



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SASSARI
Facoltà di Agraria

*Dottorato di Ricerca in Agrometeorologia ed Ecofisiologia
dei Sistemi Agrari e Forestali*

XX ciclo

**ADAPTABILITE DES ESPECES DU GENRE *ATRIPLEX*
AUX CONDITIONS DE SALINITE ET D'ARIDITE**

Coordinatore:

Chiar.mo Prof. Pietro Deidda

Dottorando: Dott.ssa Oumelkheir Belkheiri

Docente guida:

Prof. Maurizio Mulas

Anno Accademico 2007/2008

A la mémoire de mon père

A tous ceux qui me sont chers

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé à la station expérimentale du département d'Economie et des Systèmes Arborés DESA sise à Fenosu, Oristano et aux laboratoires du DESA, d'Agropédologie et de Zootechnie de la faculté d'agriculture de l'université de Sassari, sous la direction du Pr. Maurizio Mulas, Professeur au DESA, Section Ecosystèmes Agraires et Arborés. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour m'avoir fait bénéficier de ses connaissances et de sa grande expérience ainsi que pour la confiance qu'il a bien voulu m'accorder en me proposant ce sujet.

Ce travail n'aurait pas vu le jour sans le soutien financier du ministère des affaires étrangères Italien sollicité par le Pr. Giuseppe Enne que je tiens spécialement à remercier pour m'avoir accueillie au sein du Nucleo Ricerca alla deserificazione NRD, pour l'intérêt qu'il a manifesté envers mon travail et pour son soutien moral tout au long de mon parcours. Merci pour tout.

Je tiens à remercier vivement Pr. Pietro Deidda et Pr. Innocenza Chessa pour avoir accepté d'examiner ce travail et pour leur conseils très constructifs. Merci encore.

Mes vifs remerciements vont aussi à Pr. Antonello Cannas, directeur du département de Zootechnie pour son appui scientifique, Mr. Roberto Rubato pour m'avoir encadrée et orientée et à tout le personnel du département de zootechnie, pour leur aide et soutien durant mon bref séjour au laboratoire d'analyses des aliments.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Mario Deroma du département d'agropédologie pour son aide précieuse lors de la réalisation du travail expérimental.

Je n'oublie certainement pas de remercier Mr. Giovanni Ligios et Mr Filippo Viridis du laboratoire de chimie du DESA pour leur aide et leur patience durant mon travail expérimental.

Un grand merci à Giovanna Seddaiu et Luigi Ledda pour leur aide précieuse malgré leur emploi du temps toujours chargé.

Un grand merci à tous mes amis, thésards, travailleurs et stagiaires de la faculté d'agriculture et tout particulièrement à Rita Melis pour son soutien moral et logistique, Michele Salis pour sa sympathie et sa gentillesse, Serena, Maurizio, Giovanni et Mauro pour m'avoir fait sentir que j'étais parmi les miens. Merci encore.

Je prie tout le personnel de la station expérimentale d'Oristano de trouver ici l'expression de ma profonde gratitude pour leur participation effective à la réalisation de ce travail.

Je remercie tout le staff du NRD et particulièrement mes amis Helmi Saidi pour son appui technique, Roberta Lobina, Nawal El Azhari, Davide Bellavite, Marcello Lubino pour leur aide, leur soutien de tous les instants et leurs encouragements.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail et que je n'ai pas cités me pardonnent et trouvent exprimés ici mes vifs remerciements.

ABSTRACT

Plants have had to cope with periodic, unpredictable environmental stresses during growth and development. Surviving such stresses over a long evolutionary scale led plants to acquire mechanisms allowing them to sensitively perceive stresses and regulate their physiology accordingly.

In the arid and semi arid regions of the world, shrubs surviving in saline soils have been the subject of considerable research. They have been evaluated as alternative sources of forage for livestock. Thus, Rehabilitation of rangelands with shrubs can add to feed resources and stop land degradation.

The genus *Atriplex* (Chenopodiaceae) is a perennial halophyte which is distributed all over the world and widely used in rehabilitation programs. *Atriplex spp* are strong candidates for cultivation because of their adaptation to the climate and soil and mainly for their nutritive value for grazing animals during the hardest periods of the year.

The aim of this study is to evaluate the adaptability of two species, *A. nummularia* et *A. halimus* to conditions of drought and salinity under controlled and field conditions. The effect of two irrigation regimes and of an increasing salinity were tested. Moreover, propagation, cutting intensities to simulate browsing, nutritive value, growth under rainfed conditions of 30 clones of *A. halimus* were studied to select some clones with both good nutritive value and abiotic stress resistance to act upon plant improvement programs for salinity and drought conditions

RIASSUNTO

Le piante durante il loro accrescimento e sviluppo devono affrontare periodici e non prevedibili stress ambientali. La sopravvivenza a tali stress su lunga scala evolutiva porta le piante ad acquisire meccanismi attraverso i quali possono percepire con sensibilità gli stress e regolare di conseguenza la loro fisiologia.

Nelle aree aride e semi-aride del mondo, gli arbusti che possono sopravvivere nei suoli salmastri sono stati oggetto di considerevole studio. Sono stati valutati come fonti alternative di foraggio per il bestiame. Così, il recupero delle aree a pascolo con arbusti può incrementare le risorse alimentari e fermare la degradazione del suolo.

Il genere *Atriplex* (Chenopodiaceae) include delle specie alofite perenni che sono distribuite in tutto il mondo e diffusamente impiegate nei programmi di ripristino. Le diverse specie d'*Atriplex* sono fortemente candidate alla coltivazione a causa del loro adattamento al clima e suolo di queste aree marginali e soprattutto per il loro valore nutritivo per gli animali al pascolo durante i periodi peggiori dell'anno.

L'obiettivo di questo studio è stato di valutare l'adattamento di due specie, *A. nummularia* e *A. halimus*, alla siccità e salinità in condizioni controllate e di campo. Sono stati valutati gli effetti di due regimi irrigui e di crescenti livelli di concentrazione salina. Inoltre su 30 cloni d'*A. halimus* allevati in condizioni asciutte, sono state studiate: la capacità di propagazione, la risposta a differenti intensità d'uso, il valore nutritivo e la resistenza agli stress abiotici al fine di condurre programmi di miglioramento in condizioni di salinità e siccità.

Plan de la thèse

ABSTRACT	I
RIASSUNTO	II
INTRODUCTION	1
A) LA DESERTIFICATION DANS LE MONDE: CAUSES DYNAMIQUES ET REPERCUSSIONS SOCIALES ET ECONOMIQUES:	8
I) CAUSES DE LA DESERTIFICATION	8
(1) <i>Causes directes</i>	8
(2) <i>Causes indirectes</i>	11
II) DYNAMIQUES ET REPERCUSSIONS SOCIALES ET ECONOMIQUES :	12
B) LA LUTTE A LA DESERTIFICATION UTILISANT DES RESSOURCES VEGETALES: LES ESPECES ET LEURS UTILISATIONS STRATEGIQUES:	13
I) SOLUTIONS ENVISAGEES POUR LUTTER CONTRE LA DESERTIFICATION ET SON AVANCEMENT ..	13
(1) <i>Les modes de vie traditionnels</i>	16
(2) <i>Reboisement</i>	16
II) LACUNES DANS LES CONNAISSANCES	23
LE GENRE ATRIPLEX	25
1. <i>Les espèces A. nummularia et A. halimus: taxonomie et caractères botaniques</i>	27
2. <i>Ecologie et aires de répartition</i>	28
3. <i>Intérêt, production et utilisation</i>	30
COMPORTEMENT DES PLANTES VIS-A-VIS D'UNE CONTRAINTE ABIOTIQUE	34
1. <i>Comportement vis-à-vis d'un stress hydrique (bilan hydrique, potentiel, contenu en eau)</i> ...35	
1.1. <i>Effet du déficit hydrique sur les plantes</i>	35
1.2. <i>Stratégies de la plante: Mécanismes de résistance</i>	36
1.2.1. <i>Evitement et tolérance de potentiel hydrique ψ_w bas</i>	36
1.2.2. <i>Evitement de la déshydratation</i>	37
1.2.3. <i>Tolérance de la déshydratation</i>	42
2. <i>Comportement vis à vis d'un stress salin</i>	42
2.1. <i>Similitudes et différences entre stress hydrique, stress salin et d'autres stress abiotiques</i> ...42	
3. <i>Comportement du genre Atriplex face au stress abiotiques</i>	47
OBJECTIFS DE LA THESE	54
1. <i>Objectifs généraux</i> :.....	54
2. <i>Objectifs spécifiques</i>	55
MATERIEL ET METHODES	57
1. <i>Matériel végétal</i>	57
2. <i>Méthodes</i>	59
2.1. <i>Propagation</i>	59
2.2. <i>Culture sur terrain: Paramètres mesurés</i>	59
2.2.1. <i>Stades phénologiques</i> :	59
2.2.2. <i>Analyses quantitatives et qualitatives de la biomasse produite</i>	60
2.2.2.1. <i>Analyses physiques</i> :	61
2.2.2.2. <i>Analyses qualitatives et nutritionnelles</i>	62
2.2.3. <i>Simulation du broutage</i> :	64
2.2.4. <i>Variabilités phénotypiques liées à la distance géographique</i>	65
2.3. <i>Culture dans les vases</i>	65
2.3.1. <i>Stress Hydrique (Paramètres mesurés)</i>	65
2.3.1.1. <i>Efficacité d'Utilisation de l'Eau WUE</i>	66
2.3.1.2. <i>Croissance et relations hydriques</i>	68
2.3.1.3. <i>Dosage de l'acide abscissique ABA</i>	70
2.3.1.4. <i>Dosage des sucres totaux</i>	71

2.3.2.	<i>Stress Salin (Paramètres mesurés)</i>	71
2.3.2.1.	<i>Croissance et relations hydriques</i>	74
2.3.2.2.	<i>Dosage des ions accumulés</i>	74
2.3.3.	<i>Stress Salin et hydrique</i>	75
RESULTATS ET DISCUSSIONS		77
1.	<i>Propagation</i>	77
2.	<i>Culture sur terrain</i>	81
2.1.	<i>Stades Phénologiques</i>	81
2.2.	<i>Evaluation fourragère et Simulation du broutage</i>	81
2.3.	<i>Evaluation quantitative et qualitative de l'offre fourragère des clones coupés</i>	87
2.3.1.	<i>Analyses qualitatives</i>	18
2.4.	<i>Variations phénologiques liées à la distance géographique</i>	23
3.	<i>Culture dans les vases</i>	27
3.1.	<i>Stress hydrique</i>	27
3.1.1.	<i>Efficacité de l'utilisation de l'eau WUE</i>	27
3.1.2.	<i>Croissance et relations hydriques</i>	28
3.1.3.	<i>Dosage de l'acide abscissique ABA</i>	42
3.1.4.	<i>Dosage des sucres totaux :</i>	42
3.2.	<i>Stress salin</i>	43
3.2.1.	<i>Relations hydriques et mesure des paramètres de croissance</i>	43
3.2.2.	<i>Accumulation de sels dans les feuilles et les racines</i>	60
3.2.3.	<i>Dosage de la proline</i>	72
3.3.	<i>Stress hydrique et salin conjugués</i>	73
3.3.1.	<i>Relations hydriques et mesures de la croissance</i>	73
CONCLUSIONS		76
BIBLIOGRAPHIE		80

INTRODUCTION

La désertification est un sujet abordé, traité et maltraité par toutes les conférences nationales et internationales sur l'environnement. Résultat parfois évident, souvent insidieux de la dégradation du milieu, cette désertification est difficilement appréhendée et vigoureusement médiatisée. L'analyse des causes de la désertification est fortement documentée. Nous avons cependant parfois bien du mal à évaluer le niveau de dégradation des milieux; dégradés, par rapport à quoi, à quelle référence, à quel pas de temps, à quelle échelle? En analysant quoi: le sol, la végétation, la faune, etc?

La dégradation des parcours dans les zones semi-arides et arides est fortement médiatisée mais mal appréhendée. Vue sous un angle écologique, elle se manifeste par une évolution de la végétation s'éloignant d'une forme climacique. Malheureusement en zone aride on ne connaît pas bien le climax. On sait seulement que la dégradation suit à peu près le schéma suivant: espèces appétibles → espèces moins appétibles → espèces envahissantes → dégradation du couvert végétal → désertification.

La dégradation des terres se matérialise sous forme d'appauvrissement du couvert végétal, la perte biophysique et économique à travers l'exposition de la surface du sol au vent et à l'érosion hydrique et à travers la salinisation et les inondations induisant la détérioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Elle se produit donc lorsque les sols sont fragiles, le couvert végétal amenuisé et le climat particulièrement impitoyable. Il est à noter que beaucoup d'environnements humides peuvent être touchés par la désertification suite à la déforestation provoquant l'érosion des sols. Dans la pratique, la dégradation fait référence aux pertes d'usage ou de ressources. On parle de dégradation pastorale lorsque l'évolution de la végétation se traduit par une diminution de la valeur pastorale.

L'extension des cultures au nord comme au sud du Sahara fragilise les sols pour des récoltes très incertaines. On dit que des systèmes agricoles ne sont pas durables, mais les systèmes pastoraux ne le sont guère plus puisque les pâturages se dégradent car les ressources naturelles sont sollicitées à l'excès par une dynamique « plus de résidus

de culture disponibles, plus d'animaux possibles; Plus d'animaux possibles – plus de résidus de culture nécessaires et donc plus de dégradation des parcours restants ».

La vie pastorale se caractérise par l'adaptation continue au risque climatique et à une incertitude allant du climatique au politique.

Les zones arides du monde sont les plus concernés par la désertification, ils englobent les régions hyper aride, arides et semi-arides qui couvrent 34% de la surface du globe terrestre (El Baltagy , 1999). Ces régions sont habitées par un cinquième de la population mondiale. Entre 1991 et 2000, les sécheresses ont entraîné la mort de plus de 280 000 personnes; elles représentent 11% de l'ensemble des catastrophes naturelles liées à l'eau. Comme les terres sèches couvrent jusqu'à 40 % de la surface de la Terre, plus de 110 pays peuvent être à risque.

La Convention des Nations Unies pour la lutte à la sécheresse et à la Désertification a été adoptée à Paris en Juin 1994 et ratifiée en Italie avec la loi n. 170 du 4 Juin 1997. Actuellement, plus de 190 pays font partie de cette convention. Pour l'implémentation de la convention et la préparation de l'action programme nationale dans le cadre du bassin méditerranéen, le gouvernement Italien a établi le Comité National Italien pour la lutte contre la sécheresse et la désertification en date du 26 septembre 1997. Les principales interventions requis en Italie sont les actions de récupération des sols dégradés causés par les processus d'érosion et de salinisation ainsi que des actions concernant la promotion de plans pour la gestion durable des ressources hydriques et des forêts (Anna, 2003).

L'UNCCD (Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification) définit la désertification comme la dégradation des sols dans les zones arides, semi-arides et sub-humides sèches. Elle est le produit de plusieurs facteurs dont le changement climatique et les activités humaines.

L'alimentation des moutons sur la steppe avec de l'orge importée est vue par beaucoup comme une cause majeure de la surexploitation du parcours dans les pays du WANA (West Asia et Nord Africa) et l'on peut se demander s'il est admissible de

continuer à faciliter cet élevage « hors sol » sur la steppe: C'est donc le bas prix de l'orge (subvention par les états) qui permet d'artificialiser le système d'alimentation des moutons.

Le développement des activités agricoles sur les espaces jadis essentiellement pastoraux fait évoluer le pastoralisme vers l'agro pastoralisme. Des ajustements nécessaires des relations entre acteurs, des règles juridiques et des pratiques d'élevage se mettent en place. Ces évolutions sont-elles inéluctables? Quelles en sont les conséquences environnementales? Comment favoriser cette dynamique dans des conditions durables?

La distribution irrégulière des ressources hydriques dans le monde conjointement au manque de pratiques de gestion rationnelle appropriée a mené à des nombreux problèmes de qualité et de quantité de l'eau. Les besoins d'irrigation sont plus hauts dans les climats semi arides et arides où les déficits de l'humidité des sols en été sont en continuelle augmentation, au moins en terme de nombre d'années sèches. La question d'eau phréatique est probablement destinée à augmenter particulièrement dans le secteur de l'agriculture. Les changements dans la recharge naturelle des réserves d'eau dépendront des complexes dynamiques locales d'utilisation des terres et des facteurs climatiques (Yassoglou *et al.*, 2003).

Dans les zones arides et semi arides du Nord Afrique, les petits ruminants sont alimentés principalement sur les pâturages. Pendant les dernières trois décades, la contribution des pâturages aux besoins du bétail est diminuée du 70-80 à 10-25%. L'expansion dans la population des petits ruminants a mené à des changements significatifs dans les systèmes extensifs de production. Le niveau des ressources de l'alimentation des animaux s'est réduit suite au surpâturage, à l'arrachage de végétation naturelle pour obtenir le bois de chauffe, à l'érosion des sols et la dégradation des terrains (EL Mourid, 2001).

En effet, la coupe des arbres pour obtenir le bois de chauffe ajoutée aux politiques inadéquates pour l'usage des terres ont contribué à la dégradation des pâturages et ont intensifié les fluctuations saisonnières en termes de disponibilité de

fouillage (Laihacar *et al.*, 1999). On assiste à un ensablement progressif qui va du « voile éolien » dans quelques zones à la formation des vraies dunes dans d'autres.

La réduction de la couverture végétale et le changement de la composition floristique sont des éléments qui caractérisent le développement régressif de ces zones, ce qui génère un environnement qui ressemble au désert, d'où le terme de désertification.

Les liens entre désertification et biodiversité restent méconnus. La désertification est globalement assimilée à une simplification des écosystèmes et à une homogénéisation de la flore, mais l'étude du nombre total d'espèces ne permet pas de caractériser différents états de désertification. Les espèces domestiquées, animales et végétales, sont adaptées aux aléas climatiques des régions semi-arides et la conservation des variétés et de leur qualité implique les sociétés dans leur rapport au milieu naturel.

A l'échelle régionale, des liens entre le changement climatique et la désertification pourraient être établis à partir de la pluviométrie. Dans les régions sahéliennes et méditerranéennes, les précipitations semblent devenir plus variables, ce qui augmente les risques d'érosion et de désertification. Au plan local, certaines techniques de Lutte Contre la Désertification (LCD) contribuent à la fixation de carbone dans les sols, le dioxyde de carbone étant l'un des principaux gaz à effet de serre. Les modes locaux d'usage des ressources permettent de caractériser certains liens entre la désertification et les phénomènes d'environnement mondial, par exemple la biodiversité et le changement climatique (Desjardins *et al.*, 2002)

La dégradation des terres progresse à un taux alarmant. Le Programme des Nations Unies pour l'environnement estime que la dégradation des terres dans les régions arides touche directement 250 millions d'êtres humains et qu'au total, plus d'un milliard d'humains sont à risque. Les effets et les conséquences de la désertification sont bien connus et comprennent la perte de la végétation, l'érosion éolienne et hydrique, la perte ou l'appauvrissement des ressources en terres, la baisse de la production et de la productivité alimentaire, l'insécurité alimentaire, la perte de la biodiversité, y compris les plantes médicinales, les catastrophes liées au climat, y compris les risques pour la santé que posent les mouvements de poussières.

On a tenté à plusieurs reprises de quantifier les répercussions économiques de la désertification, le manque à gagner découlant de la dégradation des terres et le coût de la lutte et des efforts de rétablissement des terres touchées. Les terres désertifiées ne peuvent pas toutes être rétablies économiquement: ils estiment en effet que la réhabilitation des terres désertifiées ne serait rentable que dans 52% des cas. Ils croient par ailleurs qu'en ne réhabilitant pas ces terres, on perd des revenus potentiels annuels de 28 millions de dollars, tandis que le coût annuel de la réhabilitation s'élèverait à 11 milliards de dollars. Ils en concluent que les avantages sont deux fois et demie plus élevés que les coûts.

Les estimations produites par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) sont du même ordre, établissant les coûts de réhabilitation à environ 10 à 22,4 milliards de dollars, représentant environ la moitié du manque à gagner (45 milliards de dollars) découlant de la désertification. Il convient de noter qu'aucune de ces estimations ne tenait compte des coûts, difficiles à évaluer, de la misère soufferte par les populations touchées.

Tableau 1. Superficie des régions touchées ou en danger d'être touchées par la désertification

Source: FAO/Unesco/OMM. Carte mondiale de la désertification, 1977

Degré de risque de désertification	Amérique du Sud		Amérique du Nord et centrale		Afrique		Asie		Australie		Europe	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Très élevé	414 195	2.3	163 191	0.7	1 725 165	5.7	790 312	1.8	307 732	4	48 957	0.5
Elevé	1 261 235	7.1	1 312 524	5.4	4 910 503	16.2	7 253 464	16.5	1 722 056	22	-	-
Modéré	602 383	9.0	2 854 293	11.8	3 740 966	12.3	5 607 563	12.8	3 712 213	48	189 612	1.8
Désert extrême	200 492	1.1	32 638	0.1	6 177 956	20.4	1 580 624	3.6	-	-	-	-

Tableau 2. Zones arides en Afrique et dans les Pays en Voie de Développement (PVD).

	Hyper- aride	Aride, aride et humide	semi- et sub-	TOTAL
AFRIQUE	706	1439		2145
Pays industrialisés	0	119		119
P.V.D.	706	1320		2026

Belkheiri Oumelkheir, Adaptabilité des espèces du genre Atriplex aux conditions de salinité et d'aridité, Tesi di Dottorato in Agrometeorologia ed Ecofisiologia dei Sistemi Agrari e Forestali, Università di Sassari

L'assertion selon laquelle la désertification est un problème du Sud, dont les répercussions non locales sont négligeables, doit être réexaminée à la lumière de récents indices de mouvements transcontinentaux de poussières. La désertification n'est pas considérée comme un problème environnemental mondial, apparemment parce qu'elle ne répond pas au "critère transfrontalier": on n'a pas pu établir de relation de cause à effet prouvant que son action sur un territoire provoque des dommages environnementaux dans un autre territoire ou au patrimoine naturel mondial. Les phénomènes environnementaux qui répondent actuellement à ce critère sont la réduction de l'ozone, la biodiversité (perte pour l'humanité), la déforestation de l'Amazonie (réduction du puits de carbone). Pourtant, des indices récents permettent de croire que la désertification a des effets lointains dus au mouvement transcontinental des poussières, qui en font une préoccupation environnementale de portée mondiale.

Apparemment, plus de 100 millions de tonnes de poussières sont soufflées chaque année vers l'Ouest, au-dessus de l'Atlantique, en provenance des terres désertifiées de l'Afrique. Plus récemment, on a affirmé qu'il existe une forte corrélation entre le climat estival au Sahel et la fréquence et l'intensité des ouragans qui se forment dans la partie orientale de l'Atlantique. Ces auteurs soutiennent, en se fondant sur un modèle actuellement à l'essai, que l'air chargé de poussières du Sahel est une importante source d'énergie qui intervient dans la formation et le maintien des ouragans au-dessus de l'Atlantique. Ils aboutissent à la conclusion que si le modèle s'avère exact, il prouverait que la poussière du Sahel constitue un facteur causal des dommages matériels et économiques évalués en milliards de dollars qui se produisent aux États-Unis et dans les Antilles, sans compter les coûts sociaux et humains. Il y a donc de fortes preuves de la nature transfrontalière de la désertification, qui démentent le mythe qu'il s'agit strictement d'un problème du Sud. Les zones arides et hyper arides ralentissent énormément le développement, comme le montre ce tableau. Les calculs, sur la base des cartes établies par la FAO, l'UNESCO et la WMO montrent les surfaces de terrain sec en Afrique, en millions d'hectares:

- A) La désertification dans le monde: Causes dynamiques et répercussions sociales et économiques:

I) Causes de la désertification

(1) Causes directes

Climat

Le débat sur le lien entre le changement de climat ou les variations climatiques et la désertification n'est pas concluant. Certains penchent vers un lien direct lorsqu'ils ont trouvé qu'environ 70% de la désertification est attribuable à des événements naturels incontrôlables, tels que les événements climatiques et la croissance démographique, et ont de ce fait préconisé des recherches sur le climat et la population pour faire face au problème. Une équipe de recherche sur le Soudan a conclu, entre autres, que tous les changements généralisés de la couverture végétale qui s'étaient produits pouvaient être expliqués par les variations climatiques et que les variations de rendement étaient essentiellement attribuables aux variations climatiques plutôt qu'à une tendance séculaire. D'autres cependant étaient d'avis qu'il n'existait pas d'ensemble adéquat de données à long terme pour appuyer de telles relations causales entre le changement climatique et la désertification. Néanmoins, il y a certains indices d'une aridité croissante au Sahel au cours des deux ou trois dernières décennies, et une interaction bilatérale entre la sécheresse et la désertification est manifeste. Selon d'autres scientifiques, la sécheresse peut accélérer la dégradation des terres en réduisant l'apport en eau dans un système déjà déséquilibré par suite d'une exploitation abusive. La dégradation des terres peut, à son tour, contribuer à la sécheresse par des mécanismes de rétroaction mettant en jeu l'albédo de la surface, l'humidité du sol et peut-être la poussière. (Bieth *et al.*, 2002)

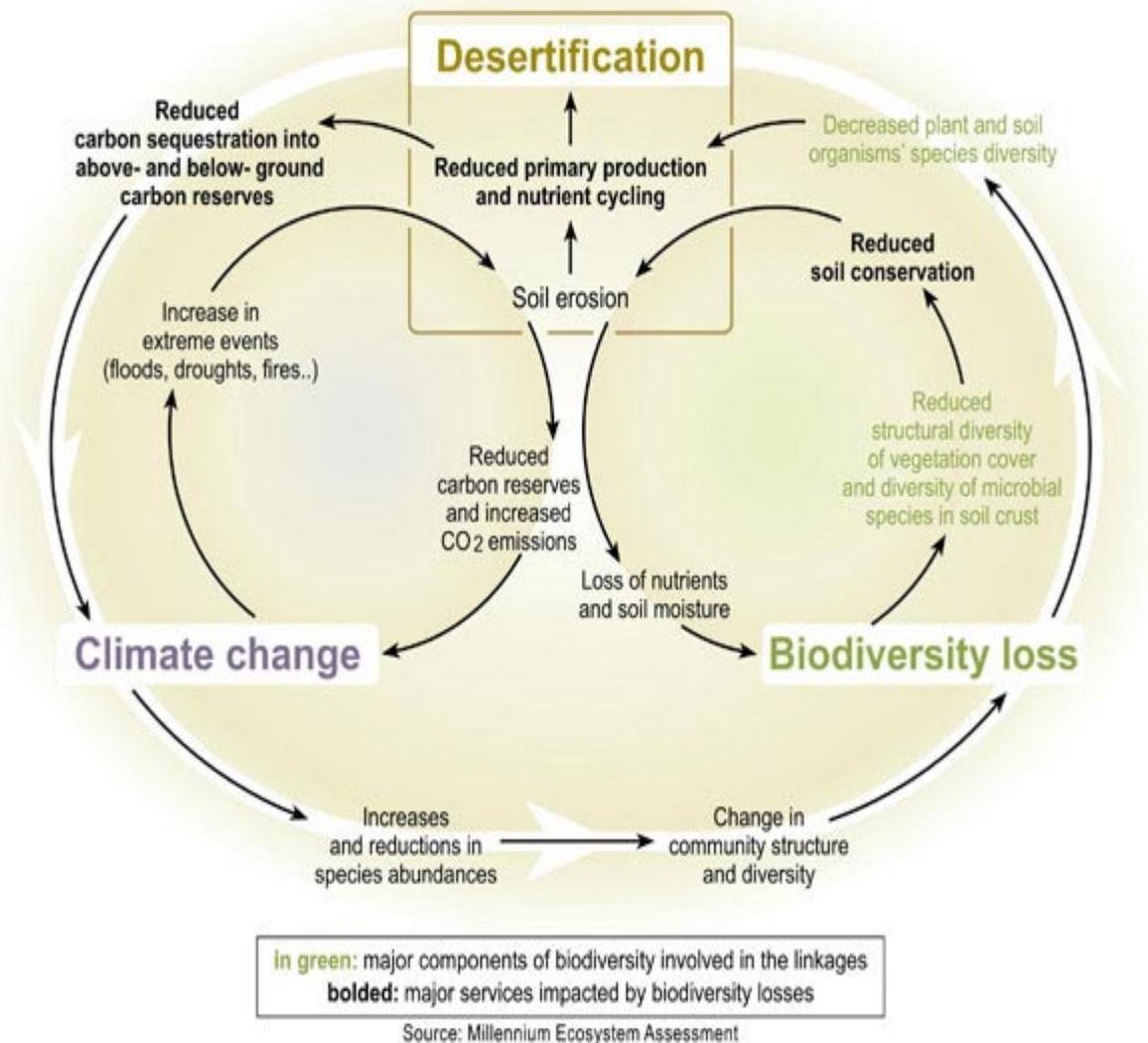


Figure 1. Relations et Boucles de Rétroaction entre Désertification, Changement Climatique Global et Perte de la Biodiversité (Source : Evaluation des Ecosystèmes pour le Millenaire EM, 2005)

Les principales composantes de la perte de la biodiversité (en vert) affectent directement les services des écosystèmes dans les zones sèches (en gras). Les boucles internes établissent le lien entre la désertification, la perte de biodiversité et le changement climatique au travers de l'érosion des sols. La boucle externe montre l'interaction entre la perte de biodiversité et le changement climatique. Sur la partie supérieure de la boucle externe, la diminution de la production primaire et de l'activité microbienne réduit la séquestration du carbone et contribue au réchauffement planétaire. Sur la partie inférieure de la boucle externe, le réchauffement planétaire augmente l'évapotranspiration, affectant ainsi négativement la biodiversité; on s'attend également à des modifications dans la structure et la diversité des communautés étant donné que des espèces différentes réagiront de manière différente à des concentrations plus élevées de CO₂.

Activités humaines

L'accroissement de la production agricole s'est fait au prix d'une pression accrue sur l'espace, les ressources naturelles et l'environnement. Il existe un ensemble complexe de causes reliées toutes aux systèmes d'utilisation des terres, qui peuvent être regroupées dans quatre catégories : déboisement, culture, surexploitation des pâturages et utilisation inadéquate des technologies d'irrigation pouvant entraîner la salinisation, qui est une forme de dégradation des terres.

Le déboisement causé par la recherche de bois à brûler, l'agriculture, l'établissement de pâturages et les utilisations industrielles progressent sans entraves, même dans les terres sèches où la végétation est rare, par suite de l'accroissement de la demande de terres de culture. Le labour des terres marginales pour l'agriculture s'est fait au détriment d'un couvert végétal naturel bien adapté aux conditions du milieu, détruisant ainsi leur potentiel d'utilisation comme parcours et réduisant leur biodiversité. De plus, l'utilisation totale des résidus de la culture des céréales après la récolte pour l'alimentation du bétail expose la surface du sol à une forte érosion éolienne conduisant à son ultérieure dégradation.

L'abattage des arbres expose le sol au soleil, au vent et à l'eau, ce qui, avec le temps, entraîne l'érosion. Les pratiques de défrichement telles que la culture sur brûlis, l'exploitation des terres marginales et des sols pauvres, la réduction des jachères et le recours général aux méthodes de culture mécanique sont les usages agricoles qui sont responsables de la désertification. L'usage incontrôlé de ces pratiques peut mener à la surexploitation des terres, qui est la principale cause de la dégradation des terres sèches.

Tableau 3. Importance de la désertification par grandes zones d'activité (D'après UNEP, 1991, cité par Katyal et Vlek, 2000)

Type d'utilisation	Superficie totale en zones sèches (M ha)	Superficie affectée par la désertification (M ha)	Surface affectée par une dégradation sévère des sols (M ha)
Cultures irriguées	145	43	43
Cultures pluviales	457	216	216
Parcours	4556	3333	757
Total	5158	3592	1016

(2) Causes indirectes

La dégradation des terres se produit dans les sociétés soumises à des contraintes qui favorisent les actions directes causes de désertification, en effet, nous avons retenu un certain nombre de facteurs sociaux, économiques et politiques à titre de facteurs de stress qui contribuent aux causes directes ci-dessus et les aggravent.

La pression démographique

Il est clair que la croissance démographique exerce des pressions sur les ressources naturelles des terres sèches d'au moins deux façons. D'abord, l'augmentation de la population se traduit nécessairement par une hausse de la demande d'aliments, qui nécessite un accroissement de la productivité (rendement à l'hectare) ou de la production (superficie cultivée). Dans la plupart des cas, les sociétés choisissent d'accroître les superficies cultivées, en recourant souvent à des terres marginales ou fragiles fortement susceptibles de dégradation. Ensuite, l'augmentation de la taille des familles entraîne une fragmentation accrue des terres, chaque héritier possédant une parcelle de plus en plus petite, qui est alors surexploitée avec toutes les conséquences que l'on connaît.

La pression de la pauvreté

Suite à un manque de capital, les pauvres ont tendance à exploiter leurs ressources limitées de façon à répondre à des besoins immédiats et pressants, même si une telle exploitation à court terme peut compromettre la stabilité et la viabilité à long terme des ressources. C'est là un effet indiscutable de la pauvreté sur la désertification.

La pression de la propriété de la terre:

L'évolution des régimes d'occupation des terres qui a accompagné l'indépendance politique de beaucoup des pays de l'Afrique occidentale, par exemple, a entraîné l'existence simultanée de régimes d'occupation privés modernes et collectifs traditionnels. Toutefois, les nouvelles réalités politiques ont suffisamment affaibli les seconds pour transformer la tragédie des biens communs en phénomène courant. Il serait donc de l'intérêt du pasteur qui possède son bétail individuellement, mais sa terre en commun, de surexploiter le pâturage afin d'en tirer un bénéfice personnel à court terme sans se préoccuper de la perte sociétale à long terme. Fréquemment, la satisfaction de besoins pressants à court terme associée à des crises climatiques, démographiques et économiques imprévues, accentuent l'impact de ces pratiques et conduisent aux processus de désertification.

La désertification est en continuelle augmentation dans de vastes étendues à travers le monde entier. Une stratégie pour combattre ce processus est devenue un besoin afin de préserver la fertilité des environnements mis en danger et restaurer les aires dégradées dans les régions où cela est techniquement possible et socialement acceptable et durable (Mulas, 2007)

II) Dynamiques et répercussions sociales et économiques :

Si la désertification continue inexorablement d'avancer, sans que rien, ou presque, ne semble entrepris, c'est aussi parce que les causes de ce fléau sont aussi diverses et compliquées à analyser que ses conséquences. Aujourd'hui, les causes majeures semblent être l'activité destructrice de l'homme sur place (répondant à un

cercle vicieux) et le réchauffement de la planète. Aujourd'hui, une autre question est de savoir quelle est la part directe de la nature dans la progression du désert, et quelle est la part due à l'homme ?

Les solutions, quand à elles, semblent aussi variées que les causes. Mais la bonne réponse à ce fléau reste un traitement de fond, abordé par les conventions ONU, mais malheureusement trop peu souvent mis en place. Une solution idéale consisterait d'après nous à combattre la désertification de concert, entre pays riches, qui fourniraient les moyens (argent, formateurs) d'une telle politique, mais aussi et surtout avec le concours des populations locales, indispensables à la bonne marche et au bon rétablissement de leur environnement. Dans tous les cas, des solutions comme le déblayage des axes majeurs de circulation ou l'erection de murs qui ne font que ralentir la progression du sable nous apparaissent aussi dérisoires qu'inutiles et inappropriées (François *et al*, 2002). C'est donc avant tout une solution durable qui doit être envisagée,

B) La lutte à la désertification utilisant des ressources végétales: Les espèces et leurs utilisations stratégiques:

I) Solutions envisagées pour lutter contre la désertification et son avancement

Il n'y a pas une série unique de solutions à un problème aussi complexe. Il est donc nécessaire d'adopter une approche intégrée tenant compte du plus grand nombre possible de facteurs causaux.

Les arbustes fourragers ont toujours joué un rôle significatif dans l'alimentation des animaux domestiques. En fait, des arbres et les arbustes sont de plus en plus identifiés en tant que composants importants de l'affouragement animal, en particulier comme fournisseurs de protéine et particulièrement en conditions environnementales dures. Dans de telles situations, le pâturage disponible n'est pas généralement suffisant pour satisfaire les besoins d'entretien des animaux, au moins pour une partie de l'année. Ceci se produit, par exemple, dans quelques régions montagneuses où le pâturage est parfois très dégradé. Ainsi, dans les systèmes extensifs de production animale dans les régions sèches de l'Afrique, les ligneux contribuent avec plus de 90% et comptent pour 40-50% de l'alimentation disponible. De telles figures illustrent le besoin existant et

pressant non seulement de la meilleure connaissance mais également d'une meilleure utilisation d'un tel potentiel, en particulier dans le contexte de la dégradation environnementale qui affecte notre planète.

