sucres

Source	DL	SC	CM	F	P
Saisons	3	1984231	661410	6,73	0,001
Erreur	44	4325213	98300		
Total	47	6309444			

AV1 saison(proline):

Analyse de variance pour Proline

Source	DL	SC	CM	F	P
Saisons	3	127,8	42,6	2,79	0,052
Erreur	44	672,7	15,3		
Total	47	800,5			

AV1 organes(proline):

Analyse de variance pour Proline

Source	DL	SC	CM	F	P
organes	2	280,8	140,4	12,16	0,000
Erreur	45	519,7	11,5		
Total	47	800,5			

ANOVA à un facteur contrôlé : ch (a) en fonction de saisons

Analyse de variance pour ch (a)

Source	DL	SC	CM	F	P
Saisons	3	1,00156	0,33385	332,75	0,000
Erreur	12	0,01204	0,00100		
Total	15	1,01360			

ANOVA à un facteur contrôlé : ch (b) en fonction de saisons

Analyse de variance pour ch (b)

Source	DL	SC	CM	F	P
Saisons	3	0,104146	0,034715	68,08	0,000
Erreur	12	0,006119	0,000510		
Total	15	0,110265			

ANOVA à un facteur contrôlé : ch totale en fonction de saisons

Analyse de variance pour ch total

Source	DL	SC	CM	F	P
Saisons	3	1,74564	0,58188	339,28	0,000
Erreur	12	0,02058	0,00172		
Total	15	1,76623			

ANOVA à un facteur contrôlé : ch (a)/ch(b) en fonction de saisons

Analyse de variance pour ch (a)/c

Source	DL	SC	CM	F	P
saisons	3	2,369	0,790	1,92	0,180
Erreur	12	4,937	0,411		

Liste des tableaux

- Tableau 1:** Caractères botaniques et biologiques des quatre espèces du cèdre
- Tableau 2 :** Données climatiques de Batna pour la période (1998-2007)
- Tableau 3:** Module pluviométrique (1998-2007) de la région de Batna
- Tableau 4 :** Régime saisonnier pour Batna (1998-2007).
- Tableau 5 :** Coefficient de fréquence des précipitations journalière pour Batna (1998-2007).
- Tableau 6 :** Moyennes mensuelles des températures (1998-2007) pour Batna
- Tableau 7:** Moyennes mensuelles de l'insolation (1998-2007)
- Tableau 8:** Valeurs du rapport P/T
- Tableau 9:** Variation annuelle du Q_2 sur une période de 10 ans
- Tableau 10 :** Résultats des coefficients correcteurs
- Tableau 11 :** Données pluviométriques corrigées pour les deux altitudes.
- Tableau 12 :** Corrections des températures mensuelles des deux altitudes
- Tableau 13:** Résultats du Q_2 pour les stations d'étude
- Tableau 14:** Températures minimales mensuelles de la région de Batna
- Tableau 15:** Températures maximales mensuelles de la région de Batna
- Tableau 16:** Durées et fréquences des températures fraîches inférieures à $m = -0.43^\circ\text{C}$ pour la région de Batna
- Tableau 17:** Durées et fréquences des hautes températures supérieures à $M = 36.22^\circ\text{C}$ pour la région de Batna
- Tableau 18:** Tableau des comparaisons des T_{\min} et T_{\max} pour les mois de la saison hivernale et du mois d'avril
- Tableau 19:** Tableau des comparaisons des T_{\min} et T_{\max} pour les mois de la saison estivale et du mois d'avril
- Tableau 20:** Tableau de comparaison des températures moyennes mensuelles pour chaque saison de 4 années
- Tableau 21:** Tableau de comparaison des (T_{\min} , T_{\max}) de la même saison entre les 4 années
- Tableau 22:** Amplitude thermique durant l'année 2008
- Tableau 23:** Paramètres statistiques des mesures morphologiques durant les saisons
- Tableau 24:** Groupes homogènes des sucres pour les températures froides
- Tableau 25:** Taux de variation des teneurs en sucres solubles pour les basses températures dans les différents organes des semis du cèdre de l'atlas.
- Tableau 26 :** Groupes homogènes des sucres dans les organes sous stress froid
- Tableau 27 :** Groupes homogènes des sucres pour les températures chaudes
- Tableau 28:** Taux de variation des teneurs en sucres solubles pour les hautes températures pour les différents organes des semis du cèdre de l'atlas.
- Tableau 29:** Paramètres statistiques des teneurs en sucres solubles pour les différentes températures ($\mu\text{mole/g MS}$)
- Tableau 30:** Groupes homogènes du taux en proline pour les températures froids
- Tableau 31:** Taux de variation des teneurs en proline pour les basses températures dans les différents organes des semis du cèdre de l'Atlas
- Tableau 32:** Groupes homogènes du taux en proline pour les organes sous stress froid
- Tableau 33:** Groupes homogènes du taux en proline pour les températures chaudes
- Tableau 34:** Taux de variation des teneurs en proline pour les hautes températures dans les différents organes des semis du cèdre de l'atlas
- Tableau 35:** Groupes homogènes du taux en proline pour les organes sous stress chaud
- Tableau 36:** Paramètres statistiques pour les différentes températures ($\mu\text{mole/g MS}$)
- Tableau 37:** Groupes homogènes des protéines pour les températures froides