Des efforts pour augmenter la productivité des parcours et ainsi inverser le processus de dégradation ont été faits dans plusieurs parties du monde. Ces mesures comprennent surtout la mise en défens et la plantation des arbustes fourragers avec l'introduction de systèmes appropriés pour leur gestion. Les arbustes palatables peuvent être une bonne réserve de fourrage sur pied et en même temps stabilise la surface du sol réduisant ainsi l'érosion éolienne, mais les tentatives d'établissement des plantations d'arbustes fourragers n'a pas été toujours couronné de succès, en effet de nombreuses erreurs techniques de plantation (telles que densité de plantation, mauvais choix des espèces, etc.) ont conduit à un échec ou à une performance faible de ces arbustes. Mais le problème essentiel reste la mauvaise adaptation écologique des espèces introduites qui ont un très faible taux de réensemencement naturel. Mais ces projets prennent rarement en compte la gestion des ressources après restauration, de sorte que les acquis ne sont pas pérennisés. Plusieurs exemples le montrent:

En Algérie, après la mise en défens, le problème qui reste non résolu est celui de la gestion des parcours. Une solution préconisée est la dévolution des zones restaurées aux communes; mais les résultats ne sont pas satisfaisants car il n'existe pas de plans de gestion, notamment pour le contrôle des charges animales. Une expérimentation a consisté à encourager les éleveurs à planter des arbustes fourragers sur leurs champs d'orge en leur facilitant la fourniture des plants par les communes. Mais là aussi, le plan d'utilisation des parcelles faisait défaut et le surpâturage a vite anéanti les efforts.

En outre, les pratiques inadéquates d'irrigation, accompagnées avec les réseaux de drainage inadéquats ont souvent endommagé les terrains avec une saturation, et une accumulation du sel d'où l'érosion des sols. L'intrusion saline dans les zones littorales et particulièrement dans les îles, attribuée au pompage excessif de l'eau, intéresse les équilibres locaux et hydrauliques et l'eau phréatique qui deviendra impropre pour n'importe quel usage. Plus petites sont les îles, plus graves sont les problèmes à cause

des petites dimensions des bassins de dépôt de sels et le contact direct avec l'eau de mer (Yassoglou *et al.*, 2003).

Développer des systèmes durables d'utilisation des terres de parcours en mesure d'inverser les effets de la désertification peuvent être conçus et divisés en deux axes: Gestion des ressources et systèmes de production. La gestion des ressources se base sur la reconnaissance que, partout dans les zones arides, la disponibilité en eau reste la contrainte majeure: Inverser le processus de désertification requiert une meilleure utilisation de l'eau disponible des différentes sources disponibles ou mobilisées. La meilleure utilisation de l'eau inclut donc l'utilisation des sols salés par la plantation d'espèces désalinisantes halophytes et xérophytes.

Plusieurs espèces fourragères ont été introduits dans la région WANA (West Asia and Nord Africa): *Acacia spp*, *Atriplex spp*, *Prosopis spp* and *Opuntia spp*. Plus d'un demi million d'hectares ont été plantés au Maroc, Algérie, Tunisie, Libye et Egypte. Parmi ces arbustes fourragers, *Atriplex spp* sont les plus recommandés et les plus fréquemment plantés (El Aich, 1992).

Atriplex spp peut croître normalement avec une pluviosité comprise entre 150 et 200 mm/an il n'est pas affecté par une texture lourde et par les sols très salés et inondés. Ils ont une grande résistance à la gelée. Le choix de l'espèce est cependant déterminant pour l'installation de la plantation. Baumann (1990) a comparé l'installation de la légumineuse *Acacia spp* à la non légumineuse espèce *Atriplex spp* et il a conclu que le taux d'installation de la légumineuse est très faible car l'*Acacia spp* a besoin d'une précipitation moyenne supérieure à 150 mm/an et un sol profond et sableux par contre le taux d'installation de *Atriplex* varie selon les espèces et est de 70-75%.

Certaines espèces fourragères replantées ne résistent pas au surpâturage ou au climat: en Syrie, *Atriplex halimus* local est bien supérieur à *A. canescens* ou *A. nummularia* introduits des USA et d'Australie. *Medicago arborea* est trop apprécié pour résister au pâturage. Mais parfois, une plante mal appréciée peu bien jouer son rôle de fixation nécessaire du sol ou dans le cas de *A. canescens*, *A. nummularia*, et *A. halimus* dans la steppe syrienne servant d'abri aux jeunes animaux par grand froid.

L'introduction de la monoculture a accéléré le processus de désertification. Les terres arides abritent un grand nombre d'espèces qui peuvent également devenir des produits commerciaux importants: aux États-Unis, elles permettent de fabriquer un tiers des médicaments produits à l'aide de plantes. La biodiversité agricole doit être préservée. La surexploitation des terres doit être compensée par des périodes au cours desquelles on laisse les sols 'respirer', sans culture et sans bétail.

(1) Les modes de vie traditionnels

De nombreuses régions arides offrent de bons exemples de vie en harmonie avec l'environnement. Jadis, le nomadisme était particulièrement adapté aux conditions spéciales des terres arides: se déplaçant d'un point d'eau à un autre, ne restant jamais sur les mêmes terres, les populations pastorales ne portaient que très peu atteinte à l'environnement. Les mouvements du cheptel sur les parcours étaient régulés par la disponibilité saisonnière du fourrage et de l'eau, il ne pouvait rester sur un parcours naturel que tant que le pâturage et l'eau sont disponibles. L'eau était, plus que le couvert végétal, le facteur essentiel déterminant la durée de la saison du pâturage. Malheureusement, l'évolution des modes de transport a rendu possible le transport de l'eau au cheptel lui permettant de rester plus longtemps sur le même parcours ainsi que le transport rapide du cheptel sur de longues distances pour occuper de nouveaux parcours. Ces nouveaux usages ont rompu le cycle traditionnel du pâturage et ont intensifié l'exploitation des parcours naturels, par conséquent, le pâturage précoce et le surpâturage sont aujourd'hui très communs. En effet, les parcours abritent aujourd'hui une charge animale de plus en plus importante et pour des durées de plus en plus longues.

(2) Reboisement

Les arbres jouent plusieurs rôles: ils contribuent à fixer les sols, font office de brise-vent, renforcent la fertilité des sols, et aident les sols à absorber l'eau lorsque les précipitations sont fortes. Etant donné que les incendies de terres et de forêts font augmenter les gaz à effet de serre, les opérations d'extension forestière peuvent contribuer à faire régresser les effets négatifs résultant du changement climatique.

- **Systèmes d'agro-foresterie**

Dans les terres arides, les systèmes traditionnels comportent souvent le maintien permanent d'arbres dispersés à usages multiples, qui servent à la fois de couvert et de source de fruits, de fibres, d'énergie et de fourrage sur les terres agricoles (Amérique latine, Sahel, Inde, Pakistan). Dans certains cas, il y a implantation artificielle d'arbres ou arbustes polyvalents tels qu'acacias et *Atriplex* (Afrique du Nord, Soudan). Dans les zones arides, la pratique de l'agroforesterie permet d'atténuer les conséquences des précipitations irrégulières et imprévisibles et celles des fluctuations économiques en fournissant de façon régulière et fiable des produits de remplacement utiles à l'homme et au bétail, ce qui réduit la pression sur les ressources locales et favorise la durabilité de la production.

- **Systèmes sylvopastoraux**

Le pastoralisme est la principale forme d'utilisation de la terre dans la plupart des zones arides et, bien que la productivité soit faible, l'immense superficie en cause (45 millions de km²) apporte une contribution notable à l'approvisionnement alimentaire mondial. Les densités de population, faibles en général, sont par contre relativement fortes en Iran, au Pakistan et en Inde. Certaines régions - Afghanistan, Pakistan, Nord-ouest de l'Inde, Proche-Orient et Afrique du Nord - ont été constamment habitées depuis plus de 5000 ans, période au cours de laquelle la végétation ligneuse naturelle a toujours fourni une nourriture aux animaux. Aux États-Unis et en Australie, il est accordé plus d'importance à l'alimentation herbacée des animaux. Dans les pays du Sahel au contraire, on dit que les espèces ligneuses fourragères fournissent au moins 45% de l'alimentation du bétail à la fin de la saison sèche.

La gestion du pâturage par des systèmes de mise en défens (Australie) qui se fondent sur la façon dont les espèces fourragères réagissent écologiquement à la pression du bétail pour déterminer la fréquence et la périodicité du pâturage, peut améliorer la production des parcours. En termes généraux, la régulation du pâturage est une composante indispensable des systèmes sylvopastoraux (avec ou sans clôtures pour

en interdire l'accès au bétail) ainsi que le réensemencement ou d'autres types d'enrichissement des pâturages au moyen d'espèces fourragères.

Les systèmes sylvopastoraux comportent également l'implantation d'arbres polyvalents pour abriter le bétail des vents très chauds, secs ou très froids et d'un ensoleillement excessif. Les stratégies de remise en état des terrains de parcours dégradés impliquent donc un boisement qui lui seul peut être une protection absolue.

- **Boisement**

Le boisement en terre aride nécessite en général des quantités d'eau supplémentaires pour favoriser d'abord la survie puis une croissance suffisante des arbres et arbustes. Le boisement est reconnu comme l'une des méthodes efficaces de remise en état des terres dégradées. Plus de 7% des terres mondiales (9,2 millions de km²) sont plus ou moins salinisées et 3% sont essentiellement salines ou sodiques. La remise en état de ces terres nécessite la réimplantation d'un couvert végétal composé d'espèces tolérantes au sel, avec une protection stricte contre le pâturage ou la récolte. Un boisement en sec utilisant des essences résistant à la sécheresse a été entrepris avec succès dans certaines parties du Sahel (îles du Cap-Vert, Burkina Faso, Niger), en Afrique du Nord (Tunisie, Maroc, Algérie, Libye) et au Proche-Orient (Israël, Syrie, Jordanie) et des progrès sont actuellement réalisés dans la mise au point de techniques de semis mécaniques constitués de mélanges d'espèces d'arbres et arbustes dans les zones arides du sud de l'Australie.

- **Végétaux pour les sites salins**

La réhabilitation d'un environnement salin dépend de la réussite de l'implantation d'un couvert végétal. Selon les conditions propres au site, on peut y adapter des plantes herbacées, des arbustes ou des arbres. Sur les sites les plus difficiles, il peut être nécessaire d'utiliser des espèces pionnières afin d'améliorer suffisamment le site pour permettre l'installation d'autres plantes plus recherchées.

Pour choisir une espèce appropriée, il faut s'informer de l'adaptation de cette plante aux paramètres environnementaux tels que le climat, la salinité et l'hydrologie du

site. Il est possible d'établir une subdivision des types climatiques (par exemple, les climats de steppe sèche peuvent avoir un été sec ou un hiver sec) et aucune indication n'est donnée quant à la gélivité. Les types de terre saline appellent aussi une définition plus claire.

Les principales différences entre les sols salins ont trait aux relations hydriques des sites. Pour les sites côtiers, la profondeur et la fréquence d'inondation par la marée ou la profondeur de la nappe phréatique sont des facteurs qui jouent un rôle majeur dans la distribution des espèces (Clarke *et al.*, 1970). Dans les bassins hydrographiques, les zones à infiltration et les zones où la nappe phréatique est haute, le zonage des espèces est lié à la profondeur de la nappe phréatique ou à la tendance à l'inondation ou à l'engorgement de surface (Novikoff, 1961; Sankary, 1985) aussi bien qu'à la salinité (Ungar, 1965). En Australie occidentale, dans un climat méditerranéen, des recherches ont permis d'identifier une gamme de végétaux convenant à des zones salines ayant des caractéristiques différentes. Le choix des espèces est facilité pour l'agriculteur par les descriptions de la pluviométrie et des sites. La sélection des espèces pour les sols salins en Syrie a été étudiée par Sankary (1985) et la sélection d'espèces productrices de bois est traitée par Midgley *et al.* (1985). Dans la plupart des pays, peu de travaux ont été effectués pour déterminer quelles étaient les espèces adaptées aux zones salines. Des observations limitées indiquent que les plantes tolérantes au sel peuvent pousser en dehors de leurs habitats d'origine (Stalter *et al.*, 1969) ou dans des climats très différents. Ainsi, *Atriplex undulata* (originaire du centre-ouest de l'Argentine) pousse bien en climat méditerranéen dans le sud-ouest de l'Australie et dans le Golfe Persique en Arabie saoudite. *A. amnicola* originaire du nord-ouest de l'Australie, pousse bien dans le sud-ouest de l'Australie et dans le Golfe Persique. *A. canescens*, originaire du sud-ouest des États-Unis d'Amérique, pousse bien dans le Golfe Persique, mais mal dans le sud-ouest de l'Australie (Hyder, 1982). On a observé que les espèces non habituées au gel meurent dans les climats plus froids en hiver (Sankary, 1985). Il est urgent de mettre en oeuvre un programme coordonné pour échanger des semences, effectuer des essais d'adaptation, décrire les conditions des sites et établir une banque de données sur l'adaptation des espèces aux environnements salins.

L'adaptabilité des plantes se caractérise par les critères suivants:

1. Croissance et survie pendant une période suffisante.
2. Entretien d'un peuplement par reproduction, soit par semis soit par un moyen végétatif.
3. Production de biomasse de quantité et de qualité suffisantes.
4. Type de croissance acceptable pour le système de gestion.
5. Installation.
6. Persistance dans le cadre d'un système de gestion rentable.
7. Avantages additionnels tels que lutte contre l'érosion, amélioration du sol, assèchement et amélioration de la faune sauvage ou du paysage.

Faire un tri selon un aussi grand nombre de critères implique plusieurs étapes. Tout d'abord, les plantes doivent pouvoir pousser et se reproduire dans des conditions représentatives de la zone considérée. Actuellement, en Australie occidentale, on procède au tri des arbustes halophytes en plantant sur une grille de 4 x 4 m des plants isolés identiques produits en pépinière. Des blocs de 20 plants ont été mis en place sur une série de sites représentant les conditions pour lesquelles on recherche des espèces appropriées. On étudie dans le cadre d'un programme séparé la germination et la capacité d'installation des arbustes. Un petit nombre de sélections est inclus dans des expériences de pâturage (Clarke, 1982).

Un aspect de l'adaptation dont on ne s'est guère occupé est l'aptitude à s'installer. On a récemment obtenu des améliorations des capacités d'installation à partir de semis en place par la sélection d'espèces ou de variétés d' *A. amnicola* que l'on rencontre facilement sur le terrain (Runciman, 1985).

- **Méthodes de réhabilitation**

Pour réhabiliter les milieux salins, il faut sélectionner des espèces bien adaptées, protéger la zone contre l'exploitation pendant la période d'installation, appliquer une méthode d'installation appropriée et assurer une bonne gestion de la nouvelle ressource.

L'installation est souvent réussie lorsqu'on utilise des plants élevés en pépinière (McKell, 1985). Si l'on veut faire des progrès notables dans la réhabilitation des vastes zones salines dégradées du monde, il est indispensable de mettre au point des techniques efficaces de semis directs. L'installation d'espèces sur les sites salins dépend de nombreux facteurs (Malcolm, 1972). La bonne installation de végétaux à partir de semis effectués en sol salin exige le choix d'espèces et de méthodes spécifiques du site. Parmi les stratégies visant à améliorer cette installation, on peut citer le traitement des semences (lavage, battage), la modification des lits de germination pour optimiser l'utilisation de l'eau et le lessivage du sel (sillons, banquettes), des paillis pour modifier la température du sol ou conserver l'humidité (revêtements appliqués par pulvérisation, vermiculite, broussailles) et un emplacement précis des graines pour en bénéficier (niches, placeaux). Des systèmes d'ensemencement ont été conçus de façon à combiner plusieurs de ces stratégies (Frost *et al.*, 1965; Herbel, 1971).

Les problèmes liés aux sites très salins ou engorgés et la lutte contre les mauvaises herbes et les insectes font l'objet de recherches supplémentaires, mais la méthode est maintenant appliquée dans des exploitations.

- **Utilisation fourragère des arbustes halophytes**

La plupart des informations relatives à l'utilisation des arbustes halophytes pour le pacage proviennent d'études sur des peuplements naturels et non sur des zones plantées. Environ 20 millions d'hectares de parcours arbustifs en désert salé dans l'ouest des États-Unis sont utilisés depuis les années 1880 (Hutchings, 1965). Un pâturage non régulé jusqu'en 1930 a détruit ou endommagé des espèces utiles et encouragé l'invasion par des espèces indésirables. En réduisant le cheptel ovin et bovin, en répartissant plus également le pacage et en installant des clôtures, on a pu inverser cette tendance. Ce type de gestion améliore au début la croissance des arbustes déjà installés, et favorise ensuite l'installation de nouvelles plantes. C'est là où les dégâts ont été les plus importants que la récupération est la plus lente.

Des études détaillées sur les conséquences de l'intensité de pâturage sur la végétation des déserts salés indiquent que l'enlèvement de 75% de la matière disponible sur une espèce est excessif en toute saison (Cook, 1971). L'enlèvement de 50% en hiver

permet à la plante de conserver sa vigueur mais il doit être limité à 25% à la fin du printemps et de l'été. L'enlèvement d'une plus grande quantité de matière des arbustes se traduit par un taux qui est plus élevé de principes minéraux et de lignine et plus faible de protéines, de cellulose, d'énergie et de phosphore.

Les effets du pâturage ovin et bovin ont également été étudiés en Australie sur des parcours où l'on rencontrait *Atriplex* et *Maireana*. Plus d'un siècle de pâturage a provoqué une importante dénudation (Trumble et Woodroffe, 1954). Les dégâts sont graves près des points d'eau mais les plantes modérément broutées semblent en meilleur état que les arbustes non broutés qui se trouvent le plus loin des points d'eau (Osborne *et al.*, 1932). Une analyse détaillée des effets des ovins sur un peuplement d' *A. vesicaria* a montré que les schémas de distribution des arbustes étaient largement déterminés par le piétinement des jeunes plants et le pacage sélectif des plantes adultes (Williams *et al.*, 1978). Il ressort de la comparaison des effets du pâturage d'un peuplement mixte d' *A. vesicaria* et d'herbes pérennes (*Danthonia caespitosa*) par des ovins et des bovins que les bovins sont moins sélectifs et que les ovins broutent une plus forte proportion d'herbes, ce qui leur donne une alimentation plus digeste et plus chargée en azote (Graetz et Wilson, 1980).

Lorsque d'autres aliments tels que des herbes annuelles ou pérennes existent, on constate que les ovins ignorent *A. vesicaria* et *Maireana aphylla* (Leigh et Mulham, 1966) et *A. nummularia* (Wilson, 1966). Les arbustes sont ainsi conservés pour les périodes difficiles. On a toutefois constaté que des ovins en enclos auxquels on donnait exclusivement *A. vesicaria* et *A. nummularia*, ainsi que de l'eau douce, présentaient de légers gains de poids (Wilson, 1966a), ce qui indique que les arbustes en question sont utiles. On pense que la consommation d' *A. nummularia* est limitée parce qu'elle est moins sapide, caractéristique dont on a constaté qu'elle était très variable dans cette espèce (Jacobs et Smith, 1977).

On a fait en Afrique du Sud (Jacobs et Smith, 1977) et dans l'ouest de l'Australie (Clarke, 1982) des expériences de pacage sur des peuplements d'arbustes plantés à l'état de jeunes plants. Ces expériences ont fait apparaître des capacités de pâturage qui vont de 1,7 à 8,1 équivalents ovin secs par hectare et par an. Dans chacun des cas, la capacité

de pacage a été déterminée pendant une courte période de pâturage intensif assimilable à l'utilisation du fourrage en tant que réserve alimentaire. L'importance économique des réserves des arbustes fourragers dépend du système d'élevage de la région étudiée. Pour les céréaliers et éleveurs de moutons de l'ouest de l'Australie, on a constaté que ces pâturages sont extrêmement rentables (Masson, 1982).

Les arbustes halophytes contiennent des niveaux élevés de sels solubles dans leur feuillage. Les ovins qui les ingèrent excrètent des quantités importantes de sodium (Wilson, 1966) et peuvent être atteints de diarrhées (Sthälin et Bommer, 1958), inconvenient que l'on peut éviter en leur donnant un autre aliment pauvre en sel. Il est important, lorsque les fourrages contiennent des niveaux élevés de sels solubles, de donner à boire aux animaux une eau de bonne qualité, faute de quoi la consommation de fourrage risque d'être fortement réduite (Wilson, 1966).

II) Lacunes dans les connaissances

Pour de nombreux pays, il existe des estimations de la superficie totale de terres salines avec, dans certains cas, une subdivision en différents types. Il est urgent d'évaluer la possibilité de faire la distinction entre les zones pour lesquelles il existe des perspectives immédiates de retour à la production de cultures non halophytes et celles qui resteront probablement salines. Ce dernier groupe doit être caractérisé dans des termes qui sont fonction des besoins des plantes tolérantes au sel pour leur croissance. Ces besoins, qui restent à définir pour de nombreuses espèces, comprennent la tolérance au sel et à la saturation en eau, les limitations climatiques (y compris le gel) et la tolérance à des facteurs tels que le gypse, le calcaire ou le bore. Des critères devront être déterminés au moyen de tests d'adaptation sur le terrain associés à des études en serre et en laboratoire.

Il est nécessaire d'évaluer les possibilités de domestication des plantes qui poussent en environnement salin. Cette évaluation doit permettre de déterminer s'il est possible d'implanter et de gérer ces plantes dans un environnement donné et d'obtenir à long terme un produit de quantité et de qualité qui justifie l'effort. Les informations relatives aux avantages que procure la réhabilitation des environnements salins sont très réduites. Les recherches sur la lutte contre l'érosion, l'utilisation des nappes phréatiques, la

conservation de la faune sauvage et le paysage peuvent indiquer que la réhabilitation est justifiée quel que soit le rendement en fourrage, en combustible et en d'autres produits.

Enfin, de vastes superficies de terres salines resteront improductives si rien n'est fait pour les réhabiliter à l'aide de plantes très tolérantes au sel (halophytes). Quelques débuts modestes indiquent que les halophytes donneront une production rentable sur des terres incapables de porter d'autres végétaux. On peut faciliter la réhabilitation des milieux salins en définissant les sites en termes de besoins des plantes pour leur croissance et leur destiner de ce fait des plantes adaptées.

Le genre *Atriplex*

Le genre *Atriplex* est le plus grand et le plus diversifié de la famille des *Chenopodiaceae* et compte environ 200 espèces réparties dans les régions tempérées et sub-tropicales; on trouve également des exemplaires de ce genre dans les régions polaires, bien qu'en nombre très réduit. Généralement, il est associé aux sols salins ou alcalins et aux milieux arides, désertiques ou semi-désertiques (Rosas, 1989; Par-Smith, 1982).

Les *Chenopodiaceae* sont largement répandues dans les habitats salins tempérés et sub-tropicaux, en particulier dans les régions littorales de la Mer Méditerranéenne, de la Mer Caspienne et de la Mer Rouge, dans les steppes arides de l'Asie centrale et orientale, aux marges du désert du Sahara, dans les prairies alcalines des Etats-Unis, dans le Karoo en Afrique méridionale, en Australie, et dans les Pampas argentines. Elles poussent également comme des herbacées sur les sols riches en sel des zones habitées, surtout en présence d'écoulements d'eau et de terrains accidentés. Elles sont caractérisées par des racines profondes et pénétrantes, destinées à absorber la plus grande quantité d'eau possible, et des feuilles alternées, petites et farineuses ou recouvertes de poils, lobées, parfois épineuses, formées de manière à réduire les pertes en eau dues à la transpiration. A cette famille appartiennent environ cent genres qui peuvent être divisés, suivant la forme de l'embryon, en deux tribus:

- *Spirolobae*, qui présentent un embryon enroulé en spirale et l'endosperme est divisé en deux parties par l'embryon;
- *Cyclobae*, qui présentent un embryon en forme de fer à cheval ou en demi-cercle comprenant l'endosperme en entier ou en partie. A cette dernière tribu appartient le genre *Atriplex*.

La fleur, dont la morphologie est souvent utile pour l'identification, est enveloppée par deux bractéoles, d'une consistance généralement foliacée, qui permettent de distinguer les espèces en fonction de leur forme et si elles se présentent

ou non soudées les unes aux autres. Pratiquement toutes les espèces appartenant au genre *Atriplex* sont dioïques, il existe cependant des arbustes monoïques.

Les espèces du genre *Atriplex* sont caractérisées par le haut degré de tolérance à l'aridité et à la salinité; et pour procurer des fourrages riches en protéines et en carotène. Par ailleurs, elles ont la propriété de produire une abondante biomasse foliaire et de la maintenir active durant les périodes défavorables de l'année (Mulas, 2007).

L'anatomie foliaire du genre *Atriplex* est de type Kranz, c'est à dire qu'elle présente une gaine de cellules chlorenquimatiques de grandes dimensions qui entourent les tissus vasculaires. L'anatomie Kranz est associée au métabolisme à haute efficacité photosynthétique, qui prend le nom de C₄ (Raven *et al.*, 1992). Dans le métabolisme C₄, l'anhydride carbonique se lie au pyruvate pour former l'acide oxalo-acétique, composé à quatre atomes de carbone, d'où le nom du cycle métabolique. Ce mécanisme se vérifie dans le mésophylle, où cette composition est transformée en acide malique; ensuite, une fois que les grandes cellules qui composent la gaine qui entoure les vaisseaux vasculaires sont atteintes, il est décarboxylé et l'anhydride carbonique libérée entre dans le cycle de Calvin, tandis que le pyruvate revient dans le mésophylle où commence un nouveau cycle (Taiz et Zeiger, 1991).

De nombreuses recherches ont démontré que ce type de plantes est caractérisé par une grande productivité, la résistance au déficit hydrique, la capacité particulière d'utiliser l'énergie lumineuse et le fait qu'elles exigent du sodium comme élément essentiel de leur métabolisme. Les feuilles sont alternées, pétiolées ou sessiles, de la même consistance que le papyrus. Les espèces adaptées aux milieux désertiques présentent des feuilles plus épaisses, pratiquement cartilagineuses, recouvertes d'un épais duvet et de cristaux de sels qui peuvent former un pseudo-tissu qui entoure la limbe foliaire des deux côtés. Les entre-nœuds sont souvent allongés, même si dans certains cas ils sont réduits au point de laisser les feuilles regroupées. Les formes des feuilles sont multiples: par exemple triangulaires de grandes dimensions, jusqu'à 6 cm de longueur, ovoïdales avec un apex aigu, ovoïdales avec un apex obtus, elliptiques d'une consistance herbacée, adaptées aux milieux de haute montagne.

Les fleurs sont solitaires ou en glomérules, disposées au niveau de l'aisselle foliaire, mais aussi en épis terminaux. Les fleurs mâles sont dépourvues de bractéoles, avec un périanthe en 3-5 parties.

L'utilisation d'*Atriplex spp* pour la restauration des parcours dégradés ayant une pluviométrie inférieure à 200 mm/an a été longtemps évaluée et ainsi plusieurs millions d'hectares ont été plantés à travers le monde. Les espèces du genre *Atriplex* sont en partie spontanées dans la région WANA et en partie introduites pour vérifier leur adaptabilité à l'utilisation comme espèces fourragères (Le Houérou, 2000). Parmi les espèces spontanées, citons *A. halimus* subsp. *halimus* et subsp. *schweinfurthii*, *A. leucoclada* et *A. mollis*; tandis que les espèces introduites plus importantes sont *A. nummularia*, *A. canescens*, *A. lentiformis* et *A. semibaccata*

1. Les espèces *A. nummularia* et *A. halimus*: taxonomie et caractères botaniques

Atriplex nummularia Lindl, originaire des zones arides et semi-arides de l'Australie, est un arbuste érigé, ascendant dressé-fastigié, plus ou moins rameux mais parfois aussi étalé ou pleureur, de 1 à 3 m de haut, à bois assez cassant. Plante dioïque ou à dioecie partielle se propageant souvent par marcottage des branches retombantes ou brisées. Les feuilles sont alternes, gris verdâtre concolores, pétiolées + ou- tronquées à la base, à poil vésiculeux blanchâtres, de 2.5 à 5 cm sur 2 à 5 cm, suborbiculaires au subrhomboïdales (pieds mâles) ou fortement rhomboïdales (pieds femelles), subentières ou dentées (mâle) ou fortement dentées (femelle), trinerviées. Les inflorescences mâles en épis aphyllés groupés en panicules terminales parfois mélangées avec les inflorescences femelles le long de l'axe.

Inflorescences femelles en grappes feuillées, valves fructifères de 0.4 à 0.7 sur 0.3 à 0.8 cm, presque libres, arrondies-cordiformes ou + ou - érodées, denticulées ou subentières sur les marges, épaissies et indurées à la base, plante très polymorphe.

Atriplex halimus L., originaire d'Afrique du Nord est l'espèce la plus répandue après l'*A. nummularia*. Il existe deux sous-espèces, subsp. *halimus* et subsp. *schweinfurthii*. La zone de diffusion de la subsp. *halimus* s'étend des zones semi-arides aux zones humides; facilement identifiable grâce à son *habitus* droit caractéristique et

aux branches fructifères très courtes (20 cm) et recouvertes de feuilles. En revanche, la subsp. *schweinfurhii* présente un *habitus* broussailleux avec des branches très enchevêtrées; les branches fructifères ont une longueur d'environ 50 cm et sont dépourvues de feuilles. La subsp. *schweinfurhii* est très répandue dans les zones arides et désertiques, mais on la trouve uniquement le long des dépressions en présence de nappes phréatiques. Les populations des deux sous-espèces présentent une grande variabilité en particulier pour ce qui concerne le rapport entre les feuilles et les parties ligneuses, l'appétibilité et l'*habitus*.

2. Ecologie et aires de répartition

A. nummularia pousse dans les milieux où la pluviométrie moyenne annuelle est d'au moins 180 mm (Thornburg, 1982). Ses racines peuvent s'enfoncer dans le terrain à plus de 3 m et s'étendre jusqu'à 10 m (Jones, 1970). Cultivé dans les étages subhumide, semi-aride et aride supérieur, moyen et inférieur à hivers chauds à froids il présente les caractéristiques suivantes:

- Résiste à des températures hivernales de -8 à -12 °C en Afrique du Sud et en Australie.
- Résiste aussi à la submersion qui entraîne une régénération assez importante des semis.
- A une très grande résistance à la salure et aux sulfures, se développe sur des sols dont la conductivité électrique atteint ou dépasse 20 mmhos/cm^2 et dans certaines régions (Souassi en Tunisie) il peut se développer vigoureusement sur des sols de 50 à 57 mmhos/cm^2 .
- Se développe sur divers types de sols: sols à croûtes calcaires, gypseux et de texture variable.

A. halimus, s'est bien adaptée aux terrains salino-argileux et aux milieux caractérisés par des précipitations annuelles inférieures à 150 mm (Le Houérou, 1980). Si elle n'est pas broutées par le bétail, cette espèce peut atteindre 4 m de hauteur; de plus, elle appartient aux espèces d'*Atriplex* les plus appétibles pour le bétail dans les zones arides du WANA (Tiedeman et Chouki, 1989). L'*A. halimus* subsp. *schweinfurhii* peut tolérer une salinité proche de la salinité marine, EC 55 mS/cm (Zid, 1970). On

obtient une productivité supérieure, environ 15-20 t/ha an, dans des conditions de concentration saline non supérieure à 300 mMo/L NaCl-equivalents. On a étudié certaines populations en mesure de survivre pendant de courtes périodes, dans des conditions de salinité supérieures à celles de la mer, jusqu'à EC 60 mS/cm (Françlet et Le Houérou 1971; Malcom et Pol, 1986; Le Houérou, 1986; 1993). Quoi qu'il en soit, l'*Atriplex halimus* est en mesure de pousser et de bien produire si le terrain n'est pas salin.

3. Intérêt, production et utilisation

L'utilisation d'*A. nummularia*, comme fourrage, dans les milieux défavorables comme ceux du WANA, caractérisés par des précipitations basses et extrêmement variables, des températures élevées et des sols au taux de salinité élevé, a donné d'excellents résultats. Grâce à sa résistance et à sa rusticité, cette espèce présente les caractéristiques suivantes :

- Repousse vigoureusement même après avoir été coupée et broutée.
- Rustique et ne demandant pas beaucoup de travaux du sol pour sa culture.
- Important intérêt dans la production fourragère et du bois qui peut atteindre 2 à 5 tonnes/ha et par an de bois de chauffe.
- La récolte des graines est peu importante la première année mais peut devenir très importante dès la 3^{ème} année, certains arbustes femelles sont complètement couverts de graines.
- Les graines sont vêtues de 2 valves à bords lisses ou denticulés au sommet, dimensions 5 à 20mm.
- Pour lever les inhibitions à la germination un trempage dans une eau courante pendant 24h peut suffire.
- Il est possible de produire des plants avec des boutures herbacées très peu lignifiées et les petits bourgeons des fascicules secondaires qui se ramifient sur l'axe ligneux sont utilisés pour multiplier des sujets remarquables.
- La mise en place s'effectue soit par semis direct, soit par bouturage direct avec des rameaux âgés de moins d'un an, soit par transplantation de jeunes plants préalablement élevés en pépinière.

Quelques données sur l'utilisation et les rendements

- les rendements obtenus en Algérie et en Tunisie sont de l'ordre de 5 à 15 tonnes de matière verte consommable (feuilles et jeunes rameaux) et de 2 à 11 tonnes de bois vert à l'hectare.

- Sous une pluviosité de 300 à 350 mm, la production fourragère est de 900 à 2800 UF/ha en Afrique du Sud (Kock, 1965).
- L'exploitation se fait la 3^{ème} année et de la fin du printemps à l'automne, l'hiver étant la période du repos.
- Les jeunes pousses servent aussi comme aliment pour l'homme et préparé parfois comme les épinards.
- utilisé également dans l'industrie des aliments du bétail, pour la préparation des concentrés

L'intérêt écologique des *Atriplex* n'est plus à démontrer, citons quelques domaines d'utilisations :

- Dans la conservation du sol et des eaux, utilisé pour la fixation des sables issus des terrils des laveries de minerais en Australie.
- pour la fixation des marnes souvent gypseuses et érodées en bad-lands de divers étages géologiques en Afrique du Nord.
- pour la fixation des voiles de sable dans les régions à sables mobiles et peu épais sur sols lourds.
- Dans la désalinisation, à Souassi (Tunisie), la teneur en NaCl a atteint 20% de la matière sèche pour *A. nummularia*, il est possible donc d'extraire d'un hectare 1100 Kg de NaCl en une année de culture.
- Reconstitution des pâturages et des zones dégradées par une remontée biologique assez importante.

Mais les meilleurs rendements restent les plantations d'arbustes fourragers réalisés sous forme de systèmes d'agro foresteries, à travers l'association des arbustes fourragers aux cultures (blé, orge, légumineuses) qui doivent être encouragées. La forme qui semble la plus appropriée est celle qui consiste à planter les arbustes en lignes ou bandes alternées avec des espaces (au moins 5 m) au niveau desquels les cultures associés sont pratiquées. Lorsque les conditions édaphiques (pente forte, affleurement rocheux) sont défavorables, il serait intéressant de procéder à un enrichissement de la flore entre les lignes ou les bandes par des espèces herbacées annuelles telles que les *Medicago* (*Medicago minima*, *M. laciniata*), *Lotus arenarins*, *Vicia sp.* ou pérennes telles que *Cymbopogon schaenanthus* et *Hipparenea hirta*. En effet, toutes les caractéristiques de la zone d'étude (types de sols, systèmes de productions dominants,

taille des exploitations, importance de l'aléa climatique...) militent en faveur de l'introduction des systèmes de cultures intercalaires (alley cropping). Ce système favorisera une intégration entre l'élevage et les cultures. En effet, en année pluvieuse, on peut s'attendre à une bonne production en céréales et en unités fourragères provenant des haies d'arbustes. Mais en année sèche, si la croissance des céréales se trouve handicapée, celle des arbustes plantés pourrait constituer une alternative de sécurité pour les agriculteurs du fait de la résistance à la sécheresse des espèces retenues.

Malgré la possibilité de diffuser par multiplication asexuée les principales espèces arbustives du genre *Atriplex*, la technique de multiplication la plus répandue est celle qui utilise les graines, avec la gestion des plants en pépinière. De nombreuses recherches ont été effectuées pour améliorer la germination et la gestion des graines (Lailhacar et Laude, 1975; Von Holdt, 2000). Sur *A. canescens*, par exemple, on a effectué un travail d'hybridation spécifique précisément pour améliorer, entre autres les caractères liés à la germinabilité des graines (Soliman et Barrow, 2000).

Le manque de disponibilité de semences des espèces à haute valeur pastorale susceptibles d'être utilisées pour l'enrichissement de la flore ou dans les programmes d'ensemencements, incite à prévoir l'installation de parcelles semencières de petite taille (5 à 10 ha) avec des clôtures qui serviraient comme source de dissémination naturelle des semences aux sites avoisinants ou pour la collecte des semences en vue de les utiliser pour l'enrichissement de la flore ou les ensemencements des autres sites à aménager. Une telle action servirait pour la démonstration des possibilités d'amélioration de la biodiversité et des bénéfices économiques et écologiques des mises en repos et partant comme moyen pour changer les connaissances, attitudes et pratiques des populations vis-à-vis des espèces pastorales ayant une valeur pastoral élevée (Yessef, 2007). Les distances de plantation sont liées à la productivité moyenne par plante, qui tend généralement à diminuer en présence de densités plus élevées, en passant de 2.500 à 10.000 plantes par hectare (Van Heerden *et al.*, 2000).

En Italie, une étude de la fonction protectrice des sols contre l'érosion hydrique ainsi que la valeur nutritive de *A. halimus* a été conduite dans l'environnement semi-aride Sicilien. Cette étude consistait en la comparaison de trois systèmes de

consolidation: herbacé, herbacé-arbustif en utilisant *A. halimus* et herbacé-arboré utilisant *Pinus halepensis*. Il s'est avéré que le système herbacé-arbustif à *Atriplex* présente les effets protecteurs contre l'érosion hydrique les plus efficaces, car outre la protection assurée par la canopée, il permet le bon développement de la strate herbacée sous la canopée et entre les arbustes. L'estimation du facteur de couverture C qui assure la protection du sol contre l'érosion a mis en évidence l'effet protecteur supérieur de ce système grâce au bon développement de l'arbuste qui a donné une couverture végétale sur des plans superposés qui ont réduit au minimum la surface nue du sol (Chisci *et al.*, 1990). En outre, l'analyse de la valeur fourragère a montré que, durant la période sèche (juin-octobre) *A. halimus* est capable de fournir une production journalière moyenne de matière sèche allant de 1 à 6 kg /ha avec une bonne valeur nutritive mais présentant une teneur élevée en sel limitant son utilisation (Stringi *et al.*, 1991).

Une autre étude en Italie du centre menée par Chisci *et al.* (2000) a montré l'effet protecteur de *A. halimus* utilisé en association avec la Sulla (*Heydisarum coronarium*) en un système d'agroforesterie sur un sol argileux utilisé en continue pour la culture du blé. L'étude a montré que cette association a nettement amélioré les propriétés physiques de ce sol augmentant la protection du sol contre l'érosion par l'amélioration de sa structure et la régénération de sa porosité diminuant ainsi le ruissellement et augmentant l'infiltration de l'eau. Cette amélioration est probablement due à la couverture le long de l'année par la canopée de la sulla et de *Atriplex*, aux résidus de sulla durant l'été et au développement d'un système racinaire profond. Cette protection est plus nette durant les périodes d'orages méditerranéens et où le système sulla-*Atriplex* garantit une bonne couverture du sol. L'augmentation des agrégats stables dans ce sol a été un bon indicateur de l'amélioration des propriétés physiques de ce sol. En plus de la protection des sols argileux marginaux, ce système d'association assure une production d'une biomasse pastorale avec une bonne valeur nutritive et disponible pour une période plus longue (Chisci *et al.*, 1991) et réduit considérablement le taux de sédiments et d'éléments nutritifs relâchés dans les eaux et les sols situés en aval de la pente permettant ainsi la diminution de l'index de l'impact environnemental (EI).

Comportement des plantes vis-à-vis d'une contrainte abiotique

Le stress abiotique limite la productivité des récoltes et joue un rôle important en déterminant la distribution des espèces végétales à travers différents types d'environnements. Le stress abiotique et ses effets sur les plantes spontanées et cultivées est un sujet qui suscite une attention de plus en plus croissante en raison des impacts potentiels du changement climatique sur les modèles de précipitations et des températures extrêmes, de la salinisation des superficies agricoles par irrigation, et de la nécessité globale de maintenir ou augmenter la productivité agricole sur les terres marginales. Sur le terrain, une plante peut subir plusieurs stress abiotiques aussi bien simultanément qu'à différentes temps durant le cycle de sa vie. (Tester et Bacic, 2005).

Plusieurs stress abiotiques sont unis par le fait qu'au moins une partie de leur effet néfaste sur les performances d'une plante est provoquée par une perturbation de son statut hydrique. Ceci peut se produire à travers une diminution de la disponibilité de l'eau dans l'environnement pendant la sécheresse, l'altération du contenu en ions et la prise d'eau générées par la salinité.

Les plantes adaptées aux conditions de sécheresse, assurent la turgescence des cellules par un ajustement osmotique qui implique une accumulation nette des solutés pour maintenir un favorable potentiel hydrique. La fermeture des stomates peut assumer des fonctions importantes dans ce contexte puisque limitera la perte d'eau et peut même maintenir des valeurs de efficacité de l'utilisation de l'eau (WUE) acceptables. La capacité de la plante de rejoindre un compromis physiologique optimal dépend de sa capacité relative d'effectuer la photosynthèse et donc de fournir les bases de carbone et de l'énergie pour l'ajustement osmotique malgré la fermeture des stomates. Chez *A. halimus*, la résistance au stress hydrique évaluée en termes de production de la biomasse pourrait être associée avec plus de hautes WUE plutôt que par un ajustement osmotique plus élevé et que le sodium (Na) assume une fonction physiologique spécifique chez cette espèce xéro halophytique C4.

Un autre rôle du sodium dans les espèces C4, comme *A. halimus*, est lié avec sa participation dans la photosynthèse. L'augmentation de la concentration du sodium dans

les plantes sujettes à un stress hydrique peut être reliée avec une augmentation dans la qualité métabolique de sodium pour soutenir la photosynthèse dans ces conditions (Martinez, *et al.*, 2003). Mais en réalité, une plante en terrains arides est exposée à des niveaux élevés du déficit hydrique et de stress osmotique parce que le potentiel du terrain diminue simultanément avec la diminution de son humidité (Martinez, *et al.*, 2003). Des études menées de Bajji en 1998 montrent qu' *A. halimus* est spécialement bien adapté aux zones arides et salées, résistance souvent attribuée à la présence de poils des vésiculeux qui couvrent la superficie de la feuille et qui contiennent une grande quantité de sel. Les plantes sous stress sont restées vivantes même en présence d'un contenu hydrique gravimétrique très bas dans le substrat. Le potentiel hydrique de ces plantes est resté plus bas du potentiel extérieur de l'eau ($\Psi_s = -3.02$ MP) ce qui confirme ainsi la grande résistance à la sécheresse d' *A. halimus*. (Martinez, *et al.*, 2003)

1. Comportement vis-à-vis d'un stress hydrique (bilan hydrique, potentiel, contenu en eau, etc.)

1.1. Effet du déficit hydrique sur les plantes

Sécheresse et potentiel hydrique bas

Bien que l'altération du statut hydrique soit un facteur commun à de nombreux stress abiotiques, il demeure d'une importance évidente durant la sécheresse.

La sécheresse peut être simplement définie comme une période de précipitation au dessous de la normale ce qui limite la productivité végétale dans un système naturel ou agricole (Boyer, 1982 ; Kramer et Boyer, 1995). Sur le terrain, la sécheresse peut causer un certain nombre de stress comprenant celui de la température, de la lumière et des éléments nutritifs. Cependant, le composant de stress qui définit la sécheresse est la diminution de la disponibilité de l'eau du sol. Cette diminution peut être quantifiée comme une diminution du potentiel hydrique ψ_w (Kramer et Boyer, 1995). Mathématiquement, le ψ_w est le potentiel chimique de l'eau divisé par le volume molaire partiel (Kramer et Boyer, 1995); ainsi, l'énergie libre de l'eau, aussi bien que la turgescence des cellules de la plante, peut être exprimée en unités de pression, et une évaluation franche de la direction du mouvement de l'eau dans le système sol/plante peut être faite. Un ψ_w diminué (énergie libre diminuée de l'eau) rend plus difficile à la

plante de prendre l'eau et ceci donne une gamme des réponses qui permettent à la plante d'éviter la perte en eau, permettant la prise d'eau par la plante même à des ψ_w réduits ou alors de tolérer une teneur en eau réduite dans les tissus végétaux.

1.2. Stratégies de la plante: Mécanismes de résistance

Une idée générale de ces réponses doit inclure les changements des flux de l'eau et les relations hydriques aux niveaux de la plante entières et au niveau cellulaire.

1.2.1. Evitement et tolérance de potentiel hydrique ψ_w bas

Pour comprendre les réponses des plantes à des potentiels hydriques ψ_w bas au niveau de l'organisme et de la cellule, il est utile de considérer la terminologie de stress-évitement/stress-tolérance proposée par Levitt (1972), dont une version modifiée est présentée sur la figure 2. Dans la plupart des cas, la première réponse de la plante est d'éviter le potentiel hydrique ψ_w bas. Le ψ_w des tissus et la teneur en eau sont maintenus près du niveau des plantes non stressées soit en augmentant la prise d'eau ou en limitant la perte d'eau de manière que les taux de perte et de prise d'eau restent équilibrés. Un tel équilibre est réalisé à court terme principalement par la fermeture stomatale. A plus long terme, des changements dans la croissance des racines et des pousses, menant à un accroissement du rapport racine/pousse, de la capacité de stockage de l'eau des tissus, de l'épaisseur de la cuticule et de la perméabilité à l'eau sont également d'une grande importance. De ces changements, l'augmentation de la croissance des racines pour maximiser la prise d'eau est de la plus grande importance pour les plantes cultivées. Dans le cas d'un faible stress hydrique ou de durée limitée, les mécanismes d'évitement peuvent être suffisants pour maintenir les performances de la plante (Kramer et Boyer, 1995). Dans de telles conditions, les modifications telles que l'augmentation de la croissance des racines ou la diminution de la conductibilité stomatique sont suffisantes pour l'augmentation de la productivité de la récolte. Le compromis dans ce cas est la photosynthèse perdue due à la diminution de la prise de CO_2 ou au changement d'attribution des ressources de la plante pour la croissance des racines aux dépens du tissu photosynthétique et reproducteur. En outre, ces mécanismes pour éviter la perte d'eau ne garantissent aucune protection contre les effets du bas ψ_w si le stress devient

plus grave et la plante ne peut plus maintenir un équilibre entre la prise et la perte d'eau. Dans les cas où le bas ψ_w ne peut pas être évité en changeant la prise d'eau et la perte d'eau, des mécanismes additionnels deviennent importants pour le maintien des fonctions de la plante.

1.2.2. Evitement de la déshydratation

Quand la transpiration est réduite au minimum, comme est le cas quand les stomates sont fermées lors d'un stress, le ψ_w de la plante s'équilibre avec celui de la source hydrique (dans la plupart des cas c'est le ψ_w du sol). Ainsi, quand la teneur en eau du sol et le ψ_w sont bas, le ψ_w du tissu végétal doit également diminuer, par la perte d'eau ou par des ajustements faits par la plante pour réaliser un bas ψ_w tout en évitant la perte d'eau. De tels ajustements se nomment Evitement de déshydratation (fig 2). Les mécanismes principaux de l'action d'évitement de déshydratation sont l'accumulation de solutés et le durcissement de la paroi cellulaire.

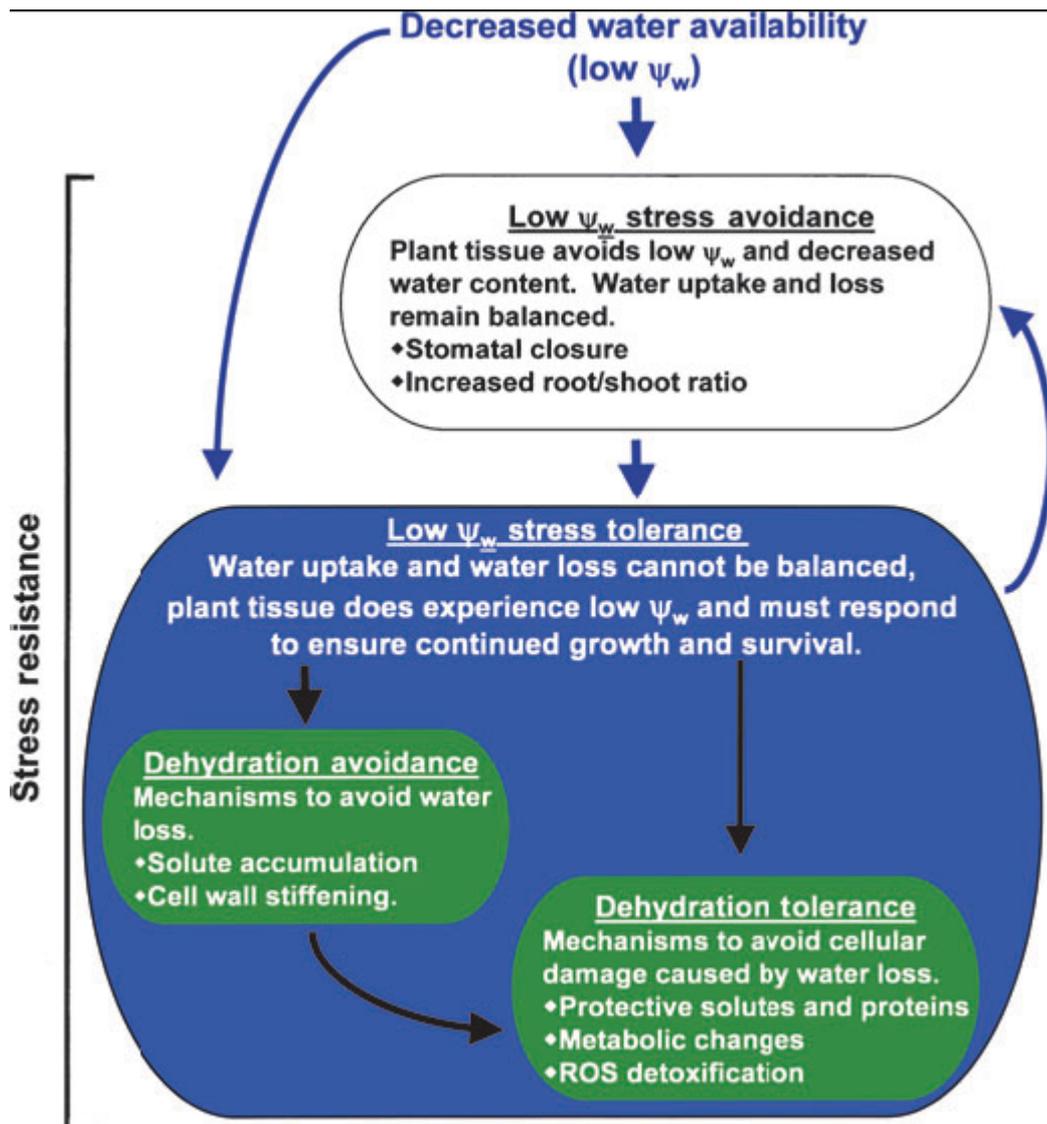


Figure 2. Diagramme conceptuel du modèle de réponse stress tolérance/ stress-évitement tolérance à des bas ψ_w . Durant les faibles stress, la plante équilibre la prise et les pertes d'eau pour éviter un effet du stress sur le ψ_w des tissus ou sur leur teneur en eau (essentiellement, le stress est gardé en dehors du tissu végétal). Si ceci ne peut pas être réalisé et le tissu végétal souffre d'un bas ψ_w (le stress devient internalisé dans le tissu végétal), les réponses au stress ont lieu pour maintenir un haut contenu en eau malgré la diminution du ψ_w (action d'évitement de la déshydratation) ou tolèrent une teneur en eau faible (tolérance de déshydratation). Nous employons le terme résistance au stress dans le cas où il n'est pas possible ou non souhaitable de se référer à un mécanisme plus spécifique. Le diagramme est basé sur la terminologie stress évitement/ stress tolérance de Levitt (1972). Source : Veslues et al 2006

La direction du flux d'eau à travers une cellule dépend du gradient de ψ_w entre la cellule et son environnement. Le ψ_w d'une cellule végétale est régi par l'équation: $\psi_w = \psi_s + \psi_p$ où le ψ_s est le potentiel osmotique et le ψ_p est le potentiel de pression (pression de turgescence). Pour qu'une cellule prenne l'eau du sol, ou de tout autre milieu de croissance, elle doit avoir un ψ_w inférieur à celui de la source d'eau. Un exemple des valeurs de ψ_w , ψ_s et de ψ_p qui pourrait se produire dans une cellule végétale entièrement hydratée et exposée à un ψ_w externe relativement élevé est présenté sur le schéma 3 (a). À un ψ_w donné, un ψ_p plus haut peut être réalisé en accumulant des solutés à l'intérieur de la cellule, abaissant ainsi le ψ_s . L'accumulation additionnelle des solutés en réponse au bas ψ_w est appelée ajustement osmotique (Zhang *et al.*, 1999). L'ajustement osmotique se rapporte à l'accumulation additionnelle active des corps dissous (solutés) en réponse au bas ψ_w . Des exemples de cellules de plantes exposées au bas ψ_w externe sont présentés sur le schéma 3 (b). La cellule supérieure sur la figure 3 n'a pas changé son contenu en solutés en réponse à une diminution du ψ_w externe; la concentration en substances dissoutes à l'intérieur de la cellule a augmenté mais c'est seulement une conséquence de la diminution de sa teneur en eau. En revanche, la cellule moyenne sur le schéma 3 (b) a accumulé les corps dissous additionnels en réponse au bas ψ_w et ceci a permis à la cellule de maintenir sa teneur en eau et son volume originaux. En réalité, l'accumulation de solutés et la perte en eau peuvent se produire dans le même tissu et il est nécessaire de mesurer aussi bien le changement du volume (expérimentalement, le changement de volume est souvent assimilé au changement du contenu en eau RWC (fig 3) et le changement de la teneur en solutés pour pouvoir calculer l'ampleur de l'ajustement osmotique. Ceci peut être fait par le calcul de ψ_s^{100} [le potentiel osmotique à complète turgescence (Babu *et al.*, 1999)] comme représenté pour les exemples sur la figure 3 (b). Il est important que les solutés accumulés pour empêcher la perte d'eau n'interfèrent pas eux-mêmes dans la fonction cellulaire.

Ainsi, beaucoup de plantes accumulent un ou plusieurs types de corps dissous compatibles, tels que la proline ou la glycine bêtaïne, en réponse au bas ψ_w , à la salinité, à la congélation ainsi qu'à d'autres stress abiotiques qui altèrent le statut hydrique de la plante. Ceux-ci et d'autres solutés similaires sont appelés solutés compatibles parce

qu'ils peuvent s'accumuler à des niveaux élevés sans interférer avec le métabolisme (Yancey *et al.*, 1982) et peuvent même avoir des propriétés protectrices .

L'ajustement et l'accumulation des substances dissoutes compatibles peuvent être un facteur important dans la tolérance à la sécheresse sur le terrain (Kramer et Boyer, 1995; Morgan, 1984, 1991), et les technologies pour une majeure synthèse des solutés compatibles est l'une des approches adoptées pour augmenter la tolérance aux stress abiotiques des plantes. (Apse et Blumwald, 2002; Bohnert et Shen, 1999). Le compromis dans ce cas est que la plus grande accumulation des solutés compatibles peut demander une énergie et des ressources intensives pour la plante, et, en cas de stress sévères, où la teneur en eau du sol est en grande partie épuisée, peut avoir seulement un effet mineur sur l'absorption de l'eau (Kramer et Boyer, 1995). Les propriétés des parois cellulaires jouent également un rôle important dans plusieurs réponses aux stress abiotiques, y compris l'évitement de la déshydratation. La déformabilité de la paroi cellulaire peut être mesurée par le module élastique de la paroi cellulaire, (fig 3). D'une manière simple, ϵ est le changement de pression exigé pour causer un changement d'une unité de volume de cellules (Kramer et Boyer, 1995; Murphy et Ortega, 1995). Quand ϵ est bas, la paroi cellulaire se déforme aisément; ainsi une perte de l'eau causera un grand changement de volume mais un petit changement de turgescence car la paroi cellulaire se rétrécit et continue à serrer le cytoplasme. La grande turgescence fera demeurer le ψ_w haut, permettant ainsi une perte d'eau supplémentaire de la cellule. En revanche quand ϵ est haut, une petite perte de l'eau cause un petit changement du volume de la cellule, mais une diminution rapide de la turgescence et du ψ_w ce qui permet à la cellule d'éviter une perte d'eau supplémentaire. Ceci peut être vu en comparant la cellule du haut sur le schéma 3 (b), qui a un ϵ relativement élevé, avec la cellule inférieure sur le schéma 3 (b). En raison de l' ϵ élevé, la cellule du bas peut éviter en grande partie la déshydratation même en l'absence de l'accumulation de solutés. Le compromis de cette stratégie est que la rigidité de la paroi ainsi que la perte de turgescence empêchent toute expansion de la cellule. Ainsi, accroître ϵ pour éviter la perte d'eau est une stratégie qui est en grande partie confinée aux tissus qui ne se développent pas. En outre, en l'absence d'une augmentation du ψ_w de la source d'eau, l'accumulation des solutés est encore nécessaire pour que cette cellule abaisse son ψ_w et absorbe l'eau.

(a) **Unstressed**
(External ψ_w -0.2 MPa)

$\psi_s = -0.7$ MPa
 $\psi_p = 0.5$ MPa
 $\psi_w = -0.2$ MPa
 RWC = 100%
 $\psi_{s100} = -0.7$ MPa
 $\epsilon = 1.7$ MPa

(b) **Low ψ_w stress**
(External ψ_w -1.0 MPa)

$\psi_s = -1.0$ MPa
 $\psi_p = 0.0$ MPa
 $\psi_w = -1.0$ MPa
 RWC = 70%
 $\psi_{s100} = -0.7$ MPa
 $\epsilon = 1.7$ MPa

No response

No action taken to prevent water loss.

Decreased RWC and loss of turgor.

ψ_w components
 $\psi_w = \psi_s + \psi_p$
 ψ_w = water potential
 ψ_s = osmotic potential
 ψ_p = turgor potential
 RWC = relative water content
 $\psi_{s100} = \psi_s$ at 100% RWC

Cell wall elastic modulus (ϵ)

$$\epsilon = V \frac{\Delta\psi_p}{\Delta V}$$
 V = cell volume
 $(\Delta V \sim \Delta RWC)$

$\psi_s = -1.5$ MPa
 $\psi_p = 0.5$ MPa
 $\psi_w = -1.0$ MPa
 RWC = 100%
 $\psi_{s100} = -1.5$ MPa
 $\epsilon = 1.7$ MPa

Solute accumulation

Cellular solute content increased by -0.8 MPa (240 mM).

Turgor, RWC (and V) maintained.

$\psi_s = -1.0$ MPa
 $\psi_p = 0.0$ MPa
 $\psi_w = -1.0$ MPa
 RWC = 90%
 $\psi_{s100} = -0.7$ MPa
 $\epsilon = 5$ MPa

Cell wall hardening

Increased ϵ .

RWC maintained without solute accumulation but with loss of turgor.

Figure 3. (a) Valeurs possibles pour ψ_w , ψ_s et ψ_p et ϵ (extensibilité de la paroi cellulaire) dans les cas de non stress ($\psi_w = -0.2$ MPa), (b) altérations de ces mêmes paramètres à l'exposition à un léger stress hydrique ($\psi_w = -1$ MPa) : Trois scénarios sont possibles : pas de

réponse (haut) ; accumulation de solutés (milieu) et ajustement de l'extensibilité de la paroi cellulaire(bas) .Source Source : Paul.E Veslues et al 2006

1.2.3. Tolérance de la déshydratation

Pendant que le stress hydrique devient plus sévère, il devient de plus en plus difficile pour la plante d'éviter la déshydratation et les mécanismes pour tolérer la teneur en eau réduite deviennent importants. Les exemples les plus marquants de la tolérance à la déshydratation sont les plantes tolérantes à la dessiccation et qui peuvent récupérer d'un état entièrement séché à l'air (Oliver *et al.*, 2000; Vicre *et al.*, 2004). Une fois entièrement déshydratées, ces plantes sont dans un état métaboliquement inactif très semblable à la graine en dormance.

2. Comportement vis à vis d'un stress salin

2.1. Similitudes et différences entre stress hydrique, stress salin et d'autres stress abiotiques

La salinité élevée cause plusieurs types de stress à la plante comprenant l'altération de l'absorption des éléments nutritifs, spécialement des ions K et Ca ainsi que l'accumulation des ions toxiques, particulièrement Na, stress osmotique et oxydatif. Puisque le NaCl est le composant principal de la plupart des sols salins, notre utilisation de la salinité et du stress salin se réfère au stress causé par des concentrations élevées de NaCl. Le stress salin diffère de celui hydrique causé par un faible potentiel hydrique imposé par le séchage de sol ou de solutés à haut poids moléculaires tel que le PEG en le fait que les dommages causés par le stress salin à long terme est surtout le déséquilibre ionique et la toxicité provoqués par le Na plutôt que l'effet du sel sur le potentiel hydrique réduisant la disponibilité en eau. (Munns, 2002). Munns (2002) se rapportant à plusieurs études indique que les réponses rapides au sel (réponses qui se produisent dans quelques heures d'application de sel) ressemblent souvent à des réponses au bas ψ_w imposé utilisant des ions à haut poids moléculaire. Cependant, les réponses à plus long terme qui se produisent dans un délai de jours voire des semaines sont eux plus spécifiques au stress salin. Ceci est compatible avec l'isolation de

plusieurs mutants hypersensibles sensibles au sel (SOS: Salt Overly Sensitive) mais pas au stress non ionique et ajustent un nombre relativement de procédés transport d'ion et de gènes spécifiquement impliqués dans la tolérance au stress salin (Gong *et al*, 2001; Shi *et al*, 2002; Wu *et al.*, 1996; Zhu, 2000; Zhu *et al.*, 1998).

Comprendre les mécanismes de la plante pour la tolérance au sel permet le développement génétique de produits tolérants. La recherche dans le domaine de la tolérance au sel représente une part importante de la biologie de base des plantes, contribuant à notre pouvoir de comprendre des sujets allant de la régulation génétique et les signaux de transduction aux transports des ions, l'osmorégulation et la nutrition minérale. En plus, certains aspects des réponses au stress salin sont intimement liées aux réponses aux stress hydrique et au stress causé par le froid (Zhu, 2001). L'étude de la tolérance au sel contribue donc à la compréhension des mécanismes croisés des stress abiotiques. Les études du stress salin sont très souvent situées dans une des quatre catégories suivantes:

- La physiologie de la toxicité du sel et la tolérance au sel en plus de la réponse de la plante entière
- Les mécanismes du transport du sel à travers les membranes cellulaires et sur de longues distances dans les plantes y compris la caractérisation des différents transporteurs d'ions impliqués dans l'absorption, l'extrusion, la compartimentalisation et le contrôle de transport à longue distance
- L'étude des gènes dont l'expression est régulée par le stress salin
- L'analyse mutationnelle des agents déterminants dans la tolérance et la signalisation du stress salin

Cette vue d'ensemble met l'accent sur les progrès récents dans l'analyse génétique de la tolérance au sel chez des espèces sensibles au sel comme *Arabidopsis*. En effet, les études de tolérance au sel se font actuellement sur des plantes sensibles au sel.

Avec leur haut niveau de tolérance au sel, les halophytes pourraient apparaître comme des plantes de choix pour la recherche des gènes et pour étudier les mécanismes de tolérance. Nombreux groupes de recherche ont étudié des halophytes variés dans un

effort de cloner les gènes responsables de la tolérance au sel (Bonhert *et al.*, 1995) mais vue la complexité de ces mécanismes et le manque d'un système génétique bien défini, le potentiel des halophytes à révéler ces mécanismes demeure encore à réaliser.

Du fait que les glycophytes telle que *Arabidopsis* est très sensible au sel, on pourrait croire qu'elle n'est vraiment pas indiquée pour l'étude des mécanismes de tolérance au sel. Cependant, des études sur des cellules de plantes glycophytes a montré que ces cellules pourraient s'adapter à tolérer des concentrations de sel qui pourraient tuer des cellules inadaptées. En effet, toutes les plantes peuvent aussi devenir tolérantes au sel si on les expose à des concentrations de sel non létales (Amazallag *et al.*, 1991).

Même si les processus d'adaptation au sel n'ont pas eu le même intérêt que l'acclimatation au froid, probablement en raison des difficultés techniques d'implémentation quantitative des traitements d'« Acclimatation au sel», le fait que l'adaptation peut augmenter la tolérance au sel suggère que les glycophytes ont eux aussi la machinerie de tolérance au sel mais qui pourrait ne pas être effectivement opérative dans des conditions de non- adaptation. Par conséquent, la différence de tolérance au sel entre les halophytes et les glycophytes semble être plutôt quantitative que qualitative et que les mécanismes de base pour la tolérance au sel sont probablement conservés dans toutes les espèces de plantes. La différence dans la sensibilité/ tolérance pourrait être le résultat des différences dans les circuits régulateurs ou alors des gènes allèles qui codent pour les effecteurs de la clé de la tolérance au sel.

Le succès d'*Arabidopsis* comme modèle génétique pour les études de résistance aux maladies a attiré les investigateurs pour tester la faisabilité de son utilisation comme plante modèle pour l'étude de la tolérance au sel. Le triage de mutants tolérants à des concentrations élevées en sel durant la germination représente les premières tentatives. Ainsi on a identifié les mutants résistants au sel durant la germination (Saleki *et al.*, 1993). D'autres triages de mutants utilisent l'effet inhibiteur du sel sur la croissance racinaire (mutants SOS: Salt Overly Sensitive) (Zhu, 2000) ou la croissance générale des plantules. L'identification des loci des Plantes très Sensibles au Sel ou (SOS) a découvert une importante voie de régulation qui contrôle l'homéostasies des

ions et la tolérance au sel. Il est alors prévu, vus les résultats obtenus, que l'utilisation d' *Arabidopsis* comme plante modèle continuera pour comprendre les mécanismes de tolérance au sel chez les plantes supérieures (Zhu, 2000)

Les effets du sel peuvent être mesurés par les effets sur la croissance (poids frais ou sec des racines, surface foliaire, expansion de la feuille, période de la floraison et récolte de la semence) et la conductibilité stomatique et l'échange de gaz durant la photosynthèse. Les expériences spécifiques à faire dépendent du trait de plus grand intérêt et de la faisabilité des expériences pour le nombre de géotypes à expérimenter. Il est à noter que de telles expériences ne peuvent pas déterminer si les différences observées sont provoquées par les changements d'homéostasie des ions (par exemple le changement dans l'accumulation de Na des pousses ou le rapport de K/Na) ou le changement de tolérance vis-à-vis de l'accumulation de Na. Pour répondre à cette question il est nécessaire de quantifier également le contenu d'ions dans les tissus et/ou l'absorption des ions. Une investigation complète de l'effet d'un changement génétique particulier sur la réponse au stress salin devrait inclure une quantification de l'accumulation des ions dans le tissu végétal. La majeure partie des niveaux de Na et d'autres ions d'intérêt peuvent être mesurés par des méthodes simples telles que la spectroscopie d'absorption atomique. Le potassium est d'un intérêt particulier dans le maintien de la vie, car il maintient la sélectivité de K / Na qui est critique pour la tolérance au sel (Zhu, 2003).

Etant données les différentes réponses au stress abiotiques, il n'est guère surprenant que ces réponses soient sous le contrôle d'un réseau complexe de régulation. Ce réseau répond aux stimuli externes comme la perte de turgescence ou la réduction du contenu en eau des cellules et aux stimuli internes comme la production de ROS (Reactive Oxygen Species) dont la plante contrôle le niveau lors de la tolérance à la déshydratation) et les différents stimuli hormonaux qui reflètent le statut métabolique de développement de la plante (Velsus, 2006). Même si plusieurs composantes moléculaires impliquées dans la régulation demeurent non caractérisées, l'acide abscissique ABA est connu pour être un facteur de régulation clé pour le contrôle des réponses des plantes à plusieurs stress abiotiques dont le stress hydrique et salin. L'ABA s'accumule lors d'un stress et régule les processus impliqués dans tous les

aspects de la réponse de la plante au bas potentiel hydrique. ABA- Régulateur de la conductance stomatique et la croissance racinaire est important dans l'évitement des potentiels hydrique bas (Schroeder *et al.*, 2001; Sharp et Le Noble, 2002); ABA-inducteur de l'accumulation des solutés compatibles peut être crucial pour l'évitement de la déshydratation (Ober et Sharp, 1994) et ABA –régulateur de la synthèse des dehydrines et des protéines est important pour la tolérance à la déshydratation (Sivamani *et al.*, 2000; Xu *et al.*, 1996). Comme cela, et au niveau de l'organisme, il paraît que l'action essentielle de l'ABA reste la coordination des différents aspects de la réponse au faible potentiel hydrique.

3. Comportement du genre *Atriplex* face au stress abiotiques

3.1 Réponse au déficit hydrique

L'eau est le facteur le plus important pour la détermination de la productivité des nombreuses espèces d'*Atriplex* qui occupent les zones arides. Il y a au moins trois stratégies que la plante adopte pour pouvoir vivre dans des endroits présentant des ressources hydriques limitées: par la minimisation des pertes d'eau; l'augmentation de l'extraction de l'eau du sol et par l'augmentation de l'habilité à tolérer un potentiel hydrique bas des tissus sans être endommagée. La principale minimisation des pertes d'eau se fait à travers par le contrôle stomatique de la transpiration et par des changements morphologiques qui réduisent le taux de radiation absorbées par les feuilles. La seule stratégie qui permet l'augmentation de l'absorption de l'eau du sol est l'augmentation du volume racinaire et la principale façon de tolérer des potentiels hydriques bas est l'ajustement osmotique. Chacune de ces stratégies d'adaptation à la sécheresse a de grandes limites chacun résulte en une réduction du potentiel de gain de carbone (Osmond, 1980). Les espèces des régions arides telle que *A. halimus* sont généralement capables de tolérer considérablement des potentiels hydriques bas des feuilles avant la fermeture des stomates même quand il sont conduits dans des conditions de bons apports hydriques. Les stratégies des plantes concernant la régulation des pertes en eau peut changer entre les espèces d'un même genre et même dans une même espèce su différents habitats. Le principal contrôle diurne des stomates dans un habitat désertique est celui de l'irradiation, température et par l'état hydrique des feuilles. En d'autres termes, les stomates s'ouvrent en réponse à une demande croissante de CO₂ en maintenant une grande efficacité d'utilisation d'eau. C'est seulement quand la perte en eau menace de causer un déclin excessif dans le potentiel des feuilles que la prévention de la soif prend la précedence devant la prévention de la faim (Osmond, 1980).

On ne connaît pas une espèce d'*Atriplex* capable d'un rapide mouvement de feuilles, mais on a observé que plusieurs espèces d'*Atriplex* changent l'inclinaison de leurs feuilles saisonnièrement. Tôt au printemps, quand la température est basse et l'eau

est assez abondante, les feuilles sont dans une position horizontale permettant une interception maximale des rayons. Quand la chaleur et la sécheresse augmentent en été, les feuilles s'inclinent et par conséquent, la radiation reçue et la transpiration s'en trouvent amoindries. L'inclinaison des feuilles d'*Atriplex* comme observé durant l'été dans une zone de désert réduit d'une façon significative la température et le taux de transpiration en comparaison avec les feuilles en position horizontale trouvées durant l'hiver et au début de printemps. L'inclinaison des feuilles d'*A. hymenelytra*, par exemple, a lieu en même temps qu'une augmentation de leur réflectance qui change d'environ 35% durant l'hiver à environ 60% en été. L'effet combiné de l'inclinaison des feuilles et le changement de réflectance permet aux feuilles inclinées à haute réflectance de rester à une température de 2 °C en dessous de celle de l'air et de transpirer 30% moins vite que les feuilles en position horizontale et ayant une basse réflectance et ce à une ouverture stomatique constante (Osmond, 1980).

La zone d'élongation maximale des racines et par conséquent d'extraction de l'eau du sol est initialement limitée à la surface du sol mais elle va rapidement en profondeur du profile à travers les saisons. Au mois d'Août, quand ψ_p est d'environ -70 bar et ψ_s à 40 cm est de -60 bar, l'élongation racinaire est presque entièrement dans le profile du sol en dessous de 60 cm où les racines cherchent des potentiels d'eau plus hauts. Il n'y a plus d'activité racinaire en surface du sol. De ce fait, et durant la saison sèche, l'enracinement profond permet aux plantes de trouver un potentiel d'eau plus élevé que celui des pousses permettant ainsi à la plante d'assurer le transport d'eau et de conserver son statut hydrique. Bien sur, pour pouvoir continuer à explorer le profile à la recherche d'un potentiel haut, la croissance racinaire pèse beaucoup à la photosynthèse qui doit assurer l'énergie nécessaire pour ce faire et ce durant un temps où cette photosynthèse elle même est fortement diminuée par une conductance stomatique faible (Caldwell *et al.*, 1977). Il est alors évident que toutes les stratégies utilisées par la plante pour contrôler les pertes aussi bien que l'absorption de l'eau constituent un complexe de compromis dont le résultat est une réduction de la photosynthèse et la destination des produits de cette dernière principalement pour appuyer et favoriser la croissance racinaire au plus profond du sol.