Tableau 38: Taux de variation des teneurs en proline pour les basses températures dans les différents organes des semis du cèdre de l'atlas

Tableau 39: Groupes homogènes des protéines dans les organes sous stress froid

Tableau 40: Groupes homogènes des protéines pour les températures chaudes

Tableau 41 : Taux de variation des teneurs en protéines pour les hautes températures dans les organes des semis du cèdre de l'atlas.

Tableau 42 : Groupes homogènes des protéines pour les organes sous stress chaud

Tableau 43: Paramètres statistiques des teneurs en protéines totaux (Mg/g MF)

Tableau 44: Groupes homogènes des températures froids pour la ch(a)

Tableau 45 : Taux de variation de la chlorophylle (a)

Tableau 46: Taux de variation de la chlorophylle (b)

Tableau 47: Groupes homogènes des aiguilles pour la ch(a)

Tableau 48: Groupes homogènes de la ch total pour les basses températures

Tableau 49: Groupes homogènes du rapport a/b pour les températures froides

Tableau 50 : Taux de variation de la chlorophylle totale

Tableau 51: Groupes homogènes des aiguilles pour le stress du froid

Tableau 52: Taux de variation du rapport (a)/(b)

Tableau 53: Groupes homogènes de la ch(a) pour les hautes températures

Tableau 54: Groupes homogènes de la ch(b) pour les hautes températures

Tableau 55: Taux de variation de la chlorophylle (a)

Tableau 56: Groupes homogènes de la ch(a) des aiguilles sous stress chaud

Tableau 57: Taux de variation de la chlorophylle (b) pour les hautes températures dans les pousses des semis du cèdre de l'atlas.

Tableau 58: Groupes homogènes de la ch(b) des aiguilles sous stress chaud

Tableau 59: Groupes homogènes de la ch totale pour les hautes températures

Tableau 60: Taux de variation de la chlorophylle totale

Tableau 61: Groupes homogènes de la ch totale dans aiguilles sous stress chaud

Tableau 62: Taux de variation du rapport (a)/(b)

Tableau 63: Paramètres statistiques des teneurs en chlorophylle pour les différentes températures ($\mu\text{mole/mg MF}$)

Tableau 64: Taux de variation inter saisonnier en sucres solubles par rapport au témoin

Tableau 65: Groupes homogènes des sucres solubles durant les saisons

Tableau 66: Groupes homogènes des sucres solubles dans les organes

Tableau 67: Taux de variation inter saisonnier en proline par rapport au témoin

Tableau 68: Groupes homogènes de la proline durant les saisons

Tableau 69: Groupes homogènes du contenu en proline dans les organes

Tableau 70: Taux de variation inter saisonnier de la chlorophylle par rapport au témoin