Enfin, l'activité physiologique dans des plantes dans des conditions de faible potentiel hydrique dans des conditions naturelles dépend de leur capacité pour l'ajustement osmotique. Chez les plantes non halophytes, l'accumulation de métabolites comme les sucres et les acides carboxyliques fait augmenter la pression osmotique de -5 à -10 bar et sont de ce fait la majeure composants de cet ajustement osmotique limité possible dans ces plantes (Jones *et al.*, 1979). Dans d'autres, l'accumulation de solutés inorganiques peut aussi être importante. L'ajustement osmotique par l'absorption de sels en réponse à un traitement salin a été observé dans les expériences de Eaton, (1927) avec le blé et *A. semibaccata*. Il a observé que les deux espèces étaient capables de garder une pression osmotique de la sève supérieure à la pression osmotique du sable traité avec du sel qui servait de milieu de culture. Ashley et Beadle (1957) ont noté un comportement similaire chez des plantules de *A. nummularia* cultivés dans de l'eau salée.

3.2 Réponse au stress salin

Les plantes halophytes sont décrites comme des plantes qui poussent et complètent leur cycle de vie dans des habitats à salinité élevée. Même si *Atriplex spp* ne demande pas plus que des quantités traces de Na pour sa croissance normale, il montre une stimulation de la croissance en réponse au NaCl. Le fait qu'elles peuvent compléter leur cycle de vie dans des habitats salins est démontré par leur distribution sur les régions salines à travers le monde. Une classification élaborée est basée sur un minimum de données sur leur statut ionique, et sont même étendus à certains processus comme l'exclusion, l'accumulation ou l'excrétion des ions.

A. halimus a été décrit comme « sel-excluseur terrestro-xero-euryhalophyte » (Waisel, 1973). Une des confusions qui apparaît suite à cette classification des halophytes est le fait qu'ils peuvent être groupés en deux catégories: sel- accumulateurs et sel- excluseurs, en effet, cette distinction est difficile à soutenir même pour des comparaisons classiques entre deux espèces qui peuvent toutes les deux exclure le sel si on compare les concentrations de la sève du xylème mais toutes les deux accumulent le sel si l'on compare les concentrations des feuilles.

La tolérance au sel est souvent vue comme l'interaction de l'absorption, du transport et des processus d'excrétion des ions qui permet l'ajustement osmotique effectif par le biais de l'accumulation de sel. Dans cette optique, les halophytes qui ont réussi ont réduit le problème de la tolérance à la salinité à celui de maintenir les relations hydriques de la cellule et l'activité biologique normale en équilibre avec le bas potentiel hydrique du substrat salé et de l'atmosphère et ceci est assuré par la combinaison de plusieurs processus, mais l'argument central est le fait que les halophytes ont la capacité de maintenir la turgescence des cellules par accumulation de sel et continuent leur croissance car pour toutes les plantes la croissance et l'augmentation du rendement en matière sèche ne sont possibles que si la turgescence des tissus est maintenue. Cette vue de la tolérance à la salinité aurait besoin d'une petite modification pour tenir compte de la possibilité de la toxicité d'ions inorganiques spécifiques.

Il est évident que *Atriplex spp* venant de différents environnements est caractérisé par des niveaux de NaCl très hauts dans les pousses, surtout pour les lignées des régions arides. Eaton (1927) a été sans doute le premier à conduire l'expérience de faire croître *Atriplex* sur un substrat à un gradient de salinité en conditions contrôlées et a démontré la capacité de *A.semibaccata* d'absorber des concentrations élevées de NaCl de la solution de culture. Des résultats similaires ont été observés par Greenway 1968 menés sur la culture de *A. nummularia* sur des solutions à une concentration de 300 mM de NaCl et a trouvé que les concentrations de $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ des feuilles était largement supérieur à celui des racines.

La grande capacité d'absorption de NaCl chez les halophytes doit être expliquée en terme de processus d'assimilation dans les cellules des racines. Plusieurs tentatives d'expliquer cette grande capacité d'assimilation de grandes quantités de sel par les racines chez les halophytes ne sont pas concluantes. La grande capacité d'absorption de sel suggère que l'assimilation des ions chez les halophytes diffère significativement de celle des non halophytes. Ces différences sont elles liées aux propriétés d'affinité ou à des propriétés de vitesse de processus d'assimilation tenant compte de la concentration dans le milieu extérieur? Cette question reste toujours posée.

Même si on a peu de connaissances sur la relation entre le taux d'apport des ions aux feuilles et les ions mis dans les vacuoles, il est évident que les feuilles de plusieurs *Atriplex* spp sont équipées d'un système d'excrétion du sel qui doit réguler la charge saline. Les feuilles de plusieurs *Atriplex* spp sont couvertes de trichomes épidermiques qui contiennent des concentrations de sel élevées et plusieurs laboratoires ont confirmé que ces trichomes ont pour fonction l'excrétion de sel. Chez certaines espèces d'*Atriplex* spp, plus de 50% du sel transporté aux pousses serait excrété à travers ces trichomes.

Les plantes halophytes comme *A. halimus* montrent une sélectivité moindre pour l'ion K^+ de celle des plantes non halophytes durant l'absorption et le transport des ions de solutions de culture contenant des concentrations équimolaires de NaCl et de KCl. En plus, le rapport K^+/Na^+ décroît des racines vers les pousses et décroît aussi chaque fois que les ions se déplacent à travers l'apoplaste ou le symplast vers la vacuole d'une autre cellule. Quand *Atriplex* ou tout autre halophyte croit sur des solutions contenant des concentrations croissantes de NaCl, l'absorption de K^+ est maintenue et K^+ dans les tissus n'est pas inférieur en deçà d'un certain niveau minimum bien que le rapport Na^+/K^+ dans la solution est supérieur à 100 (Black, 1960). De même, l'absorption de Na^+ est maintenue dans des solutions de grandes concentrations de KCl (Osmond, 1960). Black (1960) a proposé que les racines des halophytes ont une faible capacité relativement spécifique d'absorption et de transport pour K^+ et Na^+ mais une grande capacité non spécifique d'absorption et de transport pour laquelle les deux ions sont en compétition.

Par ailleurs, des métabolites spécifiques nommés solutés compatibles sont impliqués dans la régulation de l'activité osmotique du cytoplasme. Ces solutés sont produits en réponse au stress hydrique chez la plupart des organismes Eucaryotes et sont caractérisés par le fait que, contrairement aux électrolytes, ils n'ont aucun effet sur l'activité enzymatique in vitro aux mêmes concentrations osmotiques.

Les plantes halophytes se distinguent par leur capacité à produire des quantités beaucoup plus grandes de ces solutés et dans plusieurs espèces d'*Atriplex*, les composés d'ammonium quaternaire nommé Glycine bêtaïne est présent en grandes concentrations

(Story *et al.*, 1979). Ces composés ont un grand rôle dans l'osmorégulation, ce sont d'importantes réponses métaboliques à la salinité chez *Atriplex* et d'autres *Chenopodiaceés*. On croit que la rétention adéquate de K^+ dans le cytoplasme et la synthèse de ces solutés compatibles comme la glycine bêtaïne et la proline sont des processus importants dans la maintenance de l'activité métabolique chez les halophytes exposés au stress salin.

L'accumulation contrôlée des sels dans les vacuoles permet l'osmorégulation au sein des cellules des feuilles leur permettant ainsi de maintenir leur turgescence à un potentiel hydrique des feuilles plus bas. *Atriplex spp* prendrait un avantage de sa tolérance au sel pour maintenir une activité biologique dans les tissus des feuilles situés entre le faible potentiel hydrique du substrat salé et le potentiel hydrique de l'atmosphère encore plus bas. En effet, la stimulation de la croissance d' *A. halimus* par des salinités faibles est observé seulement dans des conditions de déficit hydrique atmosphérique (Gale *et al.*, 1970). L'accumulation de sels chez les halophytes contribue beaucoup à leur capacité de maintenir une activité durant la période la plus sèche de leur cycle de vie. Le contrôle de l'absorption des ions et des éléments nutritifs dans les cellules par exemple serait basé sur un «point de départ» de la concentration interne ou de la turgescence de la cellule qui donne les signaux pour la régulation de l'afflux des ions selon un mécanisme inconnu. On peut seulement penser que plus élevées sont les concentrations de sel, plus hauts sont ces « point de départ» pour la régulation de l'absorption du sel. Le transport rapide du Na Cl.

L'excrétion des sels via les trichomes épidermiques n'est pas le seul contrôle que la plante peut faire, en effet, et si ce contrôle ne réussit pas ou que la surface des feuilles de certaines espèces est pauvre en trichomes, l'augmentation de la succulence constitue une autre mesure de régulation. Elle consiste en la dilution des sels dans la feuille par augmentation du volume des cellules. Cette régulation implique un complexe d'interactions entre l'absorption ionique, les relations hydriques dans les cellules, et le métabolisme dans la paroi cellulaire. Elle implique aussi l'élongation des cellules hypodermiques chez les espèces d'*Atriplex* et l'élongation de toutes les cellules des feuilles chez d'autres espèces. La dominance et l'efficacité de la succulence et celles des glandes à sel pour la régulation des relations ioniques chez les halophytes des

régions arides est encore sujet de discussions. Lequel des deux mécanismes de régulation est le plus dominant, reste inconnu, mais ce qui est sur est que les deux mécanismes sont impliqués chez certaines espèces d'*Atriplex* et, du fait que ni l'excrétion, ni la succulence n'ont un effet remarquable sur la capacité métabolique chez les halophytes, tous les deux doivent être vus comme des mécanismes facilitant la compartimentation du sel dans les vacuoles maintenant ainsi une turgescence adéquate dans les tissus des feuilles (Osmond, 1980)

En conclusion, les processus d'absorption ionique chez les halophytes, notamment chez les *Atriplex* fonctionneraient de manière à faciliter l'accumulation des ions dans la vacuole des cellules des feuilles en maintenant une concentration basse dans le cytoplasme. De cette manière, les sels n'interfèrent pas d'une façon significative sur le métabolisme des feuilles et permettent en même temps l'augmentation de la pression osmotique de la vacuole.

Objectifs de la thèse

1. Objectifs généraux :

L'*Atriplex*, dans l'optique toujours plus actuelle de la diversification de l'offre alimentaire pour les ruminants, et du renforcement de la stabilité et de la flexibilité au niveau des entreprises d'élevage peut représenter un anneau stratégique dans la chaîne de l'affouragement en vert au parcours pour les systèmes agro-pastoraux des régions aride set semi-arides méditerranéenne en combinaison avec d'autres ressources alimentaires.

Un autre motif pour le regain d'intérêt pour l'*Atriplex* est sa multifonctionnalité: son intérêt est (i) économique dans la mesure où face à un coût toujours plus élevé des facteurs de production (Fertilisants, semences, carburant) lié à l'augmentation du prix des produits pétroliers, l'*Atriplex* représente une ressource fourragère permanente pour lequel les coûts d'installation s'amortissent sur la durée de son exploitation rendant son introduction très avantageuse d'un point de vue économique. (ii) environnemental: pour sa contribution dans les travaux de consolidation des pentes, construction de bordures des champs faisant fonction de brise-vent réduisant les effets de l'érosion éolienne, de couloirs écologiques qui favorisent la biodiversité au niveau territorial (Oiseaux, insectes, etc), Récupération des aires dégradées (caves, mines, décharges, etc)

Les caractéristiques particulières de l'espèce *A. halimus*, espèce typiquement méditerranéenne, valorisant d'une manière écologiquement durable aussi bien le milieu littoral que celui des régions arides, a suscité l'intérêt de beaucoup de chercheurs à travers le monde. Sa réponse aux conditions de salinité et de déficit hydrique en font une espèce particulièrement précieuse pour son utilisation dans la réhabilitation des terrains dégradés à risque de désertification. Mais comme l'utilisation stratégique de cette espèce requiert avant tout une bonne connaissance de ses caractéristiques, de ses limites d'adaptation aux conditions de stress abiotiques, de sa valeur fourragère pour son utilisation comme alimentation de bétail, notre intérêt s'est porté sur quelques

clones de cette espèce provenant de colonisations naturelles sur le territoire de la Sardaigne.

A. nummularia est une espèce largement utilisée dans la réhabilitation des parcours dégradés. En effet, des millions d'hectares des zones de parcours sont plantés chaque an utilisant des espèces du genre *Atriplex* surtout *A. nummularia*, espèce d'origine Australienne alors que *A. halimus*, espèce autochtone et bien adaptée aux conditions de ces milieux, au pacage sur pied, à la salinité et aux longues sécheresses reste peu connue et souvent non utilisée dans les programmes de réhabilitation.

L'objectif est donc de contribuer à une meilleure connaissance de deux espèces prometteuses du genre *Atriplex*: *A. halimus* encore peu utilisé malgré ses grandes potentialités et *A. nummuilaria* qui se cultive sur les grandes étendues, pour combattre la désertification et la récupération des terrains dégradés ainsi que pour la compréhension des mécanismes de résistance développés par ces espèces face aux stress abiotiques les plus communs aux régions arides et semi arides: le déficit hydrique et la salinité des sols.

2. Objectifs spécifiques

Puisque la résistance à la sécheresse et à la salinité est une caractéristique complexe qui implique beaucoup de mécanismes d'interactions, il y a un intérêt croissant pour étudier le comportement physiologique des espèces pour connaître les réponses de quelques clones aux différents stress qui peuvent être plus ou moins semblables à ceux présents dans les terrains des zones arides et semi-arides auxquels elles sont destinées .

A. halimus est caractérisé par une grande variabilité intra spécifique qui affecte plusieurs traits (Le Houerou, 2000) aussi, toutes les informations récoltées de cette espèce dans différents habitats et qui présentent de ce fait différentes stratégies d'adaptation aux stress abiotiques les plus fréquents pourrait aider à la Selection de génotypes ayant des qualités en termes de valeur nutritive et l'adaptation pédo - climatique pour leur intégration dans différents programmes d'amélioration de la

production animale et de réhabilitation des terrains pour un développement durables des zones marginales. On s'est donc proposé de cerner différents aspects de ces deux espèces à savoir:

La propagation, la phénologie, la valeur fourragère, la réponse au stress abiotiques: salin et hydriques afin d'avoir des éléments tangibles pour l'aide à la Sélection génétique en vue de la multiplication de quelques clones pour leur utilisation dans les programmes de lutte contre la dégradation environnementales en Sardaigne comme dans d'autres régions du bassin Méditerranéen.

Actuellement, plusieurs des essences arbustives proposées depuis toujours par les pépinières ne sont pas adaptées pour les interventions de restauration des aires dégradées (mines, décharges, exutoires, etc.) surtout dans les zones où une irrigation et des travaux culturaux post-plantation ne sont pas possibles.

En outre, l'individualisation de clones capables de s'installer et de coloniser des terrains privés de végétation et leur faculté de pérennisation dans le temps sans dépenses ultérieures pour l'entretien représente un objectif extrêmement important pour les aspects applicatifs sur le territoire régional Sarde.

A la lumière d'une sensibilité environnementale toujours plus croissante, la nécessité d'avoir à disposition un nouveau matériel végétal autochtone est toujours plus pressante. En effet, il est connu qu'en Sardaigne plusieurs zones côtières ainsi que des zones minières sur les collines de l'intérieur représentent un patrimoine environnemental notable réglementé par des normes récentes de tutelle (Zones de Patrimoine Spécial e Sites d'Intérêt Communautaire). Dans de tels sites comme dans d'autres zones sensibles (Réserves naturelles), les processus de requalification environnementales doivent être conduits à travers l'utilisation d'espèces provenant de la flore locale.

Matériel et Méthodes

1. Matériel végétal

Le programme de travail prévoit avant tout, l'acquisition du matériel végétal. Selon la littérature, les espèces du genre *Atriplex* donnent en général facilement des racines (Malan, 2002). On a décidé donc d'employer les boutures pour la reproduction végétative des deux espèces *A. halimus* et *A. nummularia*. Tout le matériel végétal pour les différentes expérimentations a été obtenu à partir de plantes mères elles même obtenues par reproduction agamique à partir de rameaux portés de différentes colonies d'*A. halimus* à travers la Sardaigne et par reproduction agamique de rameaux d'*A. nummularia* provenant de plantes mères et cultivés sur des vases. Les clones d'*A. halimus* sont identifiés grâce à un code de trois lettres alphabétiques qui sont les initiales des lieux où les colonies ont été trouvées et d'un chiffre qui permet de distinguer les diverses plantes provenant de la même zone (Tab 4).

Le matériel de propagation consiste donc en les meilleurs rameaux pris des vases mis dans une serre de la station expérimentale du département d'économie et systèmes arborés de l'université de Sassari, située dans la localité de Fenosu à Oristano. Les rameaux ont été coupés avec de simples sécateurs pour la taille des végétaux. Les boutures de dix centimètres environ et de deux nœuds en moyenne ont été débarrassées des feuilles en excès pour minimiser les pertes en eau par transpiration pour éviter la dessiccation, puis mis sur un lit de perlite sous une serre froide dotée d'un chauffage basale de 28 °C avec un système d'irrigation de type «Mist ». De chaque échantillon provenant d'une plante mère on a mis à radication 150 boutures, déposées en 5 files tracées sur la perlite de 30 boutures chacune. Chaque bouture a été suivie dans le temps pour déterminer son état, sa radication, et l'état des racines. Pour chaque bouture, on a noté le nombre de boutures vivantes et ayant émis des racines, les boutures vivantes mais qui n'ont pas émis de racines et enfin celles mortes.

Concernant *A. nummularia*, on ne disposait que d'un seul clone dont on a fait la propagation selon le même schéma, mais en traitant le bas des boutures avec une hormone rhizogène.

Une fois les boutures ont atteint un développement racinaire permettant leur transplantation, elles ont été transplantées sur des vases avec un substrat constitué de 1/3 de sol de la station dont la composition est décrite ci-après), 1/3 de perlite et 1/3 de terreau et ont été mis sous serre avec une irrigation journalière pour leur utilisation ultérieure.

Tableau 4. Liste des clones de *Atriplex halimus* étudiés

Clone	Localité d'origine
FAN 1	Fangario situé à quelques km au Nord de Cagliari
FAN 2	Fangario situé à quelques km au Nord de Cagliari
FAN 3	Fangario situé à quelques km au Nord de Cagliari
MAC 1	Macchiareddu situé à quelques km de Cagliari
GIO 1	Localité maritime Giorgino situé à quelques km de Cagliari
PAU 1	Pauli e Sali, commune de Cabras, province de Oristano
PAU 2	Pauli e Sali, commune de Cabras, province de Oristano
STI 1	Salines de Stintino, province de Sassari
STI 2	Salines de Stintino, province de Sassari
STI 3	Salines de Stintino, province de Sassari
STI 4	Salines de Stintino, province de Sassari
STI 5	Salines de Stintino, province de Sassari
SOR 1	Marina di Sorso, Province de Sassari
SOR 2	Marina di Sorso, Province de Sassari
SOR 3	Marina di Sorso, Province de Sassari
SOR 4	Marina di Sorso, Province de Sassari
PAL 1	Su Pallosu, commune de Oristano
PIS 1	Pischeredda, commune de Riola Sardo, Province de Oristano
PIS 2	Pischeredda, commune de Riola Sardo, Province de Oristano
SAN 1	Santa Giusta, Province de Oristano
SAN 2	Santa Giusta, Province de Oristano
SAN 3	Santa Giusta, Province de Oristano
BAC 1	Baccu Mandara, Commune Maracalagonis, Province de Cagliari

BAC 2	Baccu Mandara, Commune Maracalagonis, Province de Cagliari
MAR 1	Mari Pintau, Commune de Quartu S. Elena, Province de Cagliari
MOR 1	Is Mortorius, Commune de Quartu S. Elena, Province de Cagliari
MOR 2	Is Mortorius, Commune de Quartu S. Elena, Province de Cagliari
MOR 3	Is Mortorius, Commune de Quartu S. Elena, Province de Cagliari
QUA 1	Etang de Quartu S.Elena, Province de Cagliari
QUA 2	Etang de Quartu S.Elena, Province de Cagliari

2. Méthodes

2.1. Propagation

Les travaux faits par Malan (2002) montrent que pendant l'été et l'automne, un pourcentage de radication bas a été obtenu avec des boutures terminales de *A. nummularia* (46%) et seulement 29% pour les boutures sous - terminales malgré le fait qu'elles étaient traitées avec des hormones, pour cette raison, les boutures de *A. nummularia* ont été traitées avec de l'acide -3-indolbutirique (IBA) à 1% en une mixture poudreuse de talc avant la mise à radication. Le taux de radication a été calculé pour les 30 clones de *A. halimus* et pour *A. nummularia*

2.2. Culture sur terrain: Paramètres mesurés

Les plantules obtenues par radication sur les lits de perlite ont été transférées dans des vases contenant le même substrat su décrit. Après 6 mois de conduite sous serre avec une bonne irrigation, ces plantes ont été transférées sur un terrain de la station expérimentale dont le sol est de texture sableuse. Ce sol a un pH de 7.05, un taux de matière organique de 1.76%, un taux de phosphore assimilable de 19 ppm. La composition minérale est estimée en ppm comme suit: Ca: 2120; K: 210 ; Na: 60; Mg: 90. La plantation a été faite en files de 10 arbustes par clone et conduits en sec et aucune irrigation sur terrain n'a été donnée.

2.2.1. Stades phénologiques :

Les stades phénologiques des 30 clones ont été notés pour une année du mois d'Avril 2006 au mois de Mai 2007. Les stades dont on a tenu compte sont: Stade végétatif, Floraison, Pleine floraison et enfin fructification.

2.2.2. Analyses quantitatives et qualitatives de la biomasse produite

L'évaluation de la biomasse produite a été faite à différentes saisons pour les clones cultivés sur terrain. Une estimation de la biomasse produite en 6 mois (2 février 2006, date de mise à terre au 3 août 2006)

Il est difficile d'établir et de suivre un protocole en tous points irréprochable pour évaluer des plantations à base d'espèces arbustives. En effet, le matériel végétal utilisé est divers dans son origine, hétérogène dans ses potentialités du fait de sa variabilité génétique non contrôlée mais aussi des différences des conditions, de plantation et des soins apportés. La diversité des situations édaphiques liées aux conditions géomorphologiques ainsi que les incertitudes liées aux aléas climatiques sont à l'origine de la diversité des résultats relatifs à la production d'une même espèce, dans des zones où pourtant les conditions écologiques sont souvent identiques.

La méthode dite de "l'individu du biovolume moyen" qui présuppose l'existence d'une bonne corrélation entre le biovolume et la phytomasse réelle. L'individu qui sera détruit pour effectuer les mesures de phytomasse est, donc, celui ayant le biovolume moyen, le biovolume étant défini comme "le volume d'espace occupé par les branches, les rameaux et les feuilles". Cette méthode couplée à la méthode de branche unité (Kirmse *et al.*, 1985) donne un moyen très peu destructif.

La méthode choisie pour l'évaluation consiste en la détermination de la hauteur, le diamètre inférieur et la supérieur de chaque plante, calculer la valeur médiane de chacune de ces trois paramètres pour identifier les mesures de l'arbre moyen, puis trouver sur le terrain l'arbre dont les mesures correspondent à celles calculées. Enfin prendre une branche de celui-ci et la considérer comme branche unité et compter combien l'arbre moyen possède de branches unités pour avoir le total de l'arbre. Prendre ensuite la branche unité, séparer les feuilles et les rameaux tendres donc consommables par le bétail des rameaux fortement lignifiés et donc non consommables et les peser pour avoir leur biomasse fraîche, puis les passer à l'étuve à ventilation à 68 °C pendant 48 heures jusqu'à poids constant et peser le poids sec. La biomasse produite après chaque coupe a été quantifiée, la durée entre deux coupes dépend de la croissance et donc de la période de l'année, pour cela on a fait des coupes en hiver, au printemps et en été.

2.2.2.1. Analyses physiques :

Le potentiel hydrique de tous les clones après chaque coupe est mesuré grâce à une chambre à pression modèle PMS Instrumenta Co., Corvallis, Oregon, USA.

Par ailleurs, une estimation de la teneur en chlorophylle a été faite simultanément aux dates d'évaluations utilisant un chlorophyll meter SPAD- 502 qui mesure l'absorbance de la feuille dans les zones d'absorbance maximale de la chlorophylle et les transforme en une valeur SPAD proportionnelle à la teneur de la feuille en chlorophylle.

2.2.2.2. Analyses qualitatives et nutritionnelles

Dans le cas où les clones à sélectionner auraient un usage fourrager, il est aussi important de connaître leur valeur nutritive pour le cheptel.

La composition chimique (Protéine brute, phosphore, éléments minéraux) ont été faits.

L'azote a été analysé par la méthode de Kjeldahl, qui consiste en la transformation des composés azotés dosables par minéralisation de l'échantillon à chaud en présence d'acide sulfurique et d'un catalyseur (Sélénium) puis distillé par entraînement à la vapeur à l'aide d'acide chlorhydrique fort en excès. L'excès d'acide est alors titré par une solution de soude de normalité connue. On dose par cette méthode les formes réduites de l'azote, soit l'azote organique et l'azote ammoniacal.

Le phosphore est dosé par colorimétrie. Le Phosphate en présence de molybdate d'ammonium et en milieu acide forme un complexe coloré jaune qui, en milieu réducteur (FeSO_4), devient bleu. Il est alors dosable par spectrophotométrie. La mesure de l'intensité de coloration bleue dépend de la concentration en Phosphate. Une courbe étalon est réalisée dans les mêmes conditions. Les éléments minéraux sont dosés directement sur la fraction minérale (cendres) par spectrophotométrie à absorption atomique.

Une des composantes importantes des aliments pour animaux est la teneur en fibres. Elle représente la fraction de l'aliment la plus difficile à digérer, la fraction complémentaire (non fibreuse), est facilement digérée par la plupart des animaux. Chez le ruminant, des différences dans la quantité et les propriétés physiques et chimiques des fibres dans l'aliment peuvent affecter la performance et la productivité de l'animal, et notamment altérer les fermentations dans la panse, le métabolisme, le taux de lipides dans le lait produit et finalement, la santé de l'animal à long terme (Mertens, 1997).

Le terme fibre désigne en général les constituants des parois cellulaires des plantes, comprenant une grande variété de polysaccharides structuraux qui sont souvent liés à des protéines et à des phénols, particulièrement à la lignine. Les principaux polysaccharides des parois cellulaires des plantes sont: la cellulose, différentes hémicelluloses (arabinoxylanes, b-glucane, xyloglucanes, arabinogalactanes) et des polysaccharides pectiques (Hindrichsen *et al.*, 2006). La lignine est un polymère phénolique composé d'unités de phényle propane, dont le rôle est de cimenter et durcir les parois cellulaires. Ainsi, les fractions NDF (Fibre extraite au Détergent Neutre), ADF (Fibre extraite au détergent Acide), ADL (Lignine extraite au Détergent Acide) ainsi que la fraction protéique liée à l'ADL et qui est indigestible donc non utilisable par l'animal ont été déterminés sur les clones à différentes périodes de l'année (Printemps, automne et été) utilisant la méthode de Van Soest (1965).

L'NDF est la partie résiduelle obtenue après traitement hydrolytique de l'échantillon végétal par un détergent neutre. Cette hydrolyse permet de séparer les constituants fibreux des parois (cellulose, hémicellulose, lignine, cutine, etc.) des constituants cellulaires solubles (Sucres, Pectines, Acides organiques, lipides, sels minéraux, etc.).

Les échantillons végétaux séchés et moulus finement sont mis dans des sachets scellés et puis lavés par la solution neutre bouillante additionnée d'une enzyme amylolytique. Les sachets sont ensuite lavés plusieurs fois avec de l'eau bouillante puis à l'acétone puis mis dans des creusets tarés à sécher dans une étuve à 100 °C pendant 8 heures. Le résidu sec est alors déterminé par pesée. Les sachets sont ensuite mis à incinération dans un four à moufle et les cendres sont déterminées

$$\text{NDF}(\%) = (\text{Poids sec après passage à l'étuve} - \text{Poids des cendres}) * 100 / \text{Poids de l'échantillon}$$

L'ADF obtenue par action d'un détergent acide récupère la silice, le complexe tanins-protéines, et en partie la pectine. La fraction de la fibre déterminée est donc la cellulose, la lignine, la cutine, et éventuellement les tanins et les pectines et quelques substances minérales insolubles. L'échantillon végétal mis dans des sachets en papier résistant scellés est traité avec une solution de détergent en milieu acide (acide

sulfurique 1 N) bouillon pendant une heure et est ensuite lavé plusieurs fois avec de l'eau bouillante jusqu'à disparition totale de la couleur, puis lavé avec de l'acétone et mis à sécher. Le poids sec est alors déterminé par pesée.

ADF(%) = Poids sec après passage à l'étuve*100/ poids de l'échantillon

Sur les sachets qui ont servi pour la détermination de l'ADF, on détermine l'ADL qui constitue principalement la lignine brute. Ces sachets sont donc mis dans une solution d'acide sulfurique à 72% pendant trois heures avec agitation chaque demi-heure puis lavés plusieurs fois à l'eau chaude puis mis à sécher dans l'étuve. Le poids sec est alors déterminé. Les sachets sont ensuite mis à incinérer dans un four à moufle refroidis et le poids des cendres est déterminé.

ADL(%) = (Poids sec à l'étuve- Poids des cendres)*100/Poids de l'échantillon sec

2.2.3. Simulation du broutage :

Sept clones (QUA1, QUA2, MAR1, MAC1, PAL1, MOR2 et SOR4) dont l'origine est répartie sur trois provinces de la Sardaigne: Sassari, Oristano et Cagliari qui se situent respectivement au nord, centre et sud de l'île ont été choisis pour simuler le broutage des animaux afin de déterminer la meilleure hauteur de coupe pour une bonne reprise de la plante. Sur ces clones on a fait au préalable une coupe à 50 cm du sol pour les mettre tous à la même hauteur. Après dix mois, les clones sus cités ont été coupés comme suit :

Une coupe à différentes hauteurs (50, 40 et 30 cm) a été faite, mais avant de faire cette coupe, la biomasse des plantes est estimée par la méthode des branches unitaires:

Le but étant de voir si la biomasse produite après les coupes est plus importante que celle de l'arbre non touché et donc qu'il est mieux faire brouter les arbustes et quelle est la meilleure hauteur de coupe qui permet d'avoir la plus grande biomasse avec une meilleure qualité de fourrage.

3 arbustes coupés à 50 cm

- 3 arbustes coupés à 40 cm
- 3 arbustes coupés à 30 cm
- 1 arbuste témoin indérangé (non coupé).

2.2.4. Variabilités phénotypiques liées à la distance géographique

A. halimus a été souvent cité comme une espèce très polymorphe, probablement en relation avec sa grande amplitude écologique et à sa reproduction allogame dominante, mais peu d'études ont été faites pour l'évaluation de ce polymorphisme, donnée nécessaire pour sa bonne gestion et sa valorisation. Afin d'évaluer le fondement génétique de ce polymorphisme, deux rameaux émergents de la base de chaque arbuste d'un clone des trois choisis ont été prélevés selon les quatre orientations cardinales. Sur l'ensemble des rameaux, nous avons déterminé la surface foliaire (SF), le rapport de la longueur de la feuille sur sa largeur maximale (RF), largeur moyenne des feuilles (lm) et enfin le rapport F/R, rapport du poids sec moyen des feuilles à celui des rameaux.

Dans notre étude, deux clones de *A. halimus* avec des situations géographiques différentes présentant une grande amplitude de la latitude induisant des contextes pédoclimatiques différents ont été analysés à l'aide des caractéristiques foliaires (surface et rapport foliaire, largeur moyenne des feuilles et rapport feuilles sur rameaux). Il s'agit des clones: MOR 2 originaire de la localité de Is Mortorius de la commune de Quartu S. Elena, dans la province de Cagliari au sud de l'île et le clone SOR 4 originaire de la localité de Marina di Sorso, Province de Sassari situé au nord de l'île.

2.3. Culture dans les vases

2.3.1. Stress Hydrique (Paramètres mesurés)

Un clone d'*A. halimus* MOR 2 a été choisi pour subir le stress hydrique. Ce choix a été dicté par les performances de ce clone comme taux de radication et qualité

des racines. Ce clone a été confronté avec le seul clone d' *A. numularia* dont on dispose à la station.

2.3.1.1. Efficacité d'Utilisation de l'Eau WUE

Le WUE ou EUE Efficacité d'Utilisation de l'Eau est le paramètre auquel on a donné le plus d'importance. En effet les performances d'une plante face à un stress hydrique se mesure à sa capacité à tirer le meilleur profit de l'eau mise à sa disposition. Comme le WUE change selon les périodes et est généralement plus faible l'été et dans les pays les plus chauds, on a fait 4 coupes sur 3 cycles de repousse entre 2 fauches. (Espacées de 5 semaines) dont deux d'été. Le WUE est donné par la relation

$WUE = MS / QT$ avec

QT (g) Quantité d'eau absorbée (transpirée) par les plantes;

MS (g) matière sèche produite, poids de la matière sèche coupée.

WUE étant peu variable dans une espèce à la même période, cette grandeur doit être mesurée avec précision pour pouvoir mettre en évidence des différences entre génotypes ou variétés.

Comme l'approche du WUE au champ est très difficile à réaliser à cause des erreurs faites sur le bilan hydrique dont plusieurs termes sont mal connus: Le taux d'infiltration des pluies est toujours inconnu, le drainage non mesuré et les estimations des profils hydriques à quelques semaines d'intervalles est elle-même sujette à des erreurs importantes, on a décidé de mesurer ce paramètre en vases par bilan hydrique basé sur les pesées. Il est donc justifié d'étudier les variations du WUE en vases plutôt qu'en plein champs, à l'inverse de la résistance à la sécheresse dont les études en vases sont peu adéquates car elles ne prennent pas en considération la résistance par la voie de la croissance racinaire une des principales stratégies de résistance.

Un autre facteur déterminant est le régime hydrique: Il faut appliquer des régimes hydriques réalistes qui existent dans la nature pour bien étudier ce paramètre. En effet, l'expérimentation n'a aucun sens si les plantes passent tous les jours d'une situation d'une bonne alimentation en eau à une situation d'un fort stress puis se

rétablissent quelques heures plus tard suite à une irrigation. Il faut donc utiliser des pots avec une certaine inertie hydrique donc de grands vases (15 à 20 litres) ayant une réserve hydrique suffisante pour éviter les forts dessèchements entre irrigations. La mesure de la quantité de l'eau transpirée résulte d'un bilan hydrique vase par vase basé sur les pesées. Tous les termes du bilan hydrique autres que la transpiration (apport, drainage, évaporation directe du sol) doivent être mesurés ou alors annulés par un choix de dispositif expérimental et c'est ce que l'on a adopté.

En effet, et tenant compte de ce qui précède, on a utilisé 4 vases de 20 litres tapissé de sachets en plastique très épais et très résistants pour obturer les orifices à la base des pots évitant ainsi de laisser l'eau drainer, on a en outre couvert la surface du sol dans les vases avec une couche de quelques centimètres de perlite pour minimiser l'évaporation directe de l'eau du sol et on a travaillé avec des régimes hydriques non optimum pour éviter ainsi l'accumulation de l'eau dans les vases et l'asphyxie des racines.

Le bilan d'eau par vase sur un cycle s'écrit :

$$P_i - P_f = IR - QT - Q_s - D \text{ soit } QT = IR - (P_f - P_i) - Q_s - D$$

P_i : poids initial des vases juste après la coupe à la fin du cycle

P_f : poids final des vases juste après la coupe au début du cycle

IR : quantité d'eau apportée par irrigation pendant toute la période du cycle. C'est la somme de toutes les irrigations.

QT Quantité d'eau absorbée (Transpirée) par les plantes

Q_s Quantité d'eau évaporée directement par le sol durant la période (dans notre cas annulée)

D : Quantité d'eau drainée (dans notre cas annulée)

WUE dans notre cas se résume comme suit:

$$WUE = MS / IR - (P_f - P_i)$$

Pour chaque clone, on a fait 4 vases en trois répétitions et deux régimes hydriques. Les plantes ont été donc transvasés des petits pots, laissés un mois pour les

habituer avec une bonne irrigation pour tous les vases. Après 1 mois d'adaptation, on a fait le potentiel hydrique au temps T0 et une coupe pour tous les pots au temps T0 à 45 cm de hauteur de la plante. Les évaluations suivantes avant le commencement du stress ont été faites: longueur et largeur des feuilles, puis les prendre au labo et estimer la surface foliaire LA, faire le poids frais puis les mettre au four à 80 °C pendant 48 heures et faire la Matière sèche.

Les vases ont été divisés en deux lots de manière à faire deux régimes hydriques:

- Un régime hydrique au 70% de la capacité au champ du substrat comme témoin
- Un régime hydrique correspondant à 40% de la capacité au champs du substrat et constitue le régime de stress hydrique. Les vases ont été déposés en lignes de 4 vases chacune: deux lignes de *A. nummularia*, suivies de deux lignes de *A. halimus*.

2.3.1.2. Croissance et relations hydriques

Après la coupe T0, les deux régimes hydriques ont été appliqués. Les cycles de repousse entre deux fauches a été de 5 semaines. Le schéma suivant a été appliqué: faire une coupe à une hauteur déterminée (40 cm), 16 pots en stress et 16 bien irrigués pour les deux espèces. Après 5 semaines de croissance, faire une autre coupe sur la moitié des vases et laisser l'autre moitié. Au bout de 5 semaines, on a fait une troisième coupe sur le reste des plantes qui n'ont pas été coupés. Les coupes doivent être faites à la même hauteur et la biomasse récoltée est pesée au gramme près puis séchée et la matière sèche est faite après passage au four pendant 48 heures à 65 °C.

Durant toute la période, faire une pesée chaque 2-3 jours des pots en stress pour avoir une idée sur le contenu hydrique du substrat et connaître ainsi à quel pourcentage de la capacité au champs on est et déterminer la quantité d'eau à donner à chaque vase pour maintenir le pourcentage de la capacité au champs voulue. Les quantités d'eau d'irrigation apportées sont connues au ml près.

A la fin de la durée du stress, on a mesuré le poids et la longueur des tiges et racines des plants. Les feuilles de 8 plantes contrôle et 8 stressées (4 plantes par espèce, 4 feuilles par plante : 2 jeunes et 2 vieilles grandes et saines) sont, mises dans des sachets en plastique dans une boîte frigo et prises au labo pour les analyses des

potentiels de turgescence, du taux de croissance relatif (RGR) et pour le contenu relatif en eau RWC. Le reste des feuilles a été mis au congélateur à -70 °C pour l'extraction de la sève qui a servi pour la détermination du potentiel osmotique et le dosage de l'acide abscissique ABA.

Les échanges gazeux ont été mesurés pour le deuxième cycle de croissance (cycle de fin d'été-automne) avec un Analyseur de gaz infrarouge CIRAS 2

Taux relatif de croissance RGR

$RGR = \ln MS2 - \ln MS1 / \text{temps (temps en jours)}$

MS1: poids sec final

MS2: poids sec initial

Contenu relatif en eau RWC (Relative Water Content): à la fin du stress hydrique, les grandes feuilles de 3 plantes ont été récoltées de la pousse principale

$RWC (\%) = (FW - DW) / (TW - DW) \cdot 100$

FW poids frais juste après récolte

TW poids à turgescence obtenu après réhydratation des feuilles: les feuilles ont été placées dans de l'eau distillée pendant 24 heures à 4 °C à l'obscurité puis pesées.

DW poids sec après passage à l'étuve 48 heures à 80 °C.

Potentiel osmotique: Le potentiel osmotique Ψ_s mesuré sur la sève du tissu collecté utilisant un Osmomètre (Wescor 5500).

La formule qui permet le passage de la lecture à la pression osmotique est :

$\psi_s = - C R T$

C: Lecture (Osmolalité)

T: température en degré Kelvin

R: Cste des gaz = 8.31

Le potentiel osmotique à turgescence totale Ψ_s^{100} :

Les feuilles ont été réhydratées dans de l'eau déionisée pendant 24 heures à 4 °C dans l'obscurité.

L'**ajustement osmotique** a été calculé comme la différence en Ψ_s^{100} entre le contrôle (Ψ_{sc}^{100}) et

(Ψ_s^{100}) traitement.

$$OA = \Psi_{sc}^{100} - \Psi_s^{100}$$

La concentration des solutés résultant des changements non osmotiques dans le volume du à l'accumulation des polymères insolubles à pleine hydratation OA^{conc} a été estimée en utilisant une formule modifiée (Girma *et al.*, 1992) des changements en TW/DW entre le témoin et le stress hydrique.

$$OA^{conc} = [(TW/DW)^c - (TW/DW)^s] / [(TW/DW)^c] OA.$$

La contribution de l'accumulation net des solutés (OA^{acc}) a été calculée comme suit :

$$OA^{acc} = OA - OA^{conc}$$

2.3.1.3. Dosage de l'acide abscissique ABA

L'acide abscissique ABA a été dosé par la méthode Elisa sur les feuilles préalablement congelées puis lyophilisées et enfin triturées en une poudre très fine dont on extrait l'ABA on ajoutant de l'eau distillée (1 ml/ 20 mg de matière moulue). Le principe de ce dosage consiste en une réaction immunologique. Un anticorps monoclonal spécifique pour l'acide abscissique est mis au préalable dans une microplaquette contenant des petites aspérités (petits puits). Les standards et les extraits de végétaux dont on veut déterminer la concentration en ABA sont alors pipetés dans les petites aspérités de la plaquette et l'ABA contenu est capté par l'anticorps immobilisé sur la plaquette. Un anticorps polyclonal enzyme- linked spécifique pour l'ABA est ensuite ajouté dans les petites aspérités. Après un lavage pour éliminer l'anticorps polyclonal non utilisé, une solution est ajoutée dans les aspérités et une

couleur jaune proportionnelle à la quantité en ABA présent dans les échantillons et qui est déjà lié à l'anticorps se développe. Enfin, la réaction est stoppée et on lit l'intensité de la couleur.

2.3.1.4. Dosage des sucres totaux

Les sucres totaux ont été dosés par la méthode de Dubois *et al* (1956) qui consiste en l'extraction des sucres utilisant le toluène. A 100 mg de matière sèche on ajoute 3 ml d'éthanol à 80% dans des tubes à essai. On laisse l'extraction pendant 48 heures puis on fait évaporer le toluène dans l'étuve à 80°C puis on ajoute 20 ml d'eau distillée et on obtient la solution à analyser.

Dans des tubes à essai, on introduit 1 ml de la solution à analyser auquel on ajoute 1 ml de solution de phénol à 5%. Les tubes sont agités puis on ajoute, goutte à goutte 5 ml d'acide sulfurique. La température atteint alors 110 °C. On laisse refroidir pendant 10 minutes puis on vortex et on met dans un bain Marie à 25°C pendant 30 minutes. La lecture de la densité optique est faite à une longueur d'onde de 485 nm. Enfin les résultats optiques sont reportés sur une courbe étalon de glucose faite dans les mêmes conditions.

2.3.2. Stress Salin (Paramètres mesurés)

Dans le but de déterminer l'effet de deux sels NaCl et KCl, à différentes concentrations, et à différents temps d'expositions à ces sels sur deux clones pour estimer la résistance de ce genre au stress salin.

Le travail a été fait sur deux clones l'espèce *A. halimus*: MOR 2 et SOR 4, clones qui ont présenté des taux de radication très élevés et un état des racines très satisfaisant en plus d'une masse foliaire importante et *A. nummularia*. Les boutures ayant fait des racines ont été mises dans des vases avec un mélange de perlite et de substrat de sol (1/3 de perlite, 1/3 de sable, 1/3 de terreau) et ont été bien irrigués sous une photopériode de 14-15 heures. Après 20 jours, les plantules de la même taille (environ 10 cm de hauteur), après lavage des racines, ont été transférées dans des vases 10 cm de diamètre et 10 cm de haut contenant uniquement la perlite comme support

inerte pour une culture hydroponique. Ces vases ont été mis dans des plateaux avec une solution nutritive de Hoagland modifiée (Hoagland, 1950). Ces vases sont sub-irrigués (Irrigués d'en bas) et le niveau de l'eau est ajusté chaque jour avec de l'eau distillée pour corriger l'évaporation de l'eau. Après 26 jours d'acclimatation, les solutions salines ont été appliquées, à raison d'un plateau par concentration saline. Les solutions salines appliquées sont:

NaCl : 0, 300, 600, 800 et 1000 mM

KCl : 0, 300, 600, 800 et 1000 mM.

On a récolté au préalable et avant l'application des solutions salines 3 plantules pour déterminer le l'état initial pour le calcul du RGR (Relative Growth Rate), le RGR étant la différence entre les log des masses sèches de récoltes successives divisé par le temps.



Figure 4. Effet du stress salin à différentes concentrations (croissantes de gauche à droite) pour deux sels:

- A: Clone MOR 2, concentrations croissantes de NaCl 0, 300, 600, 800 et 1000 mM
- B: Clone MOR 2 aux concentrations croissantes de KCl, 0, 300, 600, 800 et 1000 mM
- C: Clone SOR 4 aux concentrations croissantes de NaCl, 0, 300, 600 et 1000 mM
- D: Clone SOR 4 aux concentrations croissantes de KCl, 0, 600 et 1000mM

Les solutions salines sont changées chaque semaine pour éviter les dépôts de sel dans les pots. Au début de l'expérience, les concentrations salines sont augmentées d'une manière graduelle (200 mM) chaque deux (02) jours jusqu'à atteindre la salinité voulue sans faire un choc aux plantules.

Dans le but de voir l'effet de la durée de l'exposition au stress salin, on a décidé de faire deux récoltes: une après 10 jours et l'autre après trois semaines que les plantules aient atteint la concentration saline voulue.

2.3.2.1. Croissance et relations hydriques

Dix jours après que les plantules ont atteint le maximum de la salinité de chaque traitement, on fait la première récolte. On collecte de 3 plantules par traitement, feuilles, rameaux et racines sont pesés séparément et mis dans des sachets en papier pour le séchage dans une étuve à circulation d'air à 65 °C pendant 72 heures jusqu'à poids constant. La matière sèche à chaque récolte sert à faire le RGR.

$RGR = \ln MS2 - \ln MS1 / \text{temps (temps en jours)}$

La surface foliaire LA de 10 feuilles par plantule a été faite grâce à un planimètre LI-3100 leaf area meter (LI-COR. Inc, Lincoln, NE, USA)

Les paramètres de croissance (LA, longueur des tiges et des racines, poids frais des tiges racines et feuilles) ainsi que les relations hydriques (contenu relatif en eau RWC, RGR, rapport TW/DW) ont été également déterminés comme précédemment détaillé pour le stress hydrique.

Au bout de 21 jours, on collecte les autres 3 plantules par traitement qui restent (séparant feuilles rameaux des racines) et les relations hydriques (RGR, RWC) ainsi que les mesures de croissance de la plante

2.3.2.2. Dosage des ions accumulés

Les ions accumulés (Na, K, Ca et Mg) dans les racines et les feuilles ont été dosés grâce à un spectrophotomètre à absorption atomique. La proline a été dosée par la

méthode de (Bates *et al.*, 1973) qui consiste en l'extraction de la proline à l'acide sulfonilique: 10 mg de matière sèche à 60 °C sont mis dans un tube à Ependorf, auquel on ajoute 1.5 ml d'acide sulfonilique et mis dans la glace. Un ml de l'extrait est mis dans un tube en pyrex avec 1 ml de ninhydrine et 1 ml d'acide acétique glacial. Les tubes sont mis dans un bain bouillant à 100 °C pendant une heure durant laquelle la coloration rose se développe. Les tubes sont sortis et immédiatement refroidis dans la glace. Puis on ajoute 2 ml de toluène et on vortex. Deux phases se séparent, on prend la phase supérieure colorée et on lit la densité optique à 520 nm. Une courbe étalon de proline faite dans les mêmes conditions est réalisée pour déterminer la concentration en proline des échantillons.

Les résultats des analyses des relations hydriques et de l'accumulation des ions a fait l'objet d'une analyse de variance grâce au logiciel SAS.

2.3.3. Stress Salin et hydrique

En milieu aride et semi aride, la plante sur terrain subit en même temps les deux stress. Pour vérifier l'effet des deux stress hydrique et salin, on a mis au point le dispositif expérimental suivant sur des plantules issues de boutures mises à radication. Des plantules de même age et mêmes dimensions ont été transférées sur des vases contenant le substrat sus décrit et placées sous une serre à la station et irriguées pendant 20 jours. 3 plantules par traitement de chaque clone ont été prises pour le calcul de l'état initial du RGR. Ces plantules ont été ensuite divisées en quatre groupes complètement randomisés:

Groupe 1: témoin ; bonne irrigation tous les deux jours

Groupe 2: stress hydrique; irrigation avec la moitié de la quantité d'eau donnée au témoin tous les quatre jours.

Groupe 3: Stress salin; une solution saline de concentration 500mM de NaCl donnée chaque deux jours.

Groupe 4: Stress salin X stress hydrique; une quantité d'eau égale à celle donnée au groupe 2 et une quantité de solution saline égale à la moitié de celle donnée au groupe 3 chaque quatre jours.

La dose en sels dans la solution saline a été augmenté peu à peu pour éviter tout choc ionique aux plantules. Après trois semaines de ces régimes, les plantules ont été récoltées et on a fait le RGR séparément pour racines tiges et feuilles, le RWC et la longueur des racines et tiges.

Résultats et discussions

1. Propagation

La propagation a commencé au mois de Mai 2005 sur six clones d'*A. halimus* et sur *A. nummularia*. Vu le haut pourcentage obtenu pour le clone MOR 2, on a soumis ce clone à une propagation sur d'autres périodes de l'année. Le tableau suivant résume les résultats en terme de taux de radication de ces clones:

Tableau 5. Taux de radication de quelques clones d'*A. halimus* et de *A. nummularia*.

Especies	Clones	Date mise à rad	Date rad	Taux de rad(%)	Observation
<i>A. halimus</i>	PIS 1	29/05/2005	07/07/2005	65.5	Bon état
	QUA 2	29/05/2005	07/07/2005	95.5	Bon état
	BAC 1	29/05/2005	07/07/2005	94.4	Bon état
	SOR 2	07/07/2005	25/08/2005	28.3	Etat moyen
	MOR 1	15/09/2005	16/11/2005	52.7	Racine avec moisissure
	MOR 2	29/05/2005	07/07/2005	97.7	Très bon état
	MOR 2	25/08/2005	29/09/2005	43.3	Etat moyen
	MOR 2	06/12/2005	16/03/2006	16.2	Très mauvais état
	MOR 2	25/01/2006	16/03/2006	48.8	Très mauvais état
<i>A.nummularia</i>	<i>Atriplex.n</i>	25/08/2005	16/11/2005	80.6	Avec hormone

Le taux de radication le plus élevé (97.7%) a été obtenu pour le clone MOR 2 mis à radication au printemps au mois de Mai. Par contre, en plein été et en hiver, ce taux diminue fortement, en effet il est seulement de 16.2 % pour les boutures mises à radication au mois de décembre. Le clone SOR 2 a présenté un taux de radication au mois de Juillet de seulement 28.3 % ce qui est compatible avec les résultats obtenus par Malan *et al* (2002) et qui confirment qu'*Atriplex nummularia* peut être plus efficacement propagé par boutures durant le printemps plutôt qu'en été car il peut être sujet à des maladies pathogènes. Arya *et al* (1993) ont montré que les boutures terminales de *Atriplex spp* propagés et traités par l'IBA font des racines plus rapidement. Il a aussi été reporté que les racines des boutures des jeunes rameaux sont plus viables que celles des vieux (Aganga *et al.*, 2003)

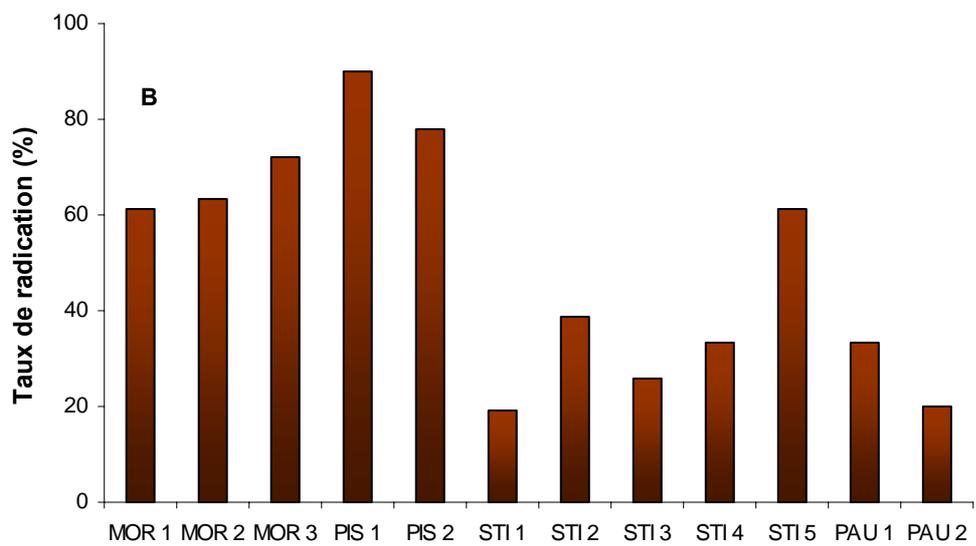
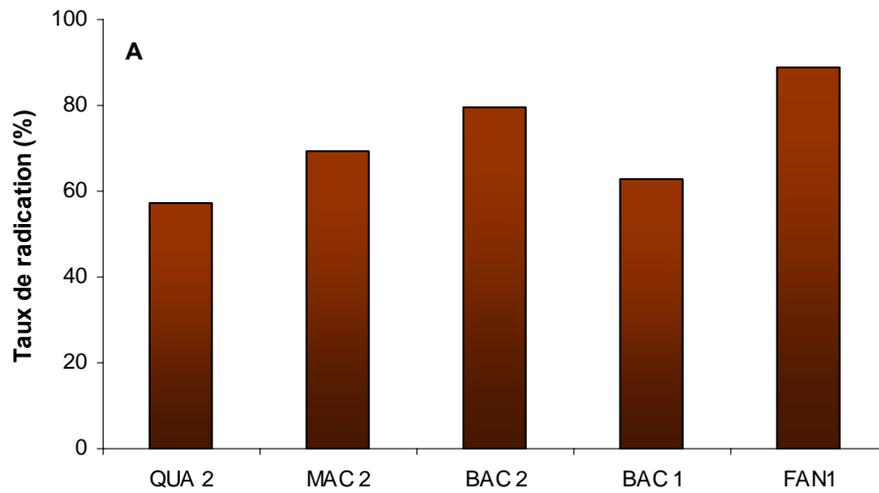


Figure 5. Différents taux de radication des clones à différentes dates de mise à radication
A. Taux de radication de quelques clones après un mois (27/4/2007-27/5/2007)
B. Taux de radication de clones mis à radication du 4/5/2007 au 26/6/2007

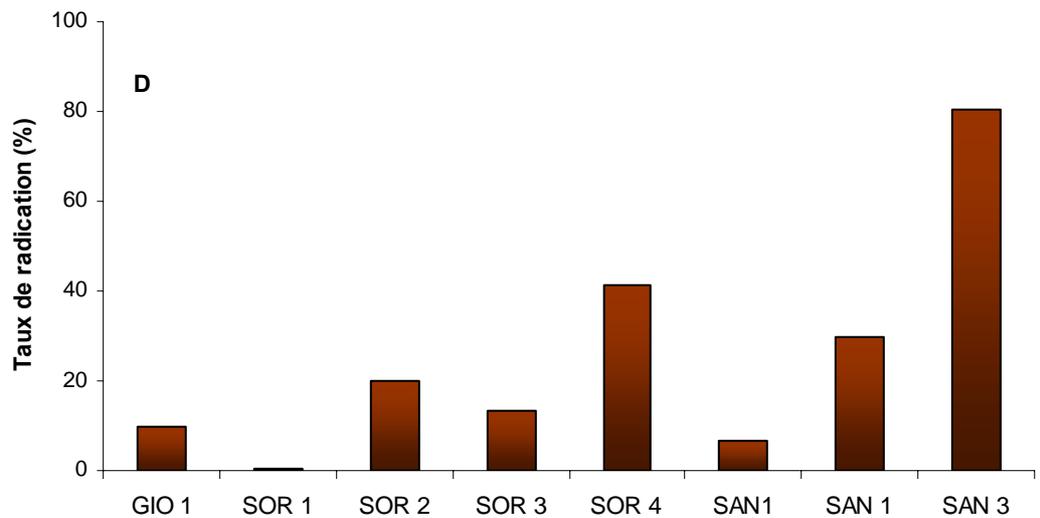
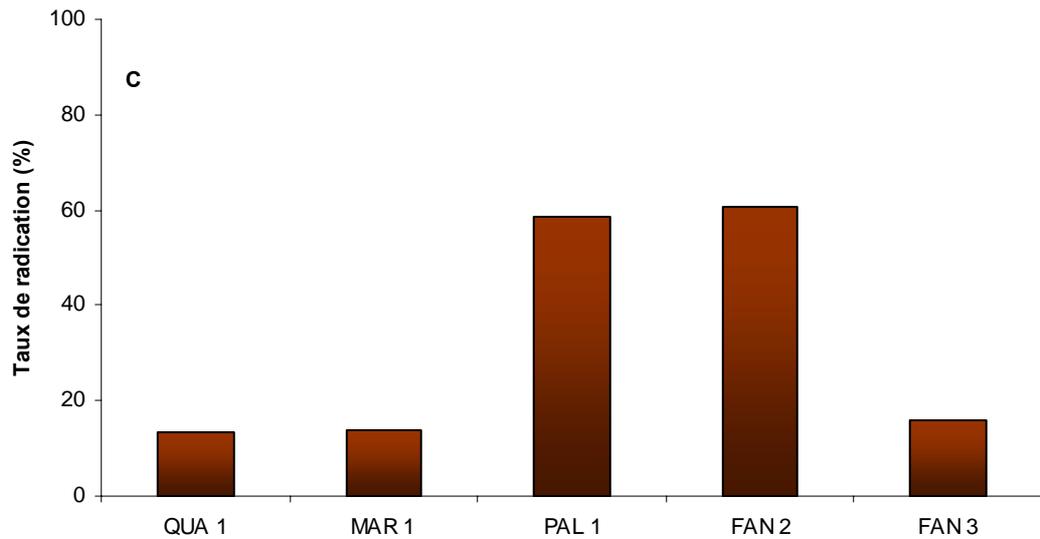


Figure 6. Différents taux de radication des clones à différentes dates de mise à radication

C. Taux de radication des clones du 23/5/2007 au 25/6/07

D. Taux de radication des clones du 29/5/07 au 2/7/2007

On remarque que le taux de radication des clones mis sur perlite en date du 27/4/2007 ont présenté les taux de radication les plus élevés (allant de 57.3% à 88.6%) (Fig.5, A). Pour les clones mis à radication le 4/5/2007, les clones MOR (1,2 et 3) ont présenté des taux de croissance allant de 61.3% à 72%, valeurs nettement inférieures à celles obtenues par exemple durant la même période de l'année 2006 surtout pour le clone MOR 2 où on a trouvé un taux de radication de 97.7% au printemps 2006 (Tab 5). Pour les clones mis à radication durant la dernière semaine du mois de Mai (23 et 29 /5/2007), seuls les clones PAL 1, FAN 2, et SAN 3 ont présenté de bons taux de croissance permettant leur facile propagation. En effet, le clone SAN 3 (Fig. 6, D) a enregistré un taux de radication supérieur à 80%, tandis PAL 1 et FAN 2 (Fig. 6, C) ont donné des taux de radication très acceptables proches des 60%.

Il est à noter le très faible taux de radication de certains clones, notamment de GIO 1, MAR 1, QUA 1, SOR 1 ceci est attribuable probablement à un excès d'eau lors de la nébulisation ce qui a induit une pourriture précoce des boutures entravant leur radication.

2. Culture sur terrain

2.1. Stades Phénologiques

Le stade de début floraison pour *A. nummularia* a eu lieu dès le mois d'Avril. Les nouveaux rameaux étaient présents dès le mois de Mars jusqu'au mois de Septembre. La floraison a continué et a atteint son maximum au mois de Mai. La fructification est très précoce, elle a eu lieu à la fin du mois de Mai.

Pour les clones d'*A. halimus*, le stade début floraison a eu lieu entre le mois de Juillet et le mois d'Août. Seuls les clones MAR 1 et MOR 1 ont eu un début de floraison tardif au mois de Septembre. Le stade pleine floraison est le mois de Septembre pour tous les clones. Les nouveaux rameaux sont présents sur tous les clones dès le début du mois de Mai et continuent jusqu'au mois de septembre.

Il est à noter que les clones coupés pour la simulation du broutage ont eu une floraison très précoce, notamment pour le clone MOR 2 qui a eu un début de fructification au mois de Juillet et a atteint la pleine fructification au mois d'Août.

2.2. Evaluation fourragère et Simulation du broutage

Le tableau 6 résume les dimensions (hauteur, petit diamètre, grand diamètre, poids frais et sec de la partie verte donc tendre et consommable par le cheptel, poids frais et sec de la partie lignifiée non consommable, une estimation de l'offre fourragère en considérant une plantation avec une densité de 1200 arbres/hectare et enfin le potentiel hydrique des arbustes des arbustes âgés de 6 mois (mise à terre 3/02/2006 et évaluation le 3/08/2006). Ces arbustes sont passés par une longue période estivale très sèche (voir données climatiques fig. 8).

Tableau 6. Evaluation de l'offre fourragère de tous les clones d'*A.halimus* et *A.nummularia* âgés de six mois

Espèce ou clone	Nombre branche unité	Dimensions Arbre moy			Poids frais unitaire		Poids sec unitaire		Poids frais total de l'arbre		Poids sec total de l'arbre		Rapport Mat.frai PV/PL	potentiel hydr- lique ψ_s (Mpa)	PS feuille PS par.lig
		D1 (cm)	D2 (cm)	H (cm)	Partie Verte (g)	Partie Ligneuse (g)	Partie. Verte (g)	Partie Ligneuse (g)	Partie Verte (g)	Partie Ligneuse (g)	Partie. Verte (g)	Partie Ligneuse (g)			
A.numm	13	48.3	68.5	91.1	18.55	8.6	5.4	3.28	241.15	111.8	70.2	42.64	2.16	3.2	1.65
PAL 1	5	127	180	109.5	46.52	66	14.97	35.76	232.6	330	74.85	178.8	0.70	3.3	0.42
MAC 1	8	144	164	160	46.35	44.95	16.36	24.08	370.8	359.6	130.88	192.64	1.03	2.6	0.68
MAR	11	162	209	139.2	36.15	46.37	13.06	25.37	397.65	510.07	143.66	279.07	0.78	2.6	0.51
QUA 2	8	112	132	143.5	40.07	56.22	14.46	31.32	320.56	449.76	115.68	250.56	0.71	3.5	0.46
QUA 1	14	191.5	210	138.5	29.0	40.1	8.96	21.9	406	561.4	125.44	306.6	0.72	3.0	0.41
PIS 2	15	111	127	133.33	11.95	13.4	4	6.95	179.25	201.0	60.0	104.25	0.89	2.9	0.58
PIS 1	20	126.6	172	141.66	14.68	12.71	5.43	7.33	293.6	254.2	108.6	146.6	1.15	1.5	0.74
MOR 3	10	120	155	150	13.2	13.12	5.09	7.79	132	131.2	50.9	77.9	1.01	3.3	0.65
MOR 2	26	144	187	136.6	4.24	5.92	1.71	3.42	110.24	153.92	44.46	88.92	0.72	2.6	0.50
MOR 1	9	116	122	125	47.07	26.35	16.29	14.54	423.63	237.15	146.61	130.86	1.79	4.5	1.12
FAN 3	8	120	130	140	34.0	27.17	12.98	17.28	272	217.36	103.84	138.24	1.25	4.2	0.75
FAN 2	12	100	110	110	14.21	7.1	5.28	4.23	170.52	85.2	63.36	50.76	2.00	3	1.25
FAN 1	9	160	120	140	34.5	23.5	12.79	13.96	310.5	211.5	115.11	125.64	1.47	3.3	0.92
BAC 2	5	160	190	100	77.68	40.02	28.85	24.55	388.4	200.1	144.25	122.75	1.94	2.9	1.18
BAC 1	8	120	130	100	16.38	6.77	6.14	4.05	131.04	54.16	49.12	32.4	2.42	1.8	1.52
SAN 3	4	72.5	93	120	35.88	34.23	13.1	20.69	143.52	136.92	52.4	82.76	1.05	2	0.63
SAN 2	4	104	115	137	24.88	29.36	9.15	17.81	99.52	117.44	36.6	71.24	0.85	2.4	0.51
SAN 1	4	117	127	142.9	68.81	51.68	23.42	28.82	275.24	206.72	93.68	115.28	1.33	1.8	0.81
PAU 2	10	94	124	125.5	21.99	13.35	8.09	8	219.9	133.5	80.9	80.0	1.65	3.0	1.01
PAU 1	2	66.5	106	118	39.59	35.87	13.35	20.71	79.18	71.74	26.7	41.42	1.10	2.4	0.64
SOR 4	6	83	104	127	39.37	22.27	13.41	12.73	236.22	133.62	80.46	76.38	1.77	1.2	1.05
SOR 3	10	76	92	115	34.62	34.27	12.28	19.53	346.2	342.7	122.8	195.3	1.01	2.6	0.63
SOR 2	8	92	111	106	42.3	35.41	15.05	20.93	338.4	283.28	120.4	167.44	1.19	1.7	0.72
SOR 1	14	73	101	105	32.59	29.29	11.12	17.51	456.26	410.06	155.68	245.14	1.11	2.3	0.64
GIO 1	9	91.5	122	118.5	36.94	29.62	12.5	17.81	332.46	266.58	112.5	160.29	1.25	1.3	0.70
STI 5	9	81.11	94.4	136.11	43.27	40.45	13.23	22.95	389.43	364.05	119.07	206.55	1.07	1.9	0.58
STI 4	8	108	118	151	31.58	35.6	10.06	21.03	252.64	284.8	80.48	168.24	0.89	2.6	0.48
STI 3	10	84	92.5	117	21.45	19.09	6.86	10.87	214.5	190.9	68.6	108.7	1.12	2.3	0.63
STI 2	10	72	94	132	25.42	28.94	9.09	17.46	254.2	289.4	90.9	174.6	0.88	2.6	0.52
STI 1	3	66	79.5	123	31.74	32.29	10.81	17.5	95.22	96.87	32.43	52.5	0.98	1.8	0.62

Belkheiri Oumelkheir, Adaptabilité des espèces du genre *Atriplex* aux conditions de salinité et d'aridité, Tesi di Dottorato in Agrometeorologia ed Ecofisiologia dei Sistemi Agrari e Forestali, Università di

Sassari

Les potentiels hydriques sont très bas car l'évaluation a été faite sur un cycle d'été au mois d'Août de l'année 2006 qui était particulièrement sèche (voir données climatiques fig. 8). L'offre fourragère est assez importante si on tient compte du fait que l'âge de ces arbustes est seulement de 6 mois et qu'une plantation d' *A. nummularia* au Maroc, avec une densité de plantation de 1000 plants/ha a donné une production de 1.25 t de matière sèche à sa troisième année, l'équivalent de 625 unités fourragère UF (Chriyya *et al.*, 2001) et que par ailleurs, les conditions climatiques ont été très défavorables. Pour l'*A. halimus*, une production en matière sèche à l'hectare de 1.66 t a été trouvée dans une plantation de 720 plants/hectare en Sicile (Stringi *et al.*, 1990). Une production de 2 à 3 t/ha avec une plantation de densité de 2000 plants/ha a été obtenue en Tunisie (Bouraoui, 1969) et en Espagne (Correal Castellanos, 1982).

Le rapport partie verte consommable (feuilles+ rameaux tendres) fait sur la base de la matière fraîche est assez favorable. La clone BAC 1 a montré le rapport le plus élevé (2.44) suivi d' *A. nummularia* (2.16) puis FAN 2 (2.00) suivis des clones BAC 2 (1.94), MOR 1 (1.79) et enfin le clone SOR (1.77) ce qui laisse supposer qu'il y a des clones d'*A. halimus* ayant une partie palatable même plus élevée que celle d' *A. nummularia*.

Les rapports faits entre matière sèche des parties consommables et celles ligneuses montrent que pour le clone BAC 1 ce rapport est en légère diminution comparé à *A. nummularia* ceci est peut être du au fait que les feuilles de *A. halimus* contiennent plus d'eau que celles de *A. nummularia* (fig. 7). En revanche et pour le clone MOR 1, ce rapport est plus élevé que celui du clone SOR 4 ce qui suggère que la partie consommable du clone SOR 4 contient plus d'eau que celle du clone MOR 1.

Poids sec des feuilles/ Poids sec de la partie ligneuse

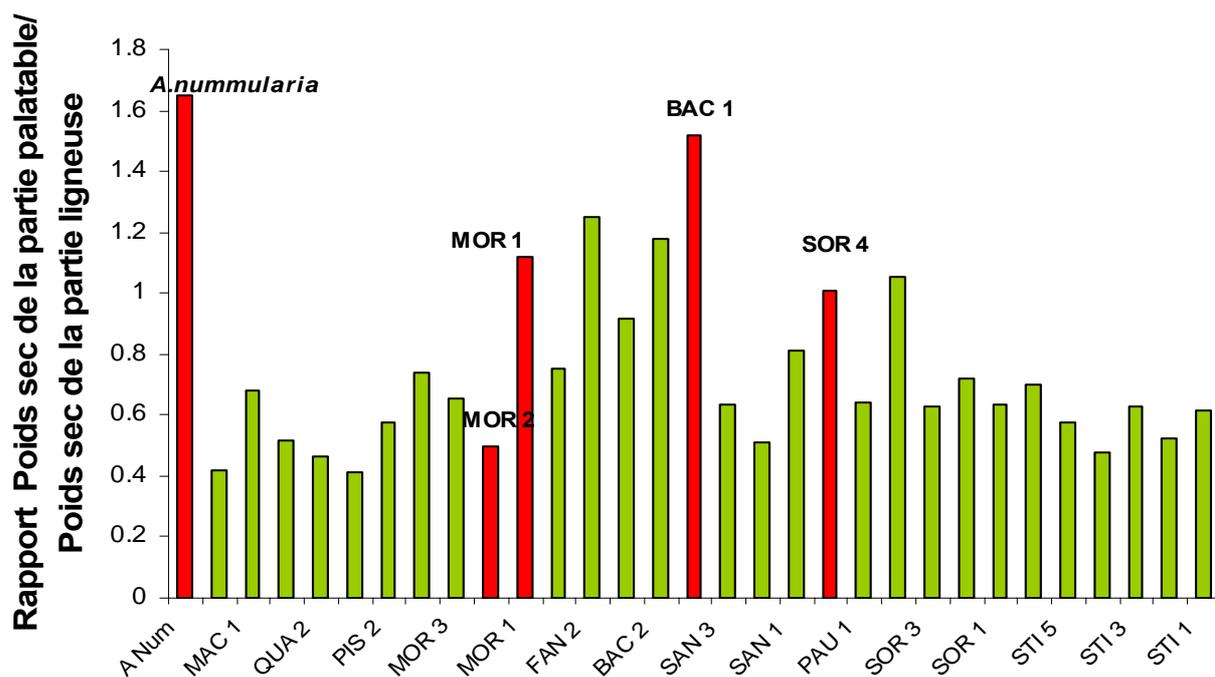
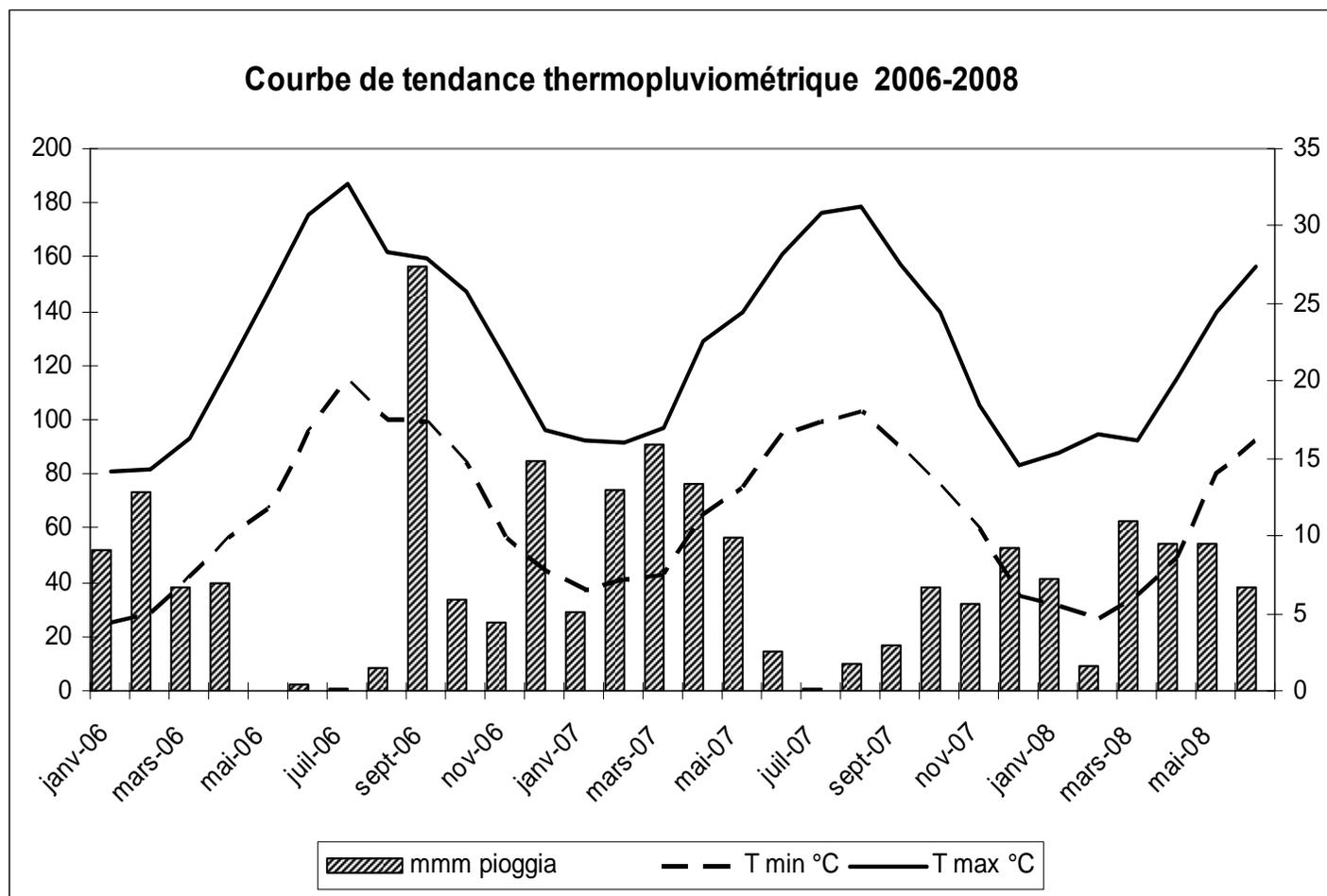


Figure 7. Rapport entre les poids secs de la partie consommable de la plante et la partie de la tige très lignifiée.