Tableau 71: Groupes homogènes des chlorophylles durant les saisons

Liste des figures

- Figure 1:** Caractères botaniques
- Figure 2:** Localisation de *Cedrus atlantica* en Algérie
- Fig3:** Aire de répartition du Cèdre de l'Atlas en Algérie sur le climagramme d'EMBERGER
- Fig4:** Carte de situation de la zone d'étude «le massif du Belezma »
- Fig5:** Carte de végétation (DGF modifiée 2006)
- Figure6:** Moyenne des précipitations de la région de Batna
- Figure 7:** Répartition saisonnière des précipitations pour Batna
- Figure8:** Moyennes mensuelles des températures de la région de Batna
- Figure 9:** Moyennes mensuelles des températures extrêmes pour Batna (1998-2007)
- Figure 10:** Variation saisonnière des températures moyennes mensuelles
- Figure 11:** Moyenne mensuelle de l'humidité relative pour la région de Batna
- Figure 12:** Vitesse mensuelle moyenne des vents pour la région de Batna (1998-2007)
- Figure 13:** Diagramme Ombrothermique de la station de Batna
- Figure 14:** Climmagramme d'Emberger
- Figure15:** Variation du Q2 de la région de Batna pour la décennie (1998-2007)
- Figure 16:** Facteurs conditionnant la réponse de la plante à un stress
- Figure 17 :** La voie de transduction d'un signal de réponse à un stress abiotique chez la plante
- Figure 18:** Voies de perception du stress d'après Kasperska, 2004
- Figure 19:** Schéma de l'emboîtement des structures de l'appareil photosynthétique
- Figure 20:** Action des températures sur les pools protéiques et lipidiques cellulaires
- Figure 21:** Bilan métabolique général d'une plante en fonction de la température
- Figure22:** Fréquences et durées des températures fraîches de la région de Batna
- Figure23:** Fréquences et durées des températures chaudes de la région de Batna
- Figure 24:** Variabilité des températures minimales moyennes de la saison hivernale 2005-2008
- Figure 25:** Variabilité des températures minimales moyennes de la saison estivale 2005-2008
- Figure26:**Variation et courbe de régression des températures tri horaire de l'année 2008
- Figure27:**Courbe de régression des températures maximales et minimales en fonction des saisons de la région de Batna
- Figure 28:** Cinétique des stress de la saison hivernale
- Figure 29:** Cinétique des stress de la saison estivale
- Figure30:** Graphes de la longueur de la partie aérienne
- Figure 31:** Variation du poids de la partie aérienne des semis de cèdre en conditions naturelles dans la région de Batna
- Figure32 :** Variation du poids de la partie souterraine des semis de cèdre en conditions naturelles dans la région de Batna
- Figure 33:** Variation du PR/PA
- Figure34:** Taux d'accumulation des sucres solubles sous stress thermique froid
- Figure35:** Variation des teneurs en sucres solubles sous contrainte thermique froid dans les différents organes des semis du cèdre de l'atlas.
- Figure 36:** Taux d'accumulation des sucres solubles sous différents niveaux de stress thermique chaud
- Figure 37:** Variation des teneurs en sucres solubles durant le stress des hautes températures dans les différents organes des semis du cèdre de l'atlas
- Figure 38:** Cumul des sucres solubles dans la plante sous stress thermique
- Figure 39:**Variation de l'accumulation de la proline dans les semis du cèdre de l'atlas soumis à différents niveaux de stress thermique froid.

Figure 40: Variation des teneurs en proline sous stress froid pour les différents organes des semis du cèdre de l'atlas

Figure 41: Variation de l'accumulation de la proline chez les semis du cèdre de l'atlas soumis au stress chaud

Figure 42: Variation des teneurs en proline durant le stress du chaud pour les différents organes des semis du cèdre de l'atlas

Figure 43: Cumul de la proline dans la plante sous stress thermique

Figure 44 : Variation de la teneur en protéines totales chez les semis du cèdre de l'Atlas soumis à un stress froid.