**Figure 8. Données climatiques de la station météorologique de Santa Lucia (Oristano).
(Source : Département de Sciences Agronomiques et Génétique Agraire)**

Tableau 7. Analyse chimique de tous les arbustes plantés sur terrain (première evaluation le 3/07/2006)

Espèce ou clone	Azote (% MS)	Proteine Brute (%MS)	Phosphore (% P ₂ O ₅)	Macroelements (% MS)				Microelements (ppm)			
				Na	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
A.numm	3.01	18.81	1.14	1.61	1.98	0.40	0.42	6	21	98	69
MOR2	1.53	9.54	1.05	1.71	1.40	0.66	0.65	10	29	102	72
STI 1	2.17	13.56	0.91	2.09	1.58	0.79	0.87	11	14	141	151
PAU 1	2.21	13.83	3.28	2.29	2.15	0.44	0.85	9	32	137	86
STI 5	2.31	14.44	0.81	2.04	1.15	0.40	0.91	5	9	215	72
SOR 2	2.25	14.09	1.13	2.30	2.00	0.95	1.19	8	15	123	76
SOR 1	1.88	11.73	1.03	1.90	2.40	0.96	1.26	10	21	112	79
BAC 1	2.02	12.60	0.73	2.05	1.87	0.68	1.14	6	26	139	62
FAN 1	2.18	13.65	1.17	2.09	1.06	1.10	1.33	5	14	229	134
STI 3	2.24	14.00	0.79	1.87	0.78	0.58	0.83	6	8	121	67
SAN 2	2.10	13.13	0.96	1.68	2.09	0.51	1.37	5	26	169	120
STI 2	2.10	13.13	0.63	2.04	1.10	0.57	0.66	5	11	130	70
MOR 1	2.38	14.88	0.96	1.90	1.48	0.41	0.90	4	13	199	69
SAN 3	2.66	16.63	1.85	1.76	0.94	0.53	0.70	10	6	138	29
PAU 2	1.88	11.73	0.92	1.72	2.02	0.91	0.84	7	23	168	79
BAC 1	1.89	11.81	0.85	1.77	1.59	0.78	1.19	6	18	142	54
FAN 2	2.32	14.53	0.95	1.69	1.96	0.59	1.39	5	21	157	102
STI 4	2.80	17.50	0.84	1.21	1.27	0.87	0.82	9	8	143	74
SOR 4	2.45	15.31	0.84	1.78	2.05	1.02	1.15	5	14	128	100
FAN 3	2.44	15.23	0.91	2.03	1.06	0.91	1.26	10	18	125	108
GIO 1	1.96	12.25	0.71	1.73	2.32	0.94	1.34	3	43	121	189
QUA 1	1.85	11.56	0.79	1.77	1.97	0.96	1.20	3	21	658	73
QUA 2	2.21	13.83	1.49	1.55	2.07	1.17	1.47	9	32	205	66
MAR 1	1.96	12.25	0.72	1.60	1.59	2.29	0.93	11	21	110	127
MAC 2	2.80	17.50	0.84	2.02	0.87	0.75	1.70	5	46	245	138
PAL 1	3.19	19.95	0.92	1.73	1.41	0.44	0.86	3	18	212	140
MOR 3	2.38	14.88	0.85	1.74	0.91	0.93	0.79	4	7	117	18
SAN 1	2.24	14.00	1.03	1.53	0.99	0.91	1.12	7	11	162	38
SOR 3	2.21	13.83	0.92	1.76	1.13	0.56	0.76	4	20	163	123
PIS 1	2.45	15.31	0.93	1.69	1.78	0.41	0.89	4	14	163	73
PIS 2	3.08	19.25	1.28	1.63	2.29	0.47	0.38	7	12	105	28

L'analyse chimique de tous les clones a donné les valeurs moyennes de trois répétitions résumées dans le tableau 7. Les clones qui ont été choisis pour la simulation du broutage ont été ensuite coupés à 50 cm de la surface du sol.

2.3. Evaluation quantitative et qualitative de l'offre fourragère des clones coupés

Les clones choisis pour la simulation du broutage et coupés à 50 cm du sol en été 2006 ont fait l'objet d'une deuxième coupe pour une évaluation quantitative en date du 3/7/2007, après une année de la première évaluation. Les résultats reportés sur le tableau 8 résument la biomasse produite par ces clones durant une année.

Le tableau 9 résume l'offre fourragère ainsi que la composition chimique moyenne de ces clones coupés à différentes hauteurs du sol deux mois après la coupe à différentes hauteurs et après une bonne pluie et déterminer ainsi la meilleure hauteur de coupe pour laquelle l'arbre reprend bien. Il ressort que pour tous les clones, les arbustes ont accumulé plus de sodium après plus d'une année d'âge ce qui montre la capacité de cet arbuste à nettoyer le sol des sels. Les coupes à différentes hauteurs ont pour effet une augmentation du taux du phosphore surtout pour les coupes à 40 et 50 cm de la surface du sol.

La teneur en protéines a nettement augmenté pour les clones MOR 2, MAC 1, QUA 1, QUA 2 avec la coupe, en effet les taux de protéines les plus élevés ont été enregistrés chez les sujets coupés comparés au témoin (arbre intouché), par contre, et pour les clones PAL 1, MAR et SOR 4, il ressort que le taux de protéine le plus élevé soit celui des arbustes témoin et que donc la coupe pour ces clones n'a pas amélioré le taux de protéines totales.

Le phosphore qui joue un rôle central dans le métabolisme des animaux aussi bien que celui des plantes est présent en concentrations suffisantes chez les deux espèces et pour tous les clones, à toutes les périodes de l'année où on a fait les analyses et à tous les âges des plantes aussi bien coupés que non coupés. En effet, les doses

recommandées par le National Research Council (1975) sont de 0.16 à 0.37%, valeurs largement inférieures à celles trouvées lors de nos analyses (voir tableaux 7 et 9).

Les deux espèces étudiées contiennent des quantités de sodium très supérieures à celles recommandées pour les ruminants (0.06%) par le National Research Council (1981). Dans toutes les analyses des coupes d'été ou d'automne, aussi bien sur des sujets jeunes âgés seulement de 5 mois que les sujets âgés de plus d'un an, le taux de sodium dépasse les 1% avec un taux beaucoup plus haut chez les sujets âgés de plus d'un an où il dépasse, et ce pour les deux espèces et tous les clones, les 4% (voir tableaux 7 et 9). Ces concentrations élevées font de *Atriplex* un fourrage d'une moindre qualité et font augmenter la demande en eau de bonne qualité de la part des animaux (Grice *et al.*, 1988).

En plus, et pour le potassium, les concentrations trouvées chez les deux espèces sont plus élevées que celles recommandées par le National Research Council (1975 et 1981) qui doivent être comprises entre 0.5 et 0.8 % contre des valeurs allant de 0.4 à 2.8 % avec une sensible diminution chez les plantes âgées de plus d'un an.

Mais ces concentrations salines, et durant l'hiver saison de forte utilisation de ces arbustes diminuent considérablement suite au lessivage des trichomes des feuilles qui contiennent au moins 50 % du sel des feuilles (Pallaghy, 1970).

Dans les zones arides et semi arides, la supplémentation est nécessaire pour surmonter la déficience des *Atriplex* comme aliment pour le bétail. Cependant, les résultats de plusieurs recherches dont celle de Islam *et al* (2000) indiquent qu'il y a une grande variation dans la valeur fourragère potentielle travers les saisons de croissance et cette variation pourrait être utilisée pour augmenter la valeur fourragère des *Atriplex* pour les animaux à des périodes déterminées de l'année.

Tableau 8. Evaluation quantitative de l'offre fourragère de la plantation âgée d'une année (3/7/2006- 3/7/2007)

Clone	Nombre	Poids frais unitarie(g)		Poids frais total(g)		Poids sec unitarie(g)		Poids sec total (g)		Rapport Matière	
		Partie	Partie	Partie	Partie	Partie	Partie	Partie	Partie	P.verte/ P.ligneuse	Sèche
		Unités	Verte	Ligneuse	Verte	Ligneuse	Verte	Ligneuse	Verte	Ligneuse	e
MOR2	24	41.2	44.0	989	1056	19.7	29.4	473	1056	0.936	425
PAL 1	30	65.7	53.3	1971	1599	25.6	33.9	768	1599	1.233	691
MAC 1	16	143.5	149.7	2296	2395	55.9	86.5	894	2395	0.959	805
MAR	12	131.5	167.1	1578	2005	48.2	97.3	578	2005	0.787	520
QUA 2	10	47.7	68.3	477	683	24.4	47.1	244	683	0.698	220
QUA 1	20	63.3	160.6	1266	3212	30.5	102.7	610	3212	0.394	549
SOR4	35	100.4	51.0	3514	1785	36.7	33.1	1285	1785	1.969	1156

Tableau 9. Offre fourragère et analyse chimique des clones coupés pour la simulation du broutage(coupe du 8/11/07)

1: moyenne de 3 arbres coupés à 50 cm

2: moyenne de 3 arbres coupés à 40 cm

3: moyenne de 3 arbres coupés à 30 cm

4: indérangé

Clone		Poids sec total (g)		Rapport Matière fraîche	Matière sèche (Kg/Ha)	Proteines % de la MS	phosphore (% P ₂ O ₅)	cendres tot (%) de la MS	K	Macroelements (% MS)		
		Partie Verte	Partie Ligneuse							Mg	Ca	Na
MOR 2	1	138	113	2.50	124.20	13.63	1.08	20.00	1.61	0.56	0.58	6.05
	2	33	268	0.34	29.70	15.81	1.58	23.50	2.27	0.74	0.49	6.00
	3	14.4	121.2	0.45	12.96	18.61	1.35	24.50	1.85	0.75	0.57	7.30
	4	437.5	825	0.82	393.75	12.67	1.29	18.20	1.63	0.70	0.80	4.40
PAL 1	1	171	140.4	0.90	153.90	19.66	0.99	27.90	0.81	0.61	0.91	9.50
	2	158.4	174	2.67	142.56	16.51	0.91	31.50	1.14	0.46	0.74	11.05
	3	83	169	2.49	74.70	17.91	0.91	29.10	0.88	0.45	0.69	10.25
	4	774	1407	1.39	696.60	21.23	1.19	19.60	0.68	0.52	0.68	6.35
MAC 1	1	454	478	2.13	408.60	17.12	1.04	24.10	0.90	0.72	0.86	7.30
	2	142	348	1.06	127.80	16.07	1.09	20.80	0.88	0.73	0.96	6.75
	3	68	48	3.11	61.20	15.81	1.05	22.40	0.74	0.80	0.94	6.15
	4	665.6	1072	1.16	599.04	15.11	0.86	23.90	0.44	1.24	1.41	7.95
MAR	1	99	618	0.30	89.10	7.43	1.06	17.80	1.70	0.54	0.98	4.50
	2	56.4	186	0.73	50.76	11.79	1.16	22.00	1.95	0.56	0.61	5.80
	3	40.2	72.6	1.28	36.18	11.36	1.00	18.60	1.85	0.47	0.54	5.15
	4	315	843	0.72	283.50	14.24	0.92	23.50	1.17	0.67	0.91	7.90
QUA 2	1	129	447	0.56	116.10	12.14	1.93	21.10	1.13	0.93	0.62	5.90
	2	67	25	4.88	60.30	13.63	1.30	19.00	1.04	0.70	0.62	4.95
	3	34.3	103.6	0.79	30.87	13.37	1.81	22.00	1.23	0.88	0.59	7.20
	4	176	369.6	0.77	158.40	10.05	1.43	16.20	0.81	0.91	1.23	4.25
QUA 1	1	83.6	246.4	0.85	75.24	10.05	1.04	24.30	2.67	0.54	0.61	4.95
	2	30.4	156	0.59	27.36	16.69	1.11	27.50	2.82	0.61	0.62	6.35
	3	46.2	147.4	0.75	41.58	14.43	0.95	22.00	1.75	0.58	0.62	5.70
	4	64.4	208.6	0.47	57.96	9.53	0.81	21.50	1.80	0.58	1.25	5.25
SOR 4	1	250	598	0.93	225.00	14.32	0.81	27.50	0.58	1.09	1.66	12.85
	2	135.6	168	1.75	122.04	16.56	1.73	24.70	0.85	0.94	1.19	7.30
	3	86.4	56.4	3.36	77.76	22.54	0.91	26.30	1.01	0.76	1.42	6.35
	4	525	1272	0.66	472.50	24.13	0.87	23.90	0.73	1.12	1.18	6.70

*Belkheiri Oumelkheir, Adaptabilité des espèces du genre Atriplex aux conditions de salinité et d'aridité, Tesi di Dottorato in Agrometeorologia ed Ecofisiologia dei Sistemi Agrari e Forestali, Università di**Sassari*

Si l'on considère que les coupes aux trois différents niveaux ont intéressé toute la partie consommable par les animaux (voir fig. 10), on peut assimiler alors ces coupes à un broutage à ces mêmes différentes hauteurs qui aurait consommé toute la matière verte palatable. Les résultats ci-dessus montrent la reprise des différents arbres suite à différentes sévérités de coupe qui correspondraient à une sévérité d'utilisation de ces arbustes de la part des animaux.

Les sept clones choisis pour cette simulation montrent une meilleure reprise de la plante pour la coupe faite à 50 cm et ce pour tous les clones sans exception. Il paraît donc que cette hauteur de coupe serait la meilleure à adopter soit pour une coupe de rajeunissement des plantes soit pour la taille des branches de ces plantes pour les introduire dans la ration alimentaire du cheptel soit enfin pour l'utilisation directe du cheptel qu'il faut surveiller pour une utilisation de ces arbustes qui ne doit pas aller au-delà de cette hauteur au sol sinon la reprise de la plante sera compromise.

La hauteur de coupe la plus néfaste pour la reprise des plantes est celle faite à 30 cm, en effet, elle s'est révélée une coupe drastique qui limite beaucoup la reprise de la plante même si *A.halimus* peut avoir une reprise latérale très importante comme on le verra sur plantes cultivées en vases.



Figure 9. Reprise de quelques clones coupés à 50 cm. De gauche à droite et de haut en bas : SOR 4, MOR 2, MAC 1 et MAR 1

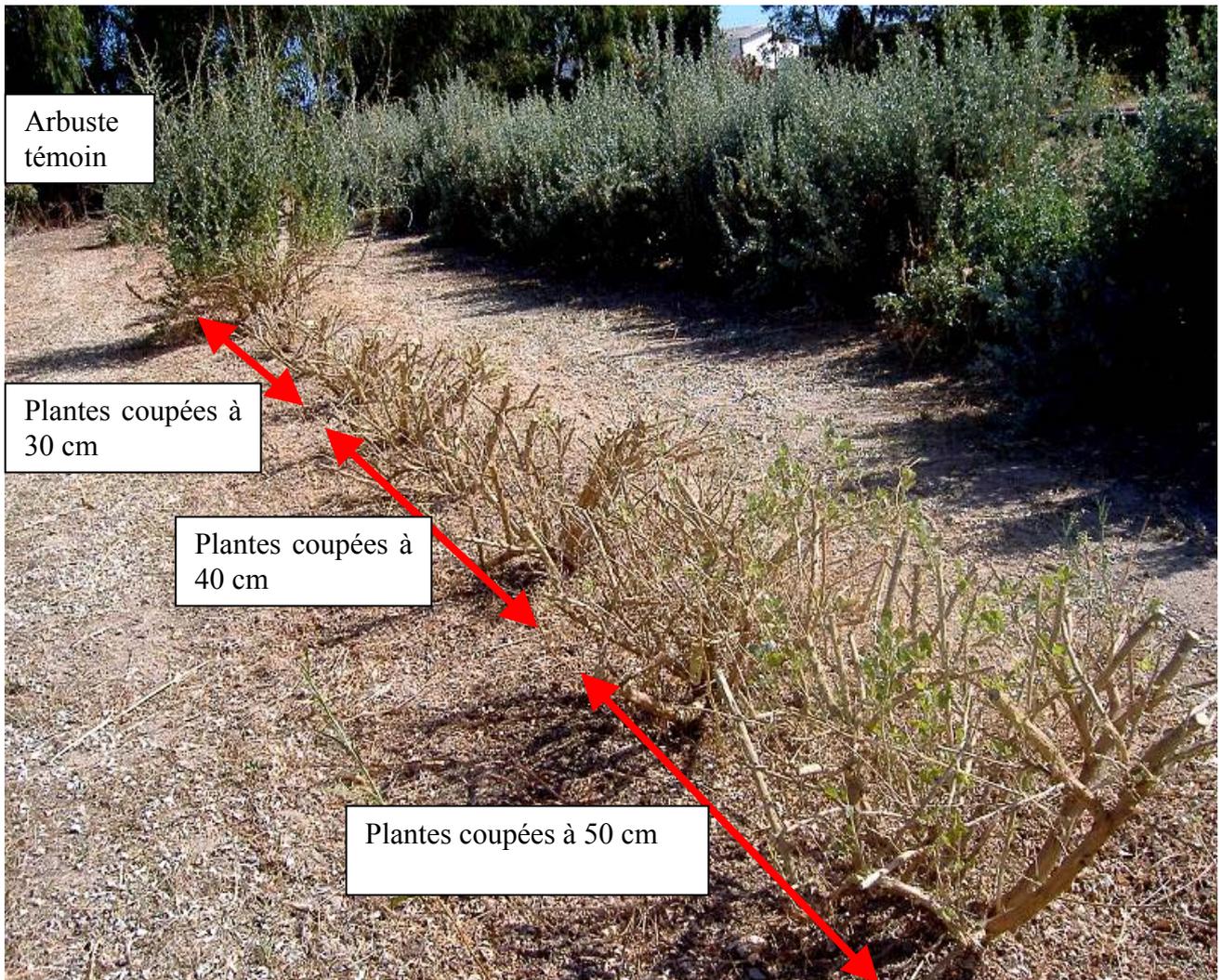


Figure 10. Coupes sur terrain pour la simulation du broutage : trois hauteurs de coupe pour trois arbres chacune plus un arbuste témoin non coupé.

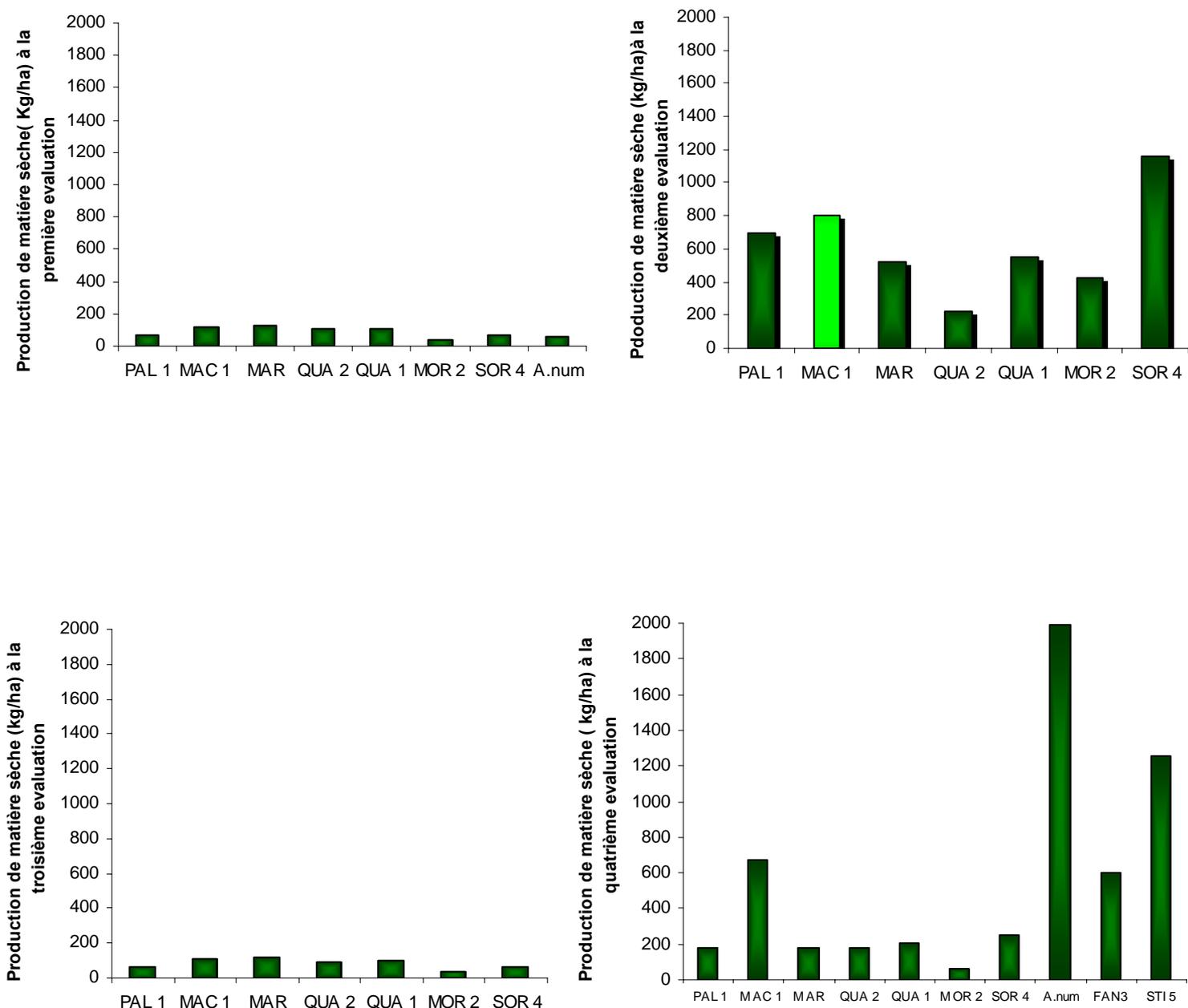


Figure 11. Production de matière sèche (MS) consommable durant les différentes évaluations faites sur les clones d'*A. halimus* coupés et deux autres non coupés pour la simulation du broutage ainsi que *A. nummularia*

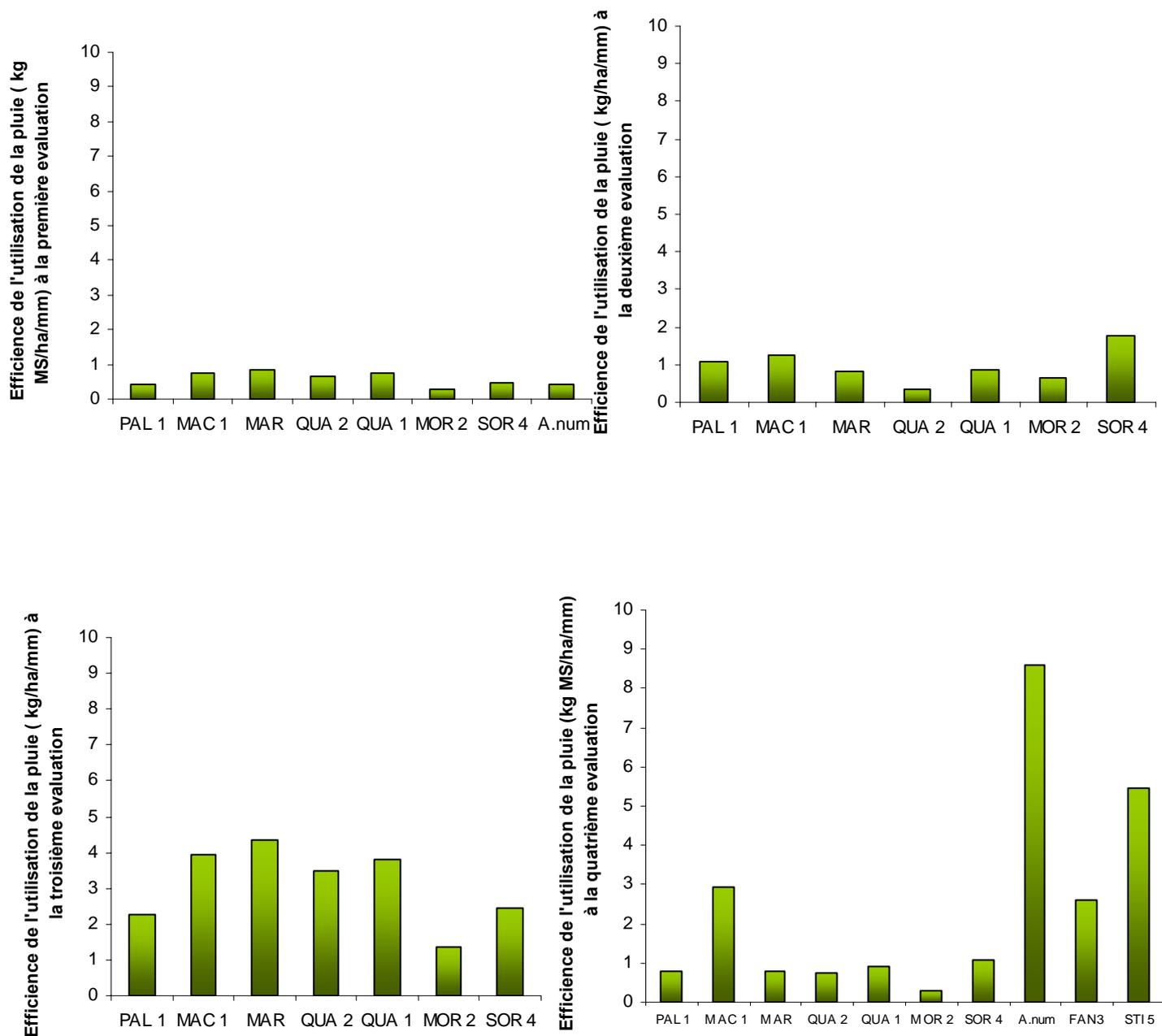


Figure 12. Efficacité de l'utilisation de l'eau de pluie pour les mêmes clones pour les mêmes périodes d'évaluations.

Les évaluations faites pour l'estimation de la matière fourragère ont été faites à différentes dates sur une période de deux années. Même si une évaluation se doit d'être faite à partir de la troisième année d'âge car c'est à partir de la troisième année que ces arbustes ont assez d'offre fourragère à être pâturés ou coupés et donnés au cheptel.

Nous avons donc essayé de suivre dans le temps l'offre fourragère des clones qu'on a coupé pour simuler le broutage ainsi que d'autres clones ayant eu une offre fourragère notable en plus du seul clone d'*A. nummularia* dont on dispose.

Les évaluations ont été échelonnées dans le temps comme suit :

- Première évaluation, faite le 3/8/2006 après seulement six mois de la mise à terre des clones sur le terrain en date du 3/2/06. Juste après cette évaluation les clones destinés à la simulation du broutage ont été tous coupés à la hauteur de 50 cm de la surface du sol.
- Deuxième évaluation faite le 3/7/2007 sur les clones coupés à 50 cm. C'est une estimation de la production d'environ une année (précisément 11 mois d'âge de 3/8/2006 au 3/7/2007). Juste après cette évaluation on a procédé au coupage à trois niveaux (50, 40 et 30 cm) pour la simulation du broutage.
- Troisième évaluation faite seulement deux mois après la précédente en date du 4/9/2007 après une bonne pluie pour voir l'effet d'un apport d'eau sur les clones coupés à différents hauteurs pour la simulation du broutage donc l'effet combiné d'un apport d'eau sur des clones à peine coupés.
- Quatrième évaluation faite le 18/3/2008, sur les clones coupés ainsi que deux autres en plus de *A. nummularia*. Cette évaluation a eu lieu après une bonne période de pluie et surtout à un âge de deux années des plantes.

De ces évaluations, plusieurs conclusions peuvent être tirées :

Le clone SOR 4 est celui qui a donné la meilleure offre fourragère surtout à la 2^{ème} évaluation où les arbustes étaient âgés de 1 année avec 1156 kg/ha de matière sèche avec la meilleure efficacité d'utilisation de la pluie RUE (1.78 kg/ha/mm) ce qui

confirme le choix judicieux de ce clone pour vérifier sa réponse aux différents stress abiotiques. Ces résultats dépassent de beaucoup ceux trouvés par Abu Zanat (2004), où la production de matière sèche de *A. halimus* et *A. nummularia* en Jordanie ont été de 273 et 979 kg/ha respectivement et ce aux espacements de plantation de 8 et 12 mètres respectivement. Les valeurs de RUE de 0.72 kg/ha/an/mm pour *A. halimus* planté avec un espacement de 8 m et de 2.57 kg/ha/an/mm pour *A. nummularia* avec un espacement de plantation de 12 m.

A la troisième évaluation très proche dans le temps de celle précédente, l'offre fourragère est bien sur très basse pour les clones coupés, mais l'efficacité de l'utilisation de la pluie a été très importante, en effet, *A. halimus* profite pleinement de chaque mm de pluie mis à sa disposition. Il y a eu une augmentation spectaculaire dans le RUE, ainsi il est passé de 1.78 à 2.43 kg/ha/mm pour le clone SOR 4 et il en est ainsi pour tous les clones coupés surtout pour le clone MAR où il est passé de 0.8 à 4.34 kg/ha/mm (voir Fig. 12).

MOR 2 et SOR 4 ont donné des taux de matière sèche très bas relativement aux autres clones. En effet, SOR 4 a été fortement attaqué par un insecte tandis que MOR 2 a été fortement lignifié malgré la première coupe ce qui laisse supposer que ces deux clones ont besoin d'une taille de rajeunissement assez fréquente pour la reprise de la végétation. Le clone STI 5 apparaît très intéressant à la dernière évaluation vu les taux de matière sèche enregistrés ainsi que le haut RUE (1260 kg/ha et 5.43 kg/ha/mm respectivement).

On comparant les rendements en matière sèche des clones coupés âgés d'1 an aux témoins du même âge (Fig. 13) pour savoir s'il vaut mieux couper les arbustes ou alors les laisser, il s'est avéré que pour quasi tous les clones, la coupe à 50 cm a nettement augmenté les rendements, ainsi les taux de matière sèche produite sont passés de 393 à 425 kg/ha pour MOR 2 et de 472 à 1156 kg/ha pour SOR 4, d'où le grand intérêt à tailler ces arbustes pour augmenter leur rendement.

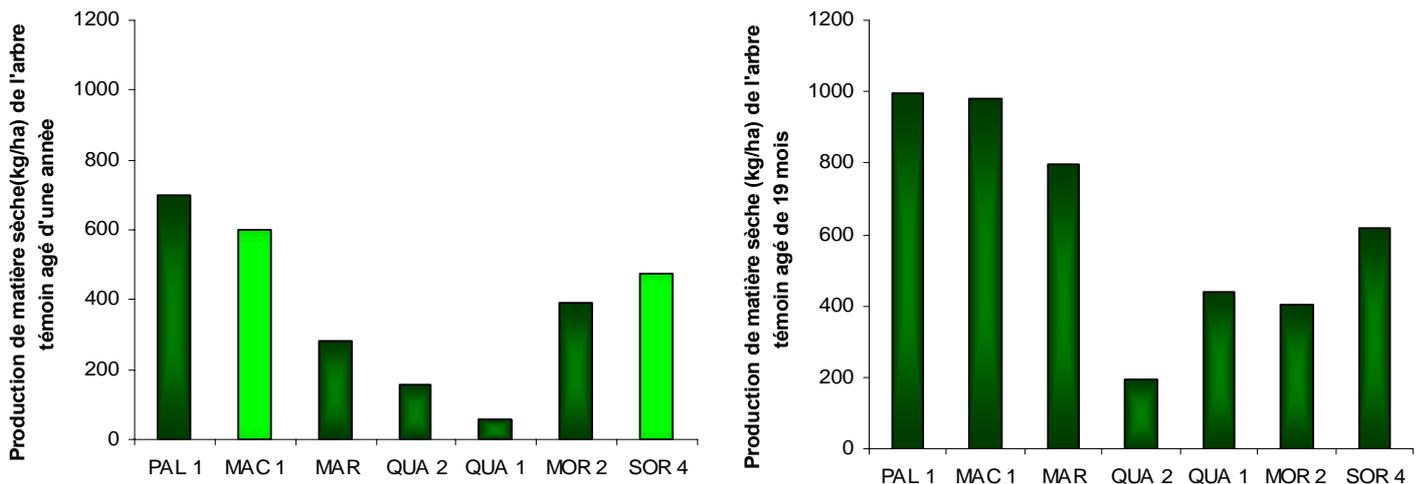


Figure 13. Production de matière sèche pour l'arbre témoin (non coupé) à deux ages différents.

L'efficacité de l'utilisation de l'eau des pluies est un facteur très important pour comprendre à quel point un clone est en mesure d'utiliser l'eau des précipitations et la transformer en matière végétale. On remarque que cette valeur augmente avec l'âge des clones et donc de la meilleure adaptation aux conditions. Elle est nettement supérieure chez les clones âgés de 19 mois en comparaison avec ceux âgés d'une année. La coupe des clones étudiés a nettement augmenté cette efficacité, en effet, ces valeurs sont passées de 0.27 et 0.70 Kg MS/ha/mm respectivement pour MOR 2 et SOR 4 témoins à 0.46 et 1.07 Kg MS/ha/mm coupés. Il semblerait aussi que le clone SOR 4 ait une efficacité de l'utilisation des eaux nettement supérieure à celle de MOR 2.

L'effet d'une bonne pluie qui a enregistré 26 mm en deux mois, sur l'efficacité de cette utilisation est spectaculaire, cette efficacité est passée de 0.59 et 0.716 avant la pluie à 1.33 et 2.43 MS/ha/mm respectivement pour MOR 2 et SOR 4 seulement deux

mois après. Ce fait confirme les travaux de Abu Zenat (2004) qui a trouvé qu'une irrigation minimale apportée par stockage de l'eau de précipitation fait passer l'Efficiencia de 1.14 à 4.48 Kg MS/ha/mm dans une plantation d'*Atriplex halimus* âgée de trois années et cultivée en Jordanie,

Le coût de plantation d'arbustes d'*Atriplex* en sec et pour une production d'environ 400 kg/ha avec un taux de réussite ne dépassant pas les 55% n'est pas justifiable d'où l'intérêt économique à la réalisation de petites retenues d'eau de ruissellement d'une capacité de 2500 à 3000 m³ pour l'irrigation d'appoint et pour un supplément d'eau en périodes de longues et sévères sécheresses (Abu Zenat *et al.*, 2004).