Figure 45: Variation des teneurs en protéines chez les semis du cèdre de l'Atlas soumis à un stress froid.

Figure 46 : Variation de la teneur en protéines totales dans les semis du cèdre de l'Atlas soumis à un stress chaud

Figure 47: Variation des teneurs en protéines totales durant le stress du chaud dans les organes des semis du cèdre de l'atlas

Figure 48: Cumul des protéines totales dans la plante sous stress thermique

Figure 49: Variation des chlorophylles (a,b) durant le stress du froid des semis de cèdre de l'Atlas

Figure 50: Variation de la chlorophylle totale et du rapport a/b durant le stress des semis de cèdre de l'Atlas soumise a températures froides.

Figure 51: Variation de la chlorophylle (a,b) durant le stress du chaud pour les semis du cèdre de l'Atlas.

Figure 52: Variation de la chlorophylle totale et du rapport (a)/(b) pour les semis du cèdre de l'Atlas soumis à un stress chaud

Figure 53: Cumul dans la plante sous stress thermique

Figure 54: Variation inter saisonnière des teneurs en sucres solubles dans les différents organes des semis de cèdre de l'Atlas

Figure 55: Cumul saisonnier dans la plante entière

Figure 56: Variation inter saisonnière des teneurs en proline dans les différents organes

Figure 57: Cumul saisonnier de la proline au niveau de la plante entière

Figure 58: Variation inter saisonnière des teneurs en chlorophylle dans les aiguilles de la 1^{ère} pousse de croissance des semis de cèdre

Liste des abréviations

LT: longueur tige.

PSA: poids sec de la partie aérienne.

PSFA: Poids frais de la partie aérienne.

PSR: poids sec de la partie racinaire.

PSFR: Poids frais de la partie racinaire.

PSR/PSA: poids sec racinaire/ poids sec aérienne.

P1: 1^{ère} pousse de croissance.

P2: 2^{ème} pousse de croissance.

T: tige.

R: racine.

MS: matière sèche.

MF: matière fraîche.

Tmin: température minimale.

Tmax: température maximale.

Rs: résistance stomatique.

Résumé:

Les perturbations naturelles et humaines mais également les changements attendus pour le siècle à venir risquent de modifier substantiellement et durablement l'ensemble des écosystèmes et leur diversité. Les changements climatiques futurs auront probablement un impact irréversible. L'adaptation des espèces arborées composant ces écosystèmes pourrait s'avérer difficile car la vitesse du changement climatique pourrait ne pas leur permettre de migrer progressivement vers des aires plus favorables. Dans cette optique, notre travail s'articule sur le volet des capacités adaptatives et de tolérance des semis du cèdre de l'Atlas en conditions de stress thermique dans la région de Batna et en conditions semi-contrôlées où les plantes subissent un choc thermique d'une durée de trois heures à des températures comprises entre -10°C et 44°C .

La région de Batna bénéficie d'un climat méditerranéen semi aride froid avec un $Q_2=32$, $m=-0.43^{\circ}\text{C}$ et $M=36.22^{\circ}\text{C}$. La région d'étude a été traitée sur le plan thermique et révélée une multitude de stress hivernaux, printanier et estivale. L'accumulation des différents osmolytes (sucres solubles, proline, protéines) montre une prédominance dans les nouvelles pousses, anciennes pousses, tiges et racines. La chlorophylle totale subit une baisse de l'ordre de 50% essentiellement dans les nouvelles pousses. La régulation stomatique se manifeste par une fermeture à 12h à des températures voisines de 34°C .

Le stress appliqué naturellement où expérimentalement a induit des modifications structurales se répercutant sur les variations d'accumulation des différents osmolytes ainsi que la chlorophylle témoignant ainsi de la capacité d'adaptation au stress thermique. La gamme de températures -6°C , -10°C et $+44^{\circ}\text{C}$ se caractérise par les plus important taux en osmolytes au niveau des organes des semis

Mots clés: *Cedrus atlantica*, stress thermique, proline, sucres solubles, chlorophylle, protéines solubles.

Abstract:

Natural disturbances and human but also the changes expected for the next century are likely to substantially and permanently alter ecosystems and their diversity. Future climate changes are likely having an irreversible impact. The adaptation of tree species composing these ecosystems may be difficult because the speed of climate change may not allow them to gradually migrate to more favorable areas. In this context, our work focuses on the aspect of adaptive capacity and tolerance of seedlings of cedar Atlas under conditions of heat stress in the region of Batna and semi-controlled conditions where the plants suffer a thermal shock a period of three hours at temperatures between -10°C and 44°C .

Batna region enjoys a Mediterranean semi-arid climate with a cold $Q_2 = 32$, $m = -0.43^{\circ}\text{C}$ and $M = 36.22^{\circ}\text{C}$. The study area was treated on the thermal and revealed a multitude of stress winter, spring and summer. The accumulation of various osmolytes (soluble sugars, proline, and protein) shows predominance in the new shoots, old shoots, stems and roots. Chlorophyll undergoes a total decline of 50% mainly in the new shoots. Stomatal regulation is manifested by a closure 12h at temperature close to 34°C .

The applied stress naturally or experimentally induced structural changes affecting the variations in accumulation of various osmolytes and chlorophyll thus demonstrating the ability to adapt to heat stress. The temperature range -6°C , -10°C and 44°C is characterized by the most important concentration of osmolytes in the organs of seedlings

Keywords: *Cedrus atlantica*, heat stress, proline, soluble sugars, chlorophyll, soluble proteins.

:
 ù ù ù ù ù ù
 ù ù
 .M=36.22°C m=-0.43°C, Q2 = 32
 ù
 .C ° 44 10-
 ù
 (ù ù) osmolytes
 ò 50 ù ù
 . 34°C 12
 ù ù osmolytes
 -,-6°C osmolytes ù +44°C 10°C
 ù :

Nom : Abdessemed
Prénom : Sanna

Date de soutenance :

Comportement des semis du Cèdre de l'Atlas en conditions de stress thermique

RÉSUMÉ

Les perturbations naturelles et humaines mais également les changements attendus pour le siècle à venir risquent de modifier substantiellement et durablement l'ensemble des écosystèmes et leur diversité. Les changements climatiques futurs auront probablement un impact irréversible. L'adaptation des espèces arborées composant ces écosystèmes pourrait s'avérer difficile car la vitesse du changement climatique pourrait ne pas leur permettre de migrer progressivement vers des aires plus favorables. Dans cette optique, notre travail s'articule sur le volet des capacités adaptatives et de tolérance des semis du cèdre de l'Atlas en conditions de stress thermique dans la région de Batna et en conditions semi-contrôlées où les plantes subissent un choc thermique d'une durée de trois heures à des températures comprises entre -10°C et 44°C .

La région de Batna bénéficie d'un climat méditerranéen semi aride froid avec un $Q_2 = 32$, $m = -0.43^{\circ}\text{C}$ et $M = 36.22^{\circ}\text{C}$. La région d'étude a été traitée sur le plan thermique et révélée une multitude de stress hivernaux, printanier et estivale. L'accumulation des différents osmolytes (sucres solubles, proline, protéines) montre une prédominance dans les nouvelles pousses, anciennes pousses, tiges et racines. La chlorophylle totale subit une baisse de l'ordre de 50% essentiellement dans les nouvelles pousses. La régulation stomatique se manifeste par une fermeture à 12h à des températures voisines de 34°C .

Le stress appliqué naturellement où expérimentalement a induit des modifications structurales se répercutant sur les variations d'accumulation des différents osmolytes ainsi que la chlorophylle témoignant ainsi de la capacité d'adaptation au stress thermique. La gamme de températures -6°C , -10°C et $+44^{\circ}\text{C}$ se caractérise par les plus important taux en osmolytes au niveau des organes des semis

Mots clés: *Cedrus atlantica*, stress thermique, proline, sucres solubles, chlorophylle, protéines solubles.

Laboratoire de recherche : Développement et Valorisation des Ressources Phytogénétiques