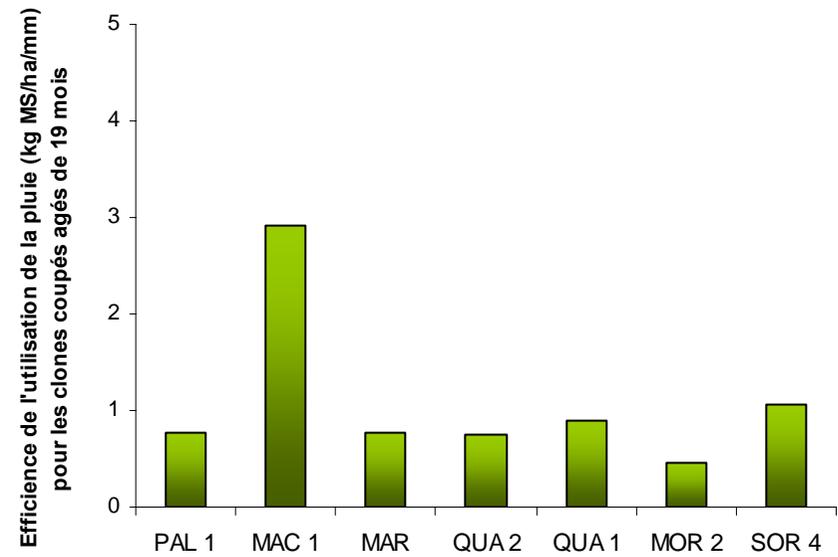
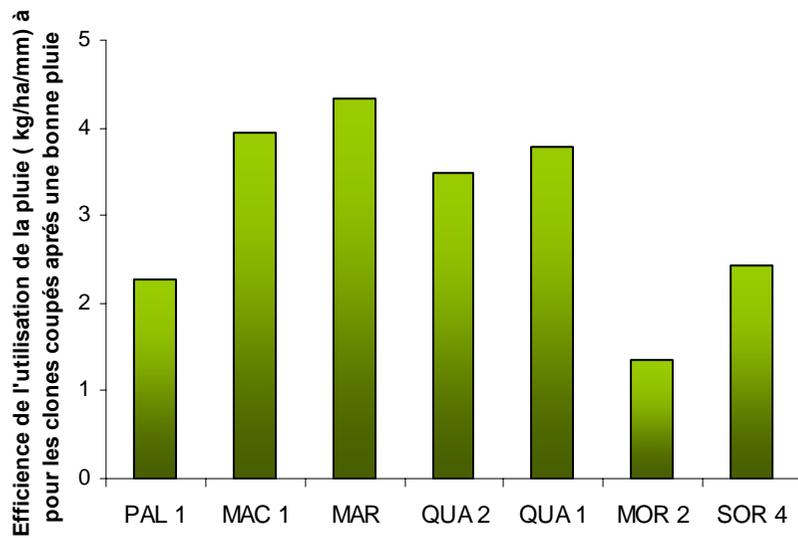
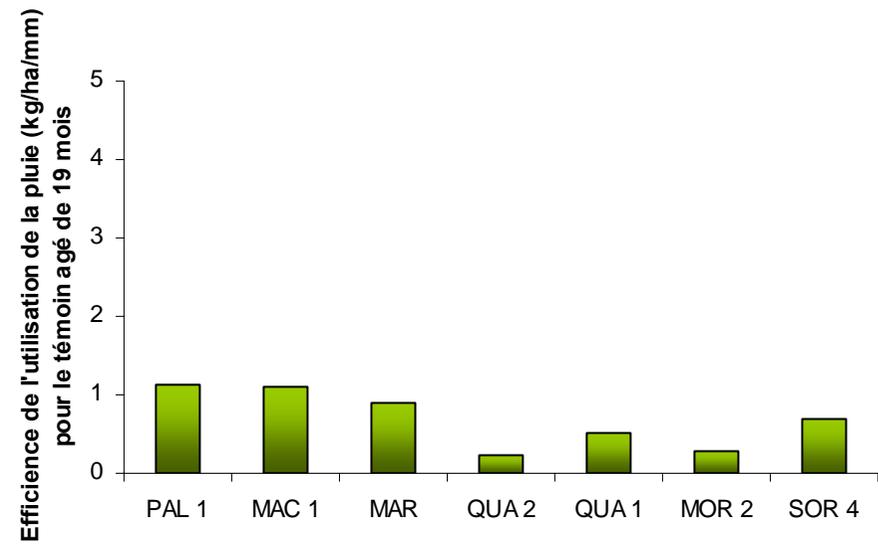
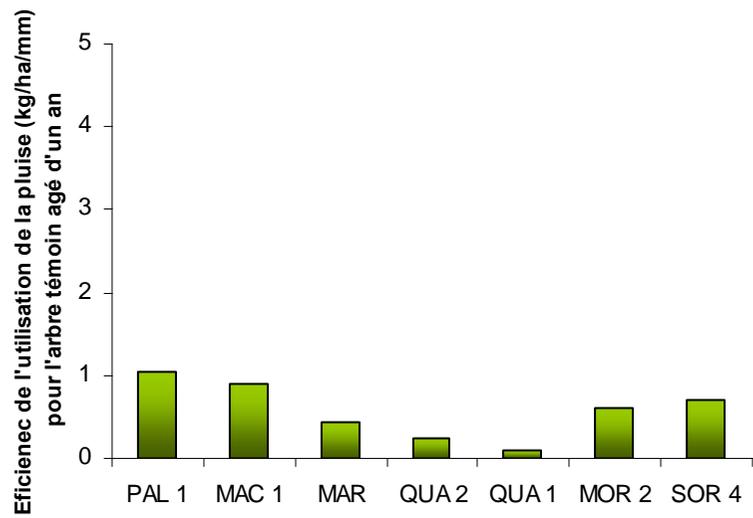


Figure 14. Efficience de l'utilisation des eaux de pluies pour les clones coupés à 50 cm et leurs témoins

2.3.1. Analyses qualitatives

La sélection de génotypes d'*Atriplex* pour l'alimentation animale s'est souvent basée sur des considérations agronomiques, surtout sur le rendement en matière sèche de ces arbustes avec une considération minimale pour la valeur nutritive et la palatabilité. Il a été suggéré que *Atriplex nummularia* a une palatabilité basse comparé à d'autres espèces d'*Atriplex* (Runciman *et al.*, 1989). En plus, on doit considérer l'évidence que l'animal préfère des arbustes spécifiques à d'autres au sein de la même espèce. L'identification des facteurs qui influencent la sélection et la consommation des *Atriplex* donnera des opportunités pour augmenter la production animale des parcours salés et donnera une raison économique pour la restauration des zones salées (Norman *et al.*, 2004).

Les tableaux 10, 11, 12 résumant les différents contenus en protéine brute et en fractions fibreuses des différents clones récoltés à différentes saisons pour voir l'effet de la date de récolte.

Les valeurs de protéine brute sont très élevées si on les compare à celles du même genre dans les conditions de zones aride et sont plus élevées pour les coupes de printemps alors que les fibres sont présentes à des taux plus élevés dans les coupes d'été. Mais ce résultat seul n'indique pas que ce genre fournit une quantité adéquate ou un excès de protéine par rapport au besoin de l'animal car la grande partie de la protéine brute chez *Atriplex spp.* est sous forme d'azote non protéique (Masters *et al.*, 2001).

Le clone Pal 1 a présenté un taux de protéines élevé pour toutes les périodes de coupe associé à un niveau de fibres assez bas d'ADF. Au contraire, les clones QUA (1 et 2) ainsi que MAR ont montré des taux de protéine bas comparés aux autres clones et ce indépendamment de la période de la coupe. Quelques clones (FAN 3, SOR 4 et STI 5) en plus de PAL 1 ont atteint dans la coupe de printemps des valeurs protéiques comparables à celles des légumineuses fourragères de parcours.

Le tableau 13 résume le taux de protéines liées à l'ADF considérée comme non disponible à l'animal car insoluble. Les résultats obtenus font voir que ces taux sont très faibles et que le contenu en protéines brutes reste quand même élevé.

Tableau 10. Composition en Azote et en fibres des clones récoltés en été (3 Juillet 2006).

Espèce ou clone	Proteine brute (% MS)	NDF (%)	ADF (%)	ADL (%)	ADL/ADF
MOR2	10.32	41.68	33.62	7.57	0.225
PAL 1	19.64	27.60	15.45	7.57	0.491
MAC 1	16.80	22.74	15.38	7.32	0.476
MAR	11.50	29.49	20.08	7.44	0.371
QUA 2	13.40	27.69	18.99	6.51	0.343
QUA 1	13.34	25.93	16.65	7.03	0.423
SOR4	14.18	30.49	21.19	7.65	0.361
STI5	15.18	37.41	27.21	8.66	0.319
FAN3	15.13	33.43	21.70	6.73	0.310
A.num	18.81	31.64	19.99	6.30	0.315

Tableau 11. Composition en Azote et en fibres des clones récoltés au printemps (Mai 2007) en comparaison avec quelques clones non coupés.

t : Arbre témoin (non coupé)

c : Arbre coupé à 50 cm de la surface du sol

Espèce ou clones	Proteine brute	NDF(%)	ADF(%)	ADL(%)	ADL/ADF
A.num	14.37	25.15	18.13	8.34	0.460
MOR2 c	17.48	27.79	25.39	11.99	0.472
MOR2 t	11.21	28.42	20.88	8.94	0.428
PAL 1c	23.59	23.11	22.82	12.01	0.526
PAL 1t	25.68	24.09	20.41	11.39	0.558
MAC 1c	22.44	22.17	16.64	8.38	0.504
MAC 1t	18.90	25.04	18.73	10.9	0.584
MAR c	14.33	26.28	17.41	8.96	0.515
MAR t	19.76	23.28	20.35	12.66	0.622
QUA 2 c	15.34	25.25	19.60	10.58	0.540
QUA 2 t	13.06	26.22	19.01	9.78	0.515
QUA 1 c	16.69	22.13	17.27	8.66	0.501
QUA 1 t	9.83	23.39	13.87	5.87	0.423
SOR4 c	24.31	21.32	13.50	5.62	0.417
SOR4 t	22.85	20.52	14.19	5.94	0.419
STI 5	23.51	22.71	20.71	10.64	0.514
FAN3	25.87	21.22	17.85	8.80	0.493

Tableau 12. Composition en Azote et en fibres des clones coupés récoltés en Automne (4 septembre 2007)

t : Arbre témoin (non coupé)

c : Arbre coupé à 50 cm de la surface du sol

Espèce ou clone	Proteine brute	NDF(%)	ADF(%)	ADL(%)	ADL/ADF
MOR 2 c	12.78	33.52	28.12	8.23	0.293
MOR 2 t	13.10	30.29	25.04	9.77	0.390
PAL 1 t	20.62	22.40	16.90	7.81	0.462
MAC 1 t	17.00	31.06	23.41	8.39	0.359
MAR t	11.57	43.34	30.41	7.53	0.248
QUA 2 t	12.26	33.75	22.76	10.9	0.482
QUA 1 t	14.29	37.33	27.38	8.82	0.322
SOR4 c	16.04	20.94	21.11	11.62	0.551
SOR 4 t	16.84	22.73	16.10	7.35	0.457

Tableau 13. Protéine liée à l'ADF de quelques clones soumis à la coupe en comparaison avec des clones non coupés

t : Arbre témoin (non coupé)

c : Arbre coupé à 50 cm de la surface du sol

Clones	ADF(% MS)	Protéine liée à L'ADF(% MS)
A.num	20.735	1.909
SOR 4 t	13.864	1.490
MOR 2 c	32.490	2.958
PAL 1	18.471	2.211
MAC 1	25.761	2.511
MAR	32.828	1.205
QUA 2	23.222	1.706
QUA 1	25.843	1.467
SOR4	19.213	2.099
MOR 2 t	24.275	1.389
SOR 4 t	15.533	0.812
SOR 4	24.732	4.182
STI 5	57.730	9.937
FAN 3	30.795	5.002
SOR 3	29.218	5.173
PAU 2	35.775	4.375
GIO 1	23.240	3.858
SAN 1	23.296	4.571
BAC 2	25.444	1.760

Malgré le développement méthodologique dans la nutrition animale et la physiologie des plantes, il n'y a toujours pas une relation exacte entre les attributs mesurés des plantes et leur valeur pour le cheptel. En plus, l'examen de l'accumulation des sels et des fractions azotées chez *Atriplex* et leur relation avec la salinité du sol et les facteurs climatiques sont importants à connaître pour définir d'une manière soignée leur rôle dans la nutrition animale (Islam *et al.*, 2000).

Mais d'une façon empirique, le contenu en fibres brutes d'un fourrage joue un rôle important dans sa sélection par les animaux. Les forages avec un contenu élevé en fibres sont généralement mieux acceptés par les bovins que par les ovins et les caprins. Le stade de croissance et la maturité influent considérablement la valeur nutritive, la palatabilité et l'utilisation d'*Atriplex spp.* Ces plantes sont nutritifs durant la saison humide alors qu'ils sont pauvres durant la saison sèche (El shaer *et al.*, 2000).

Le taux en fibres dans notre expérience a été nettement bas pour *Atriplex nummularia*. Les valeurs de 41.6, 33.6 et 7.5% pour les échantillons pris en été et des valeurs de 25.1, 18.1 et 8.3% pour des échantillons de printemps respectivement pour NDF, ADF et ADL. Abou El Nasr *et al.* (1996) a trouvé des valeurs de 59.4, 36.8 et 9.30% respectivement pour l' NDF, L'ADF et L'ADL dans une étude conduite en Egypte. Norman *et al.* (2004) et dans une étude faite en Australie, a trouvé des valeurs de 30.54 et 17.11% respectivement pour l'NDF et l'ADF. Le taux d'ADL augmente avec l'âge de la plantation en raison de la lignification. Pour toutes les fractions fibreuses, le taux des fibres chez *Atriplex halimus* est très proche de celui d'*Atriplex nummularia*

Le rapport ADL/ADF qui donne une idée sur la digestibilité d'un fourrage et indique une digestibilité basse s'il est supérieur à 50% (El Aich, 1992) montre une bonne digestibilité notamment pour les clones MOR 2 et SOR 4 qui ont en effet des rapports allant des valeurs allant de 29 à 47% pour MOR 2 et de 36 à 41% pour SOR 4.

La digestibilité des clones d' *Atriplex halimus* estimée selon Schroeder (1994) donne des valeurs allant de 70 à 78% au printemps et de 62 à 75% pour les échantillons d'été contre les valeurs de 59% au printemps et 49% en été données par El Aich (1992).

Forbes *et al.*, 2002 ont trouvé que les ruminants sélectionnent un aliment riche en nutriments digestibles et pauvre en toxines parmi les fourrages mis à sa disposition, montrant que la sélection de la part de l'animal n'est pas random alors que Norman *et al.*, 2004 dans une étude conduite en Australie a montré que cette hypothèse n'est pas soutenue même si des relations significatives entre la composition de l'aliment végétal et la préférence par l'animal. Ces relations prises individuellement ou en combinaison ne sont pas assez consistantes entre les espèces et au sein d'une même espèce pour pouvoir affirmer la préférence pour les aliments à grande valeur alimentaire et un taux de composés secondaire bas. En effet, les animaux dans cette expérience ont montré une nette préférence envers *Atriplex amnicola* à *Atriplex nummularia* pourtant moins digestible et ayant un taux de fibres beaucoup plus élevé.

La préférence pour un aliment dépend de la palatabilité et de la capacité de distinction des aliments de la part de l'animal. La palatabilité d'un forage dépend d'un certain nombre de facteurs comme la valeur nutritive, les facteurs anti-nutritionnels et les toxines, l'accessibilité à l'aliment, ainsi que les signaux sentis (tels que goût et odeur). Le goût, l'odeur et la texture d'un aliment sont fortement influencés par la présence et la concentration en métabolites primaires et secondaires. Les espèces d'*Atriplex* sont connues pour avoir une variabilité dans la valeur nutritive et de contenir une gamme de composés qui pourraient avoir des propriétés antinutritionnelles à fortes concentrations. Celles-ci comprennent les oxalates, nitrates, sodium, potassium et chlorures (Masters *et al.*, 2001).

2.4. Variations phénologiques liées à la distance géographique

Tableau 14. Paramètres foliaires moyens de deux clones *d'A. halimus* placés dans une parcelle commune. Sont présentées les valeurs moyennes±l'erreur standard SF: surface foliaire, PFf : poids frais des feuilles, PSf : poids sec des feuilles, PFb : poids frais du bois, PSb : poids sec du bois Lm : longueur moyenne, lm: largeur moyenne. Les valeurs d'une même colonne avec des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

Clones	SF (cm²)	PF f (g)	PS f(g)	PF b (g)	PSf / PSb (F/R)	PS b (g)	Lm (cm)	lm (cm)	Lm/lm (RF)
SOR 4 : Nord de l'île	2.57± 0.18 a	7.96±1.46 a	2.68±0.51 a	12.86±2.02 a	0.37±0.0 a	7.50±1.16 a	37±0.98 a	15.38±0.4 a	2.03±0.06 a
MOR 2: Sud de l'île	1.47± 0.11 b	3.89±0.4 b	1.23±0.11 b	11.42±1.04 a	0.18±0.01 b	6.65±0.62 a	25.2±0.95 b	11.36±0.29 b	2.20±0.08 a

Les deux clones étudiés ont montré une variabilité phénotypique très importante qui est hautement significative pour les dimensions des feuilles (surface foliaire, longueur, largeur) et leurs poids frais et sec. Le poids frais et sec de la partie ligneuse par contre n'est pas significativement différent entre les deux clones).

SOR 4 originaire du Nord de l'île a montré des dimensions des feuilles plus grandes, les feuilles sont plus longues et plus larges que celles de MOR 2 originaire du sud de l'île gardant un rapport foliaire (RF) égal pour les deux clones: feuilles ovoïdes pour les deux clones.

Ceci confirme l'existence, au sein de l'espèce *A. halimus* d'un grand polymorphisme et d'une différenciation qui est d'autant plus important que les populations sont éloignées géographiquement et croissant sous un climat différent. Ce résultat est comparable à celui obtenu pour la même espèce au Maroc (Abbad *et al.*, 2004) pour trois populations pris dans des stations avec un gradient d'aridité croissant (du semi aride au Saharien), en Tunisie (Chalbi *et al.*, 1997) pour des populations naturelles situées dans un axe Nord-Sud. Ces auteurs ont évoqué la notion d'écotype pour ces populations naturelles, morphologiquement et géographiquement distinctes. Dans cette différenciation phénotypique, l'environnement occupe une place très importante.

En effet, les clones SOR 4 et MOR 2 sont situés sur un axe Nord-Sud ce qui constitue un gradient d'aridité climatique a provoqué une réduction de la surface et même de la densité foliaire, donnée interprétable comme une adaptation morphologique aux conditions climatiques (Abbad *et al.*, 2004)

Dans notre étude, comme dans celle menée par (Abbad *et al.*, 2004), la reproductibilité des caractères morphologiques au niveau des deux clones placés dans une parcelle commune laisse supposer qu'il s'agit beaucoup plus d'une différenciation génétique que d'une plasticité phénotypique. En effet, plusieurs auteurs ont rapporté que la variabilité phénotypique causée par la plasticité est limitée par l'utilisation de la parcelle commune (Lorenzon *et al.*, 2001). Cette hypothèse qui a été émise pour d'autres espèces végétales et animales présentant une grande amplitude

écologique comme c'est le cas d' *A. halimus* trouverait son soutien grâce à une analyse isoenzymatique.

3. Culture dans les vases

3.1. Stress hydrique

3.1.1. Efficacité de l'utilisation de l'eau WUE

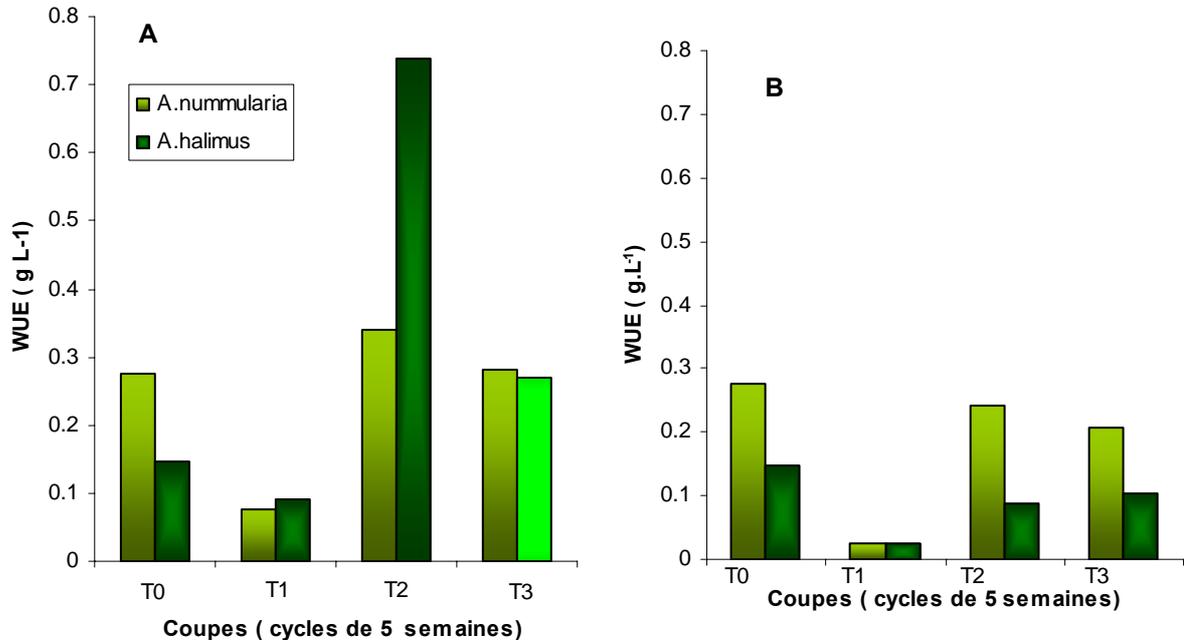


Figure 15. Water Use Efficiency. A : WUE en conditions de stress Hydrique ; B : WUE en conditions de bonne irrigation.

En suivant dans le temps l'effet du stress hydrique sur l'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE) il ressort que le meilleur WUE est obtenu pour *A. halimus* dans les conditions de stress hydrique durant le cycle de fin été. Pour *A. nummularia* il n'y a pas une grande différence entre l'WUE en conditions de stress et ceux en conditions de bonne irrigation. Pour les deux espèces, une mineure valeur de WUE a été enregistré lors de la coupe de plein été (T1) ceci correspond au premier cycle de stress et probablement les plantes n'y étaient pas encore habituées ou alors qu'en dépit des efforts faits pour maintenir aussi bien le substrat du control que celui des plantes stressées aux conditions de l'expérimentation (70% de la capacité au champ pour le control et 40% de la Cc pour les plantes stressées) les deux lots et durant cette même période très chaude et très sèche ont été tous les deux dans des conditions de stress

assez sévère et de ce fait, elles perdent leur capacité à bien valoriser l'eau. De ce fait, *A. halimus* valorise mieux l'eau à sa disposition que *A. nummularia* quand il est dans des conditions de stress modéré.

En théorie, si elles sont cultivées dans un climat approprié, les espèces C₄ devraient montrer une efficacité d'utilisation des radiations, nutriments et de l'eau plus élevée et peuvent atteindre des productivités plus grandes comparées aux plantes C₃ (Beale *et al.*, 1999).

Il serait peut-être plus correct selon (Beale *et al.*, 1999) de préférer les terminologies de «perte en eau» et de «Rapport biomasse eau» à celles « Utilisation de l'eau WU» et «efficacité de l'utilisation de l'eau WUE» respectivement. Le rapport biomasse/eau est souvent calculé comme le rapport de la productivité (totale ou seulement la partie aérienne excluant les racines) à la perte en eau (incluant ou excluant l'évaporation directe du sol et la perte par drainage).

Dans notre cas, les pertes par évaporation sont négligées car on a couvert la surface des vases par une couche épaisse de perlite et la perte en eau par drainage est nulle car on a utilisé un film de polyéthylène stoppant cette perte. Mais reste un facteur important: les conditions environnementales car même si la perte en eau est influencée par le Déficit de saturation de la pression de vapeur (D), le rapport biomasse/eau, utilisé pour remplacer le terme WUE est souvent donné sans aucune indication des conditions de l'ambiance de l'expérimentation ce qui rend beaucoup de comparaisons non valides. De ce fait, et pour pouvoir comparer des WUE de plantes dans différentes conditions environnementales, le WUE ou Rapport biomasse eau, selon la terminologie adoptée devrait être normalisé en multipliant par le facteur (D).

3.1.2. Croissance et relations hydriques

▪ Croissance

Les graphiques suivants (fig. 16) présentent la croissance des plantules au temps T₀, avant le commencement du stress.

Le nombre de feuilles par plantule est plus grand pour *A. halimus* (93 contre 62 pour *A. nummularia*) fig 16 A. En effet, et en comparant les surfaces foliaires des deux espèces, on remarque les feuilles de *confirme* sont plus petites et ont une surface foliaire égale à la moitié de celle de *A. nummularia* (fig 16 B). Les dimensions des feuilles sont largement plus élevées chez *A. nummularia* comme le montre la fig 16 D. Les poids secs par contre sont très proches ce qui montre une croissance des plantules très similaire dans les mêmes conditions d'une bonne irrigation (fig 16 C).

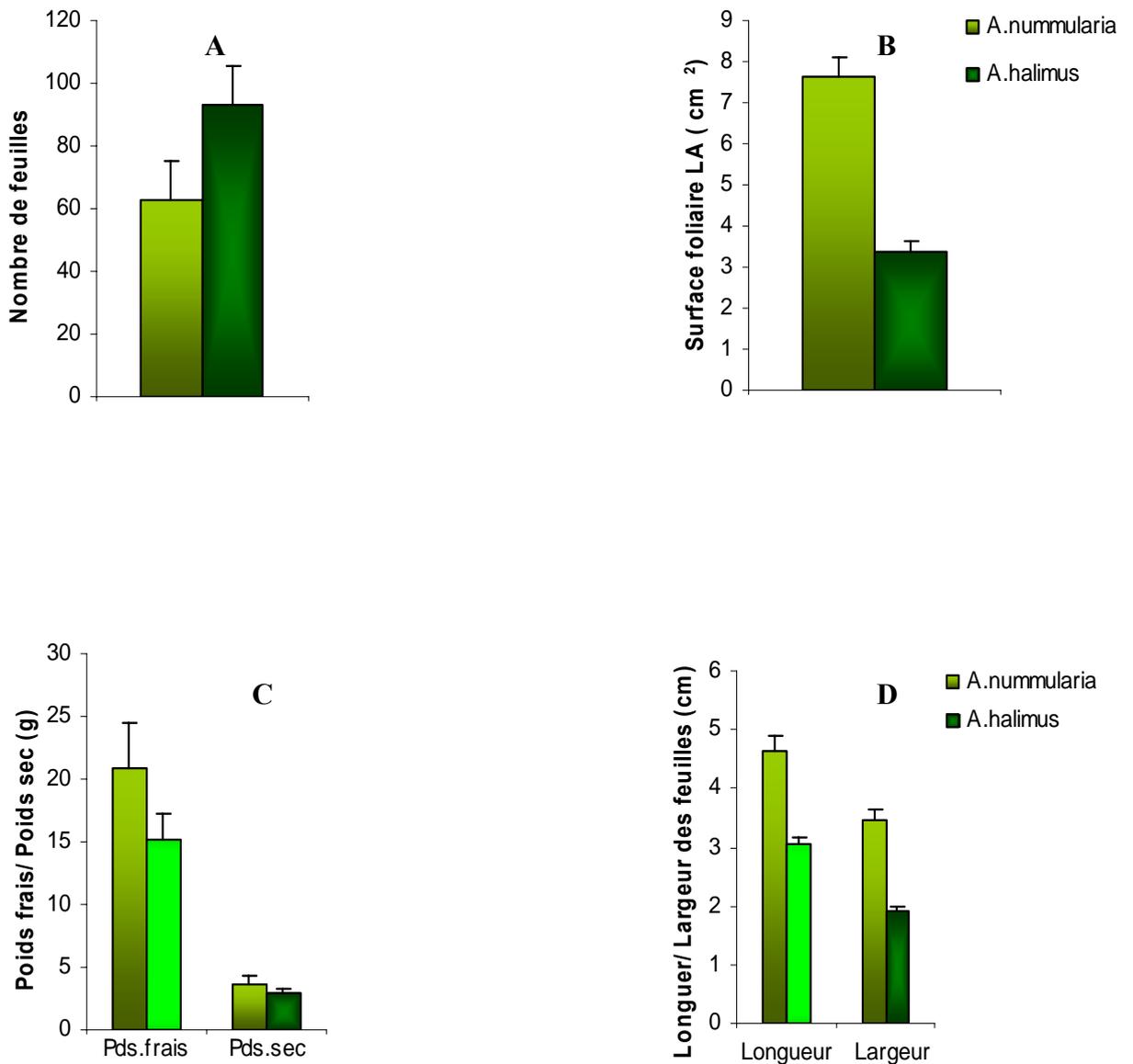
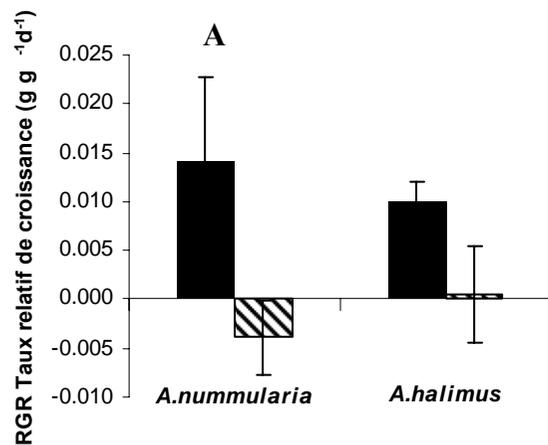


Figure 16. Paramètres de croissance des deux espèces *A. nummularia* et *A. halimus* mis dans les mêmes conditions de croissance au temps T0 avant tout traitement de stress.



B

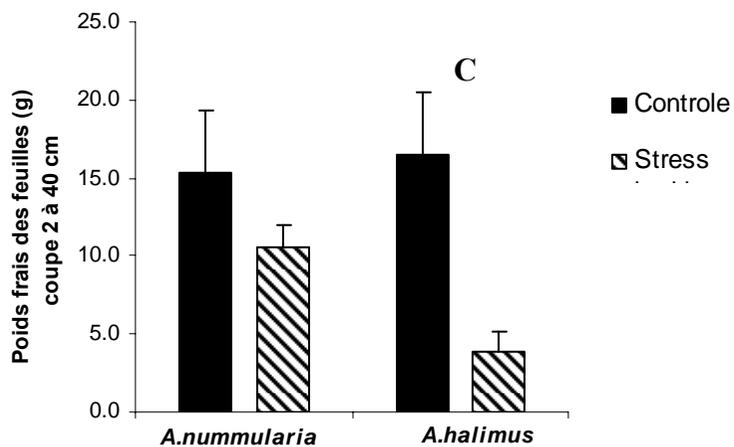
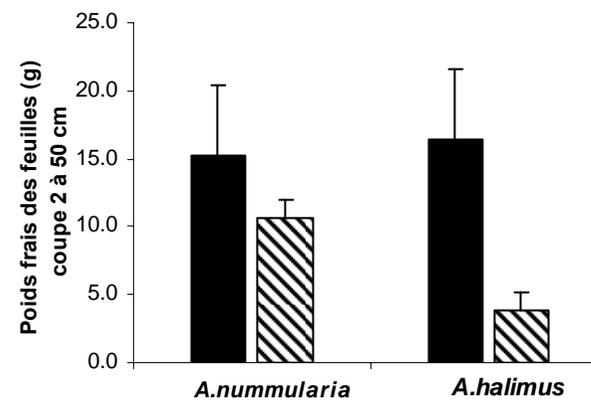


Figure 17. Croissance des deux espèces sous les deux régimes hydriques: A: RGR, ou Taux relatif de croissance. B : Poids frais des feuilles des plantes coupées à 50 cm de hauteur depuis la surface du sol dans le vase. C : Poids frais des feuilles des plantes coupées à 40 cm de hauteur depuis la surface du sol dans le vase. Les deux coupes sont celles faites au temps T 2.

Le stress hydrique a induit une très forte baisse du taux relatif de croissance, baisse qui est plus marquée chez *A. nummularia* que *A. halimus*. En effet, chez *A. nummularia* le RGR a une valeur moyenne négative ($-0.005 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$) ce qui laisse suggérer une altération dans le statut hydrique de la plante alors que pour *A. halimus*, la valeur moyenne est encore positive ($0.001 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$) (Fig 17A).

En revanche, *A. nummularia* présente un RGR nettement plus élevé en conditions de bonne irrigation (control) surtout quand le RGR est fait sur la base de matière sèche. Cette nette différence serait probablement moins marquée si le RGR a été fait sur la base de la matière fraîche.

Le poids frais des feuilles obtenues pour la coupe à 40 cm de la surface du sol du vase est légèrement supérieur à celui de la coupe à 50 cm surtout chez *A. halimus*. Cette différence de poids entre les deux hauteurs de coupe n'a pas pu être bien quantifiée comme on le prévoyait surtout chez *A. halimus* car sa croissance est plutôt latérale que sur l'axe principal de la tige ce qui a rendu très difficile estimer la biomasse produite à deux hauteurs de coupe. En effet, la biomasse produite à la coupe à 40 cm de la surface du sol du vase reste sous estimée du fait que les repousses latérales ne sont pas récoltées (Fig 16.B et C).

La figure 18 ci-dessous résume les valeurs moyennes de matière sèche produite par les deux espèces sous les conditions de bonne irrigation et de stress. Les valeurs sur le graphique sont les moyennes de 8 répétitions correspondantes à 8 vases.

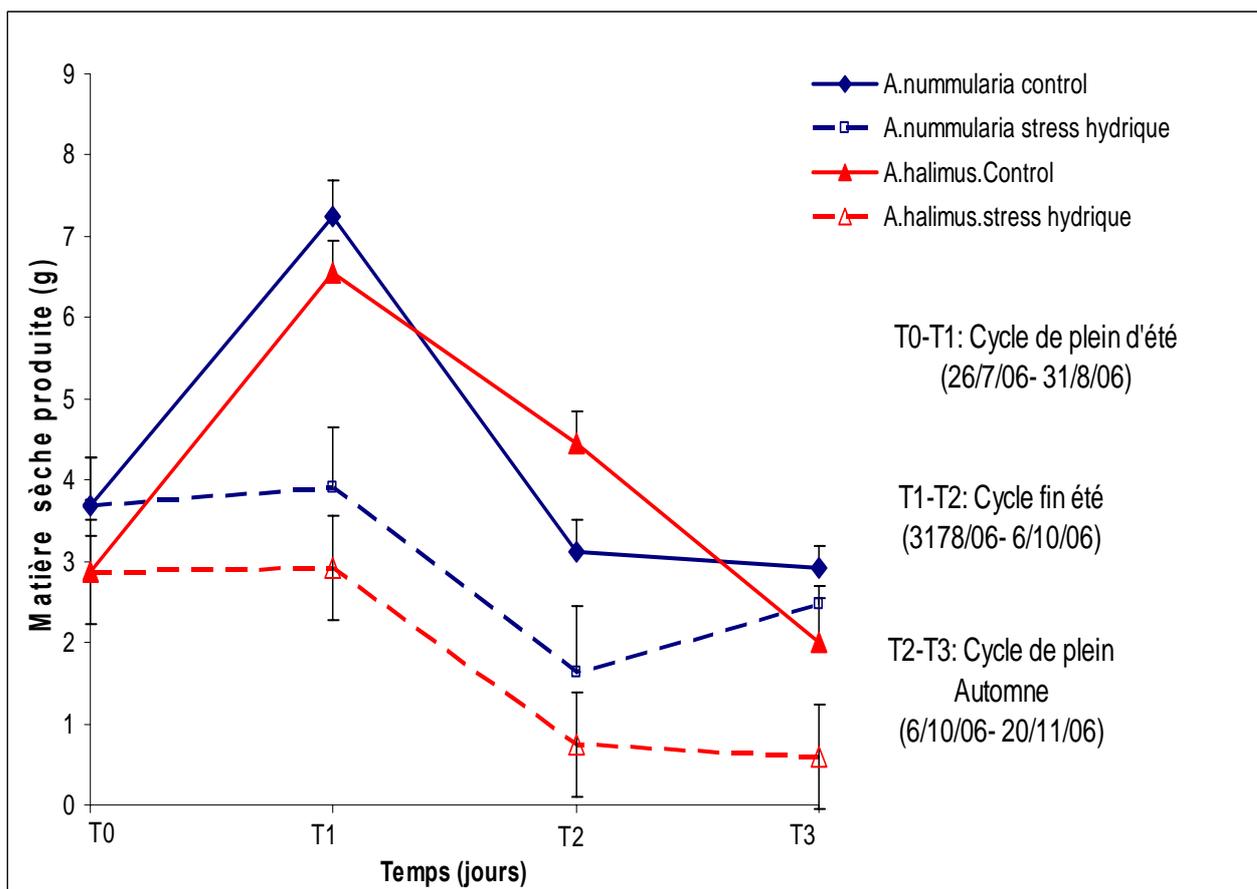


Figure 18. Rendement en matière sèche de la coupe faite à 40 cm du niveau du sol dans les vases pour tous les cycles de croissance.

Le meilleur rendement en matière sèche a été obtenu durant le premier cycle de plein été aussi bien pour *A. nummularia* que pour *A. halimus* (7.23 et 6.56 g de matière sèche par plante respectivement) puis une réduction plus marquée pour *A. nummularia* que pour *A. halimus* au cycle de fin d'été (un déclin de 4.11 g pour *A. nummularia* contre 2.12 g pour *A. halimus*). L'effet du stress hydrique sur le rendement en matière sèche été sensiblement le même pour les deux espèces à tous les cycles de croissance. Il est à noter que le rendement de *A. halimus* est légèrement sous estimé car il a été pratiquement impossible de quantifier les repousses latérales par cette méthode d'évaluation.

En comparant le rendement en matière sèche d'un cycle d'été d'une durée double à celle des autres cycles (cycle de 10 semaines) avec le double du rendement d'un cycle de 5 semaines pour voir s'il est judicieux de couper les plantes pour avoir une bonne reprise ou alors il vaut mieux non perturber les plants et les laisser pour un cycle d'une durée double, on a pu constater que les rendements sont quasi les mêmes pour les plantes stressées pour *A. nummularia* que pour *A. halimus* alors que pour les plantes avec une bonne irrigation, les résultats montrent un rendement plus élevé pour les plantes imperturbées que pour celles coupées surtout pour *A. halimus* où les plants non coupés ont donné un rendement de 11.72 g contre seulement 5.85 g pour le double du rendement d'un cycle de 5 semaines. Pour *A. nummularia*, cette différence n'est pas trop marquée, en effet, pour le cycle d'une durée double on a eu un rendement de 6.89 g contre 5.21 g pour le rendement double d'un cycle de 5 semaines (Fig 18).

Ces résultats laissent supposer qu'il serait souhaitable de non couper les plantes pour leur bonne régénération ceci est probablement dû à la difficulté d'apprécier à sa juste valeur le rendement des plants, surtout chez *A. halimus* où la reprise est surtout latérale et donc sous estimée si on fait une coupe transversale.

Un autre facteur est que le cycle de 10 semaines est un cycle de plein été et donc les plantes sont en pleine expansion, alors que le cycle de 5 semaines a été un cycle de fin été et probablement la plante a avait déjà accusé un ralentissement de croissance.

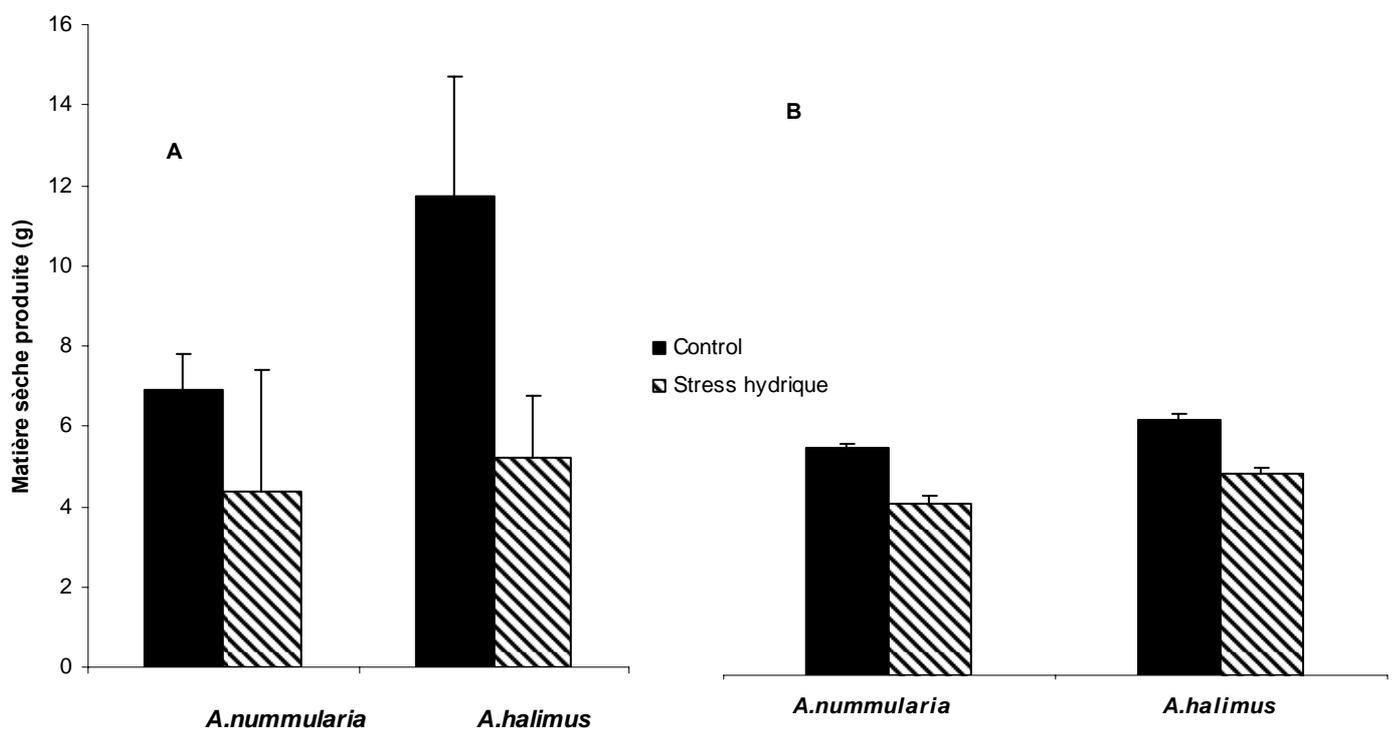


Figure 19. Effet de la coupe des plantes sur le rendement en matière sèche :

A: Cycle d'été d'une durée de dix semaines (durée double d'un cycle de coupe)

B : Double du rendement d'un cycle de fin été d'une durée de cinq semaines.

- Relations hydriques

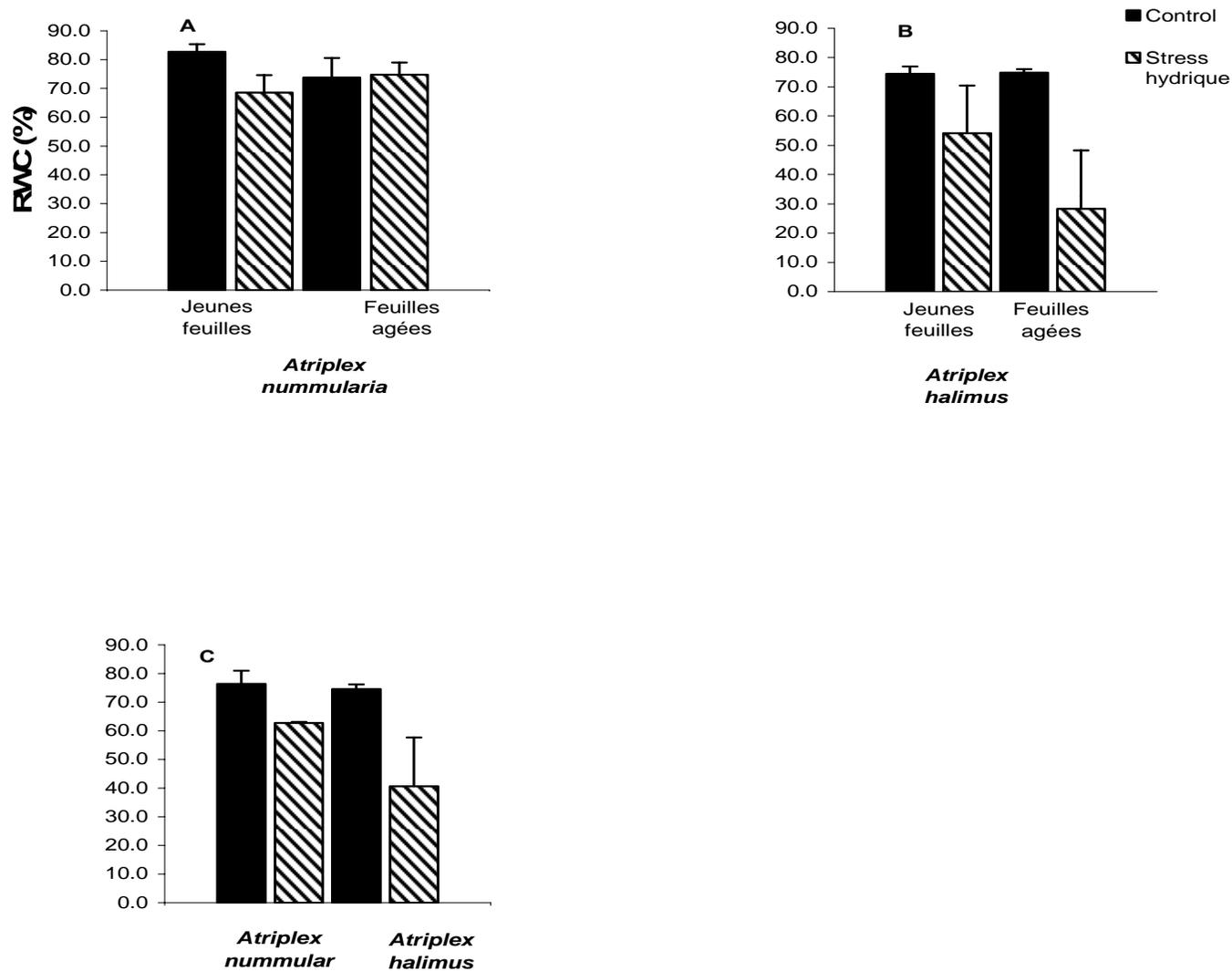


Figure 20. Contenu relatif en eau (RWC) des jeunes feuilles et celles âgées de *Atriplex nummularia* et *Atriplex halimus*, clone MOR 2 sous des conditions de control et de stress hydrique. Les mesures ont été faites après 5 semaines de la première coupe. A et B: contenu relatif en eau des feuilles selon l'âge; C: contenu relatif total en eau sans distinction d'âge des feuilles. Les histogrammes indiquent les valeurs moyennes \pm erreur standard

Dans nos conditions de travail, l'âge des feuilles a un grand effet sur le contenu relatif en eau RWC contrairement au travail mené par Martinez *et al.*,(2003) où l'âge des feuilles n'avait eu aucune influence sur le RWC de deux populations une Tunisienne et une Marocaine de *A. halimus* cultivés dans des conditions de stress hydrique très sévère qui consistait en la non irrigation pour 22 jours consécutifs après une période d'acclimatation de 40 jours où l'eau a été donnée une fois par semaine.

Pour *A. nummularia*, le stress hydrique a induit une baisse significative du RWC surtout chez les jeunes feuilles (de 82.73% chez le control à 68.56 % pour les plantes stressées), alors que pour les feuilles âgées, le RWC du control reste presque égal à celui du stress (74.78% pour le control et 73.85% pour le stress).

Pour *A. halimus*, et contrairement à *A. nummularia*, le stress hydrique a eu un effet marqué sur le RWC aussi bien chez les feuilles âgées que celle jeunes, avec un effet drastique sur les feuilles âgées. En effet si le RWC est passé de 74.37% à 54.15% chez les feuilles jeunes, il est passé de 74.81% à seulement 28.35 % chez celles âgées.

Il existe une très bonne corrélation entre le RWC et le potentiel hydrique comme le montre la figure 21. Cette corrélation est plus forte pour *A. nummularia* ($R^2= 0.92$) que pour *A. halimus* ($R^2= 0.78$).

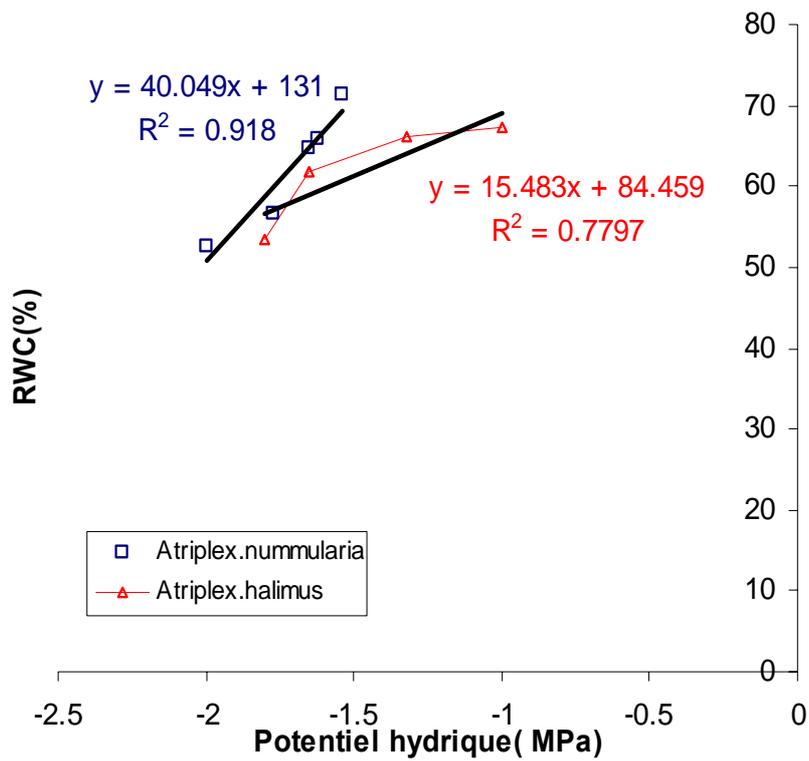


Figure 21. Le contenu relatif en eau RWC en fonction du potentiel hydrique ψ_w

Le rapport TW/ DW est significativement plus bas pour *A. nummularia* dans les deux conditions de bonne irrigation et de stress que pour *A. halimus* et il est plus bas pour les jeunes feuilles que pour les feuilles âgées pour les deux espèces (Fig 22).

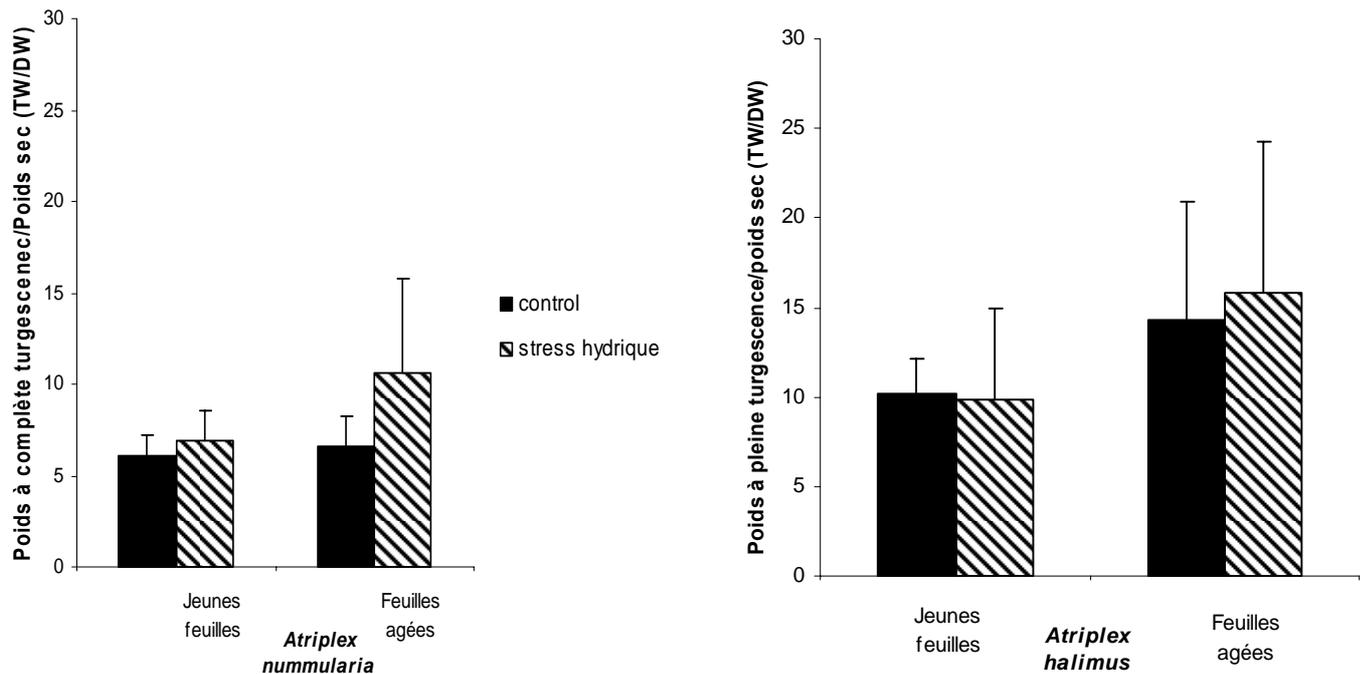


Figure 22. Rapport Poids à complète turgescence au poids sec des feuilles récoltées lors de la deuxième récolte T1 de plein été. Les histogrammes indiquent les valeurs moyennes \pm erreur standard

- Echanges gazeux

Tableau 15. Echanges gazeux durant le cycle de croissance du 31/8/06 au 6/10/06 (cycle de fin d'été)

	Paramètres	Control	Stress hydrique
<i>Atriplex nummularia</i>	Conductance stomatique (mmoles H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	33	22
	Photosynthèse A (µmoles CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	9.7	6.28
	Transpiration E (mmoles H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	1.17	0.77
<i>Atriplex halimus</i>	Conductance stomatique (mmoles H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	29	18.33
	Photosynthèse (µmoles CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	10.1	5.76
	Transpiration (mmoles H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	1.07	0.68

Les valeurs de photosynthèse sont très basses vu qu'on a fait ces mesures durant l'automne, période de repos végétatif sans doute. N'en demeure pas moins que ces valeurs montent que le stress a fait diminuer ces valeurs pour les trois paramètres mesurés.

- Ajustement osmotique

Le stress hydrique réduit le potentiel osmotique ψ_s pour les deux espèces, la réduction est un peu plus marqué pour *A. nummularia*. Les résultats montrent aussi que ψ_s^{100} décroît aussi par l'effet du stress hydrique chez les deux espèces avec un effet plus marqué chez *A. nummularia*. La diminution de ψ_s est généralement considérée comme un indicateur de l'ajustement osmotique par la production et/ ou l'accumulation des osmolytes compatibles même si ces diminutions peuvent être aussi le résultat d'une déshydratation des tissus et/ou de la réduction du volume osmotique.

Les résultats montrent aussi que *A. nummularia* assure un meilleur Ajustement Osmotique (OA= 1.157 MPa) qu' *A. halimus*.(OA= 0.619 MPa) (Tab 16) .

Après avoir éliminé les effets de la concentration des solutés due à la réduction du volume osmotique, il reste encore apparent que OA^{acc} est toujours plus élevé chez *A. nummularia* que chez *A. halimus*.

Ceci ne signifie pas que *A. halimus* a une résistance au stress hydrique inférieure à celle de *A. nummularia* car la résistance au stress hydrique pourrait ne pas être associée avec un OA plus élevé même si l'habilité d'une plante à réguler ces fonctions physiologiques et métaboliques pourrait jouer un rôle très important sous des conditions de stress (Martinez, 2004).

Tableau 16. Potentiel hydrique stem (ψ_w), contenu relatif en eau (RWC), rapport du poids à complète turgescence au poids sec des feuilles (TW/DW), potentiel osmotique des feuilles (ψ_s), potentiel osmotique à pleine turgescence (ψ_s^{100}), concentration de solutés due à l'accumulation des polymères à pleine hydratation (OA^{conc}), La contribution de l'accumulation nette de solutés (OA^{acc}) de deux espèces d'Atriplex sous des conditions de stress hydrique. Les mesures ont été faites sur les feuilles de la récolte à la première coupe T1. chaque valeur représente la valeur moyenne \pm l'erreur standard.

Espece	Traitement	ψ_w (MPa)	RWC (%)	TW/DW	ψ_s (MPa)	ψ_s^{100} (MPa)	AO (MPa)	OA^{conc} (MPa)	OA^{acc} (MPa)
<i>A..nummularia</i>	Témoin	- 1.536 \pm 0.01	76.402 \pm 4.54	6.149 \pm 1.41	- 3.848 \pm 0.28	-2.155 \pm 0.26			
	Stress hyd	-3.01 \pm 0.17	62.758 \pm 0.314	3.245 \pm 0.414	- 4.349 \pm 0.54	-3.311 \pm 0.11	1.157\pm0.22	0.546	0.611
<i>A.halimus</i>	Témoin	- 1.223 \pm 0.13	74.613 \pm 1.62	12.489 \pm 4.6	- 3.119 \pm 0.01	-2.173 \pm 0.24			
	Stress hyd	- 3.818 \pm 0.56	40.606 \pm 3.723	6.003 \pm 2.34	- 4.291 \pm 0.42	-2.791 \pm 0.2	0.619\pm0.05	0.321	0.298

3.1.3. Dosage de l'acide abscissique ABA

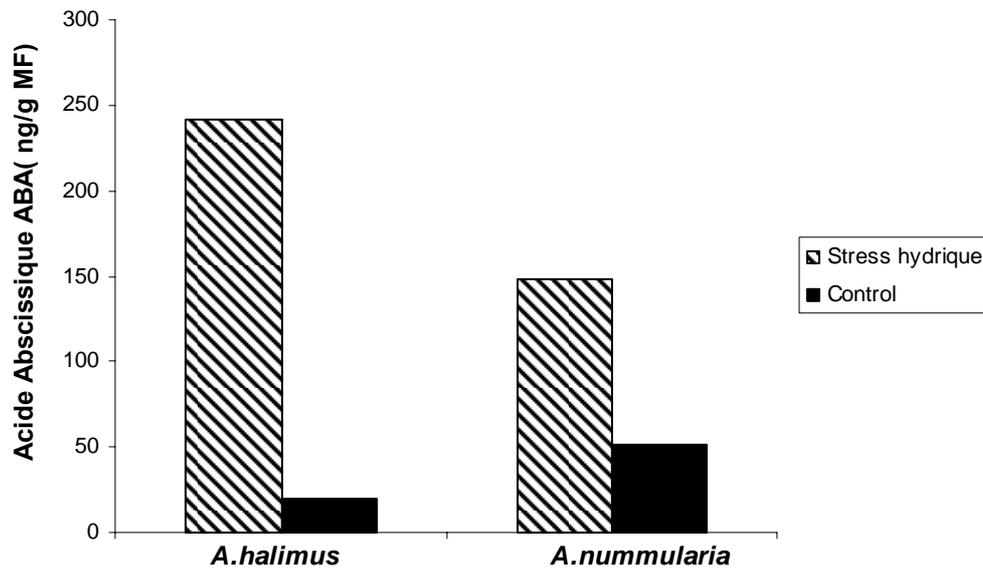


Figure 23. Taux d'acide abscissique dans les feuilles

Il ressort que *A. halimus* produit plus d'acide abscissique qu'*A. nummularia* en réponse à un stress. (Plus de 241 ng/g de matière fraîche contre seulement 147.7 ng/g de matière fraîche pour *A. nummularia*)

3.1.4. Dosage des sucres totaux :

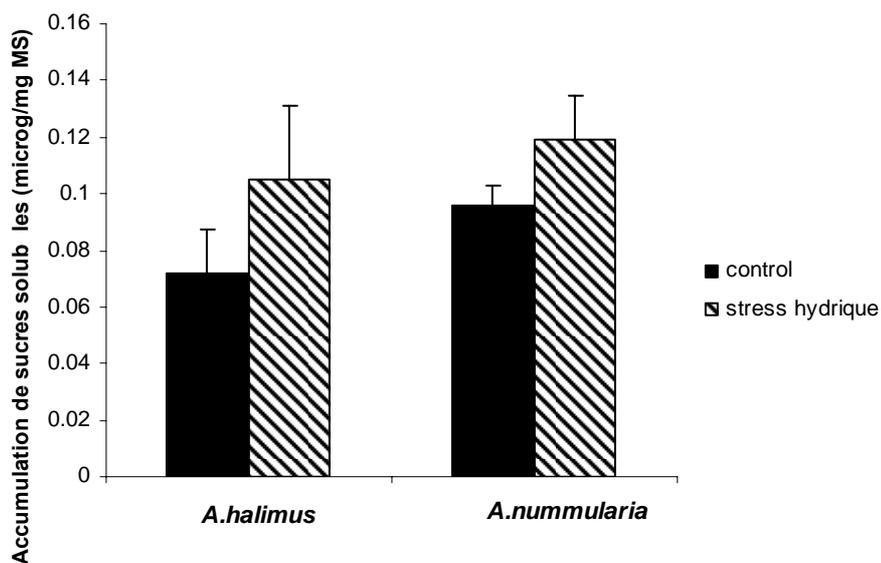


Figure 24. Accumulation de sucres totaux dans les feuilles

L'accumulation des sucres solubles dans les plantes stressées a été plus élevée *A. halimus* que chez *A. nummularia*. Les deux stratégies de résistance à la sécheresse semblent plus marquées chez *A. halimus* que chez *A. nummularia* suggérant une meilleure adaptation de l'espèce autochtone aux conditions du milieu. En effet, *A. halimus* a produit une quantité de l'hormone du stress ABA de 11 fois plus grande en réponse au stress hydrique par contre *A. nummularia* en a produit une quantité seulement 3 fois plus grande dans les mêmes conditions. Il en est de même pour l'accumulation des sucres où durant le stress hydrique a permis l'accumulation de 32 et 23% par rapport au témoin respectivement pour *A. halimus* et *A. nummularia* (Fig 24).

3.2. Stress salin

3.2.1. Relations hydriques et mesure des paramètres de croissance

A la première récolte, le traitement au KCl à toutes les concentrations a fait augmenter le poids des feuilles, tiges et racines de *A. nummularia*. Par contre, le traitement au NaCl a eu un effet réducteur du poids des feuilles à la concentration 300 mM et a fait augmenter le poids des racines à la concentration 600 mM pour la réduire au traitement à 800 mM.

Pour les clones d'*A. halimus* MOR 2 et SOR 4, aussi bien le NaCl que le KCl ont induit une légère augmentation du poids des tiges, feuilles et racines pour toutes les concentrations utilisées.

A la deuxième récolte, l'effet de la concentration saline est très marqué sur la surface foliaire, le RGR, poids frais et sec des feuilles, sur les autres paramètres, il n'y a aucun effet à part un effet peu significatif sur la longueur de la tige et le rapport TW/DW. La nature du sel n'a montré aucun effet significatif sur aucun des paramètres, alors que l'effet Clone s'est manifesté d'une façon significative sur la surface foliaire et sur la longueur de la tige. Un effet moins significatif sur le RGR des tiges, le poids sec des feuilles et des racines. En ce qui concerne les interactions des effets individuels des effets, seule l'interaction Clone- concentration saline a eu un effet très hautement

significatif sur le poids frais et le RWC des feuilles et un effet d'une significativité moindre sur leur RGR.

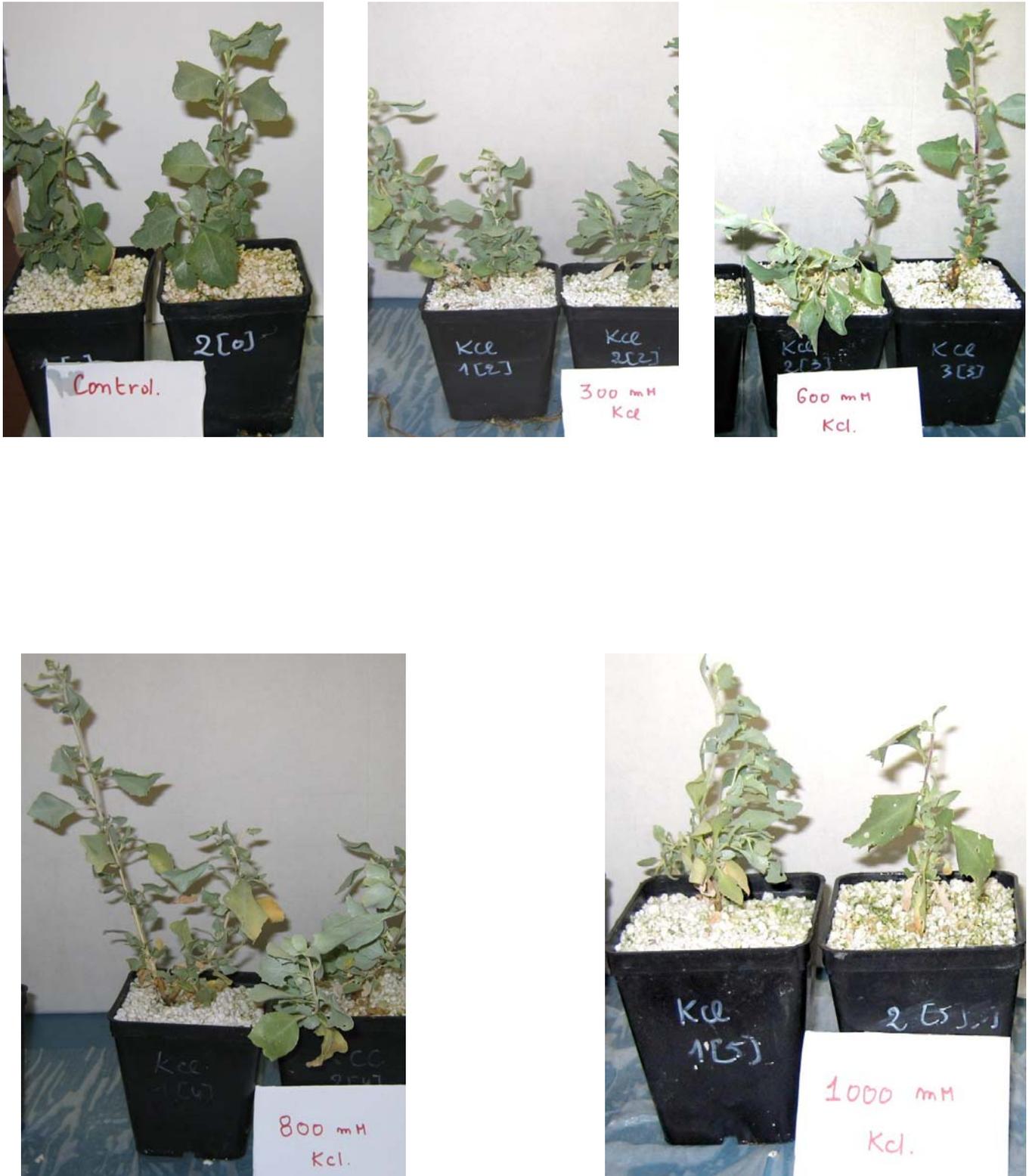


Figure 25. Stress salin sur *Atriplex nummularia*: Traitement salin allant de 0 à 1000 mM de KCl

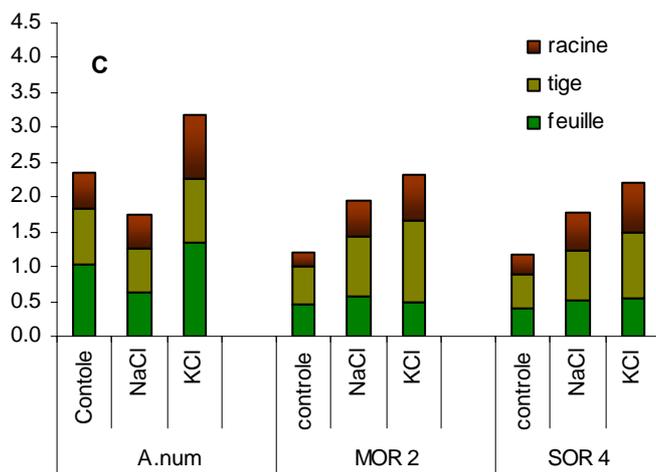
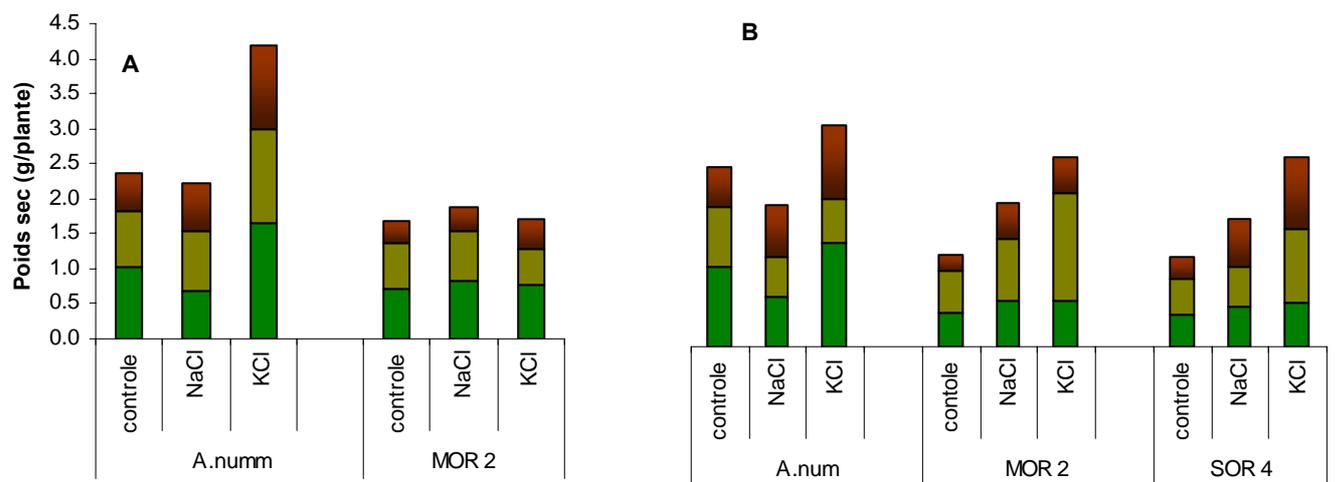


Figure 26. Distribution du poids sec entre les différentes parties de la plante 10 jours après que les plantes aient atteint leur salinité pour les traitements salins NaCl et KCl à différentes concentrations . A : conc 300 mM. B: 600 mM. C: 800 mM

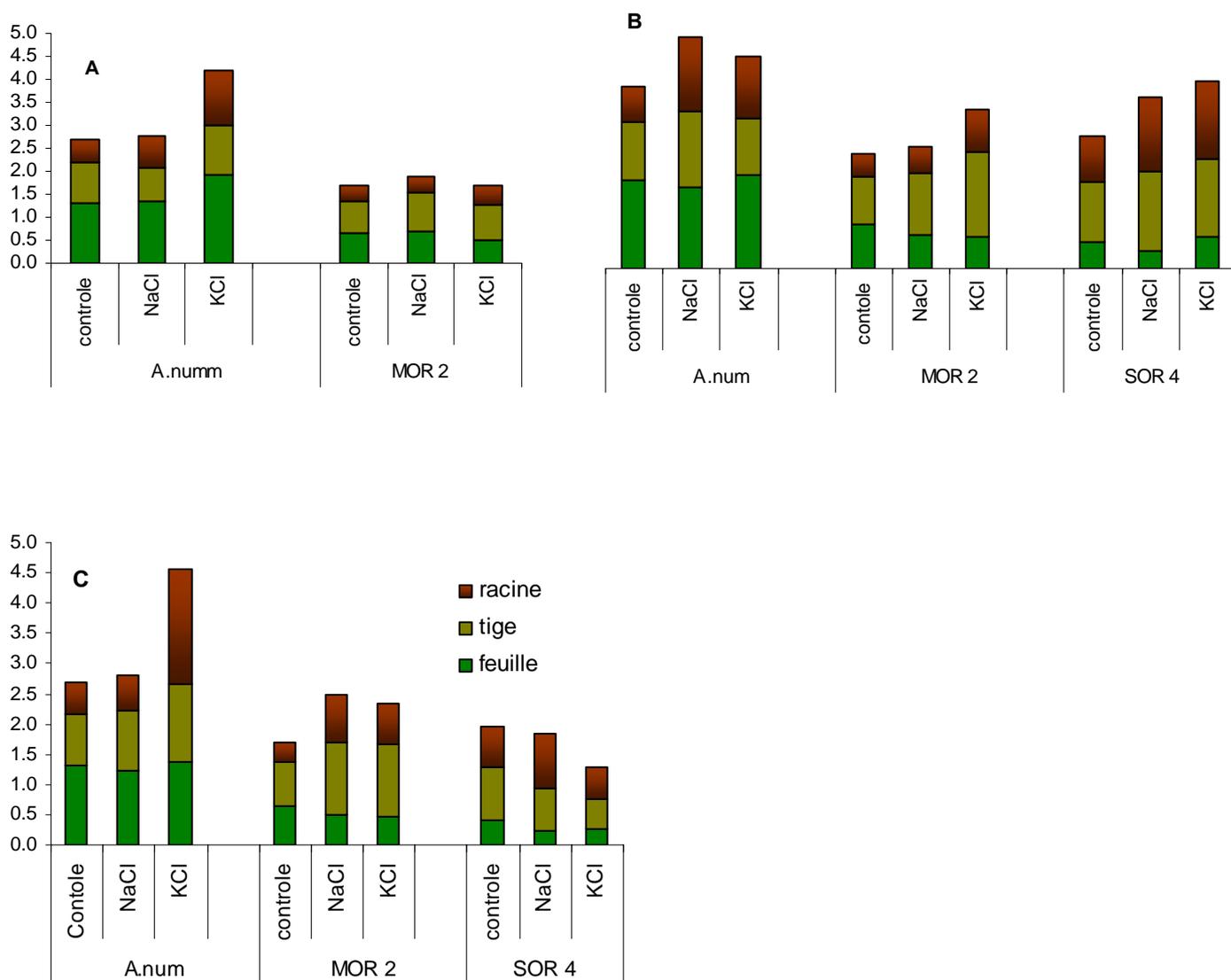


Figure 27. Distribution du poids sec entre les différentes parties de la plante 21 jours après que les plantes aient atteint leur salinité pour les traitements salins NaCl et KCl à différentes concentrations. A : conc 300 mM. B: 600 mM. C: 800 mM.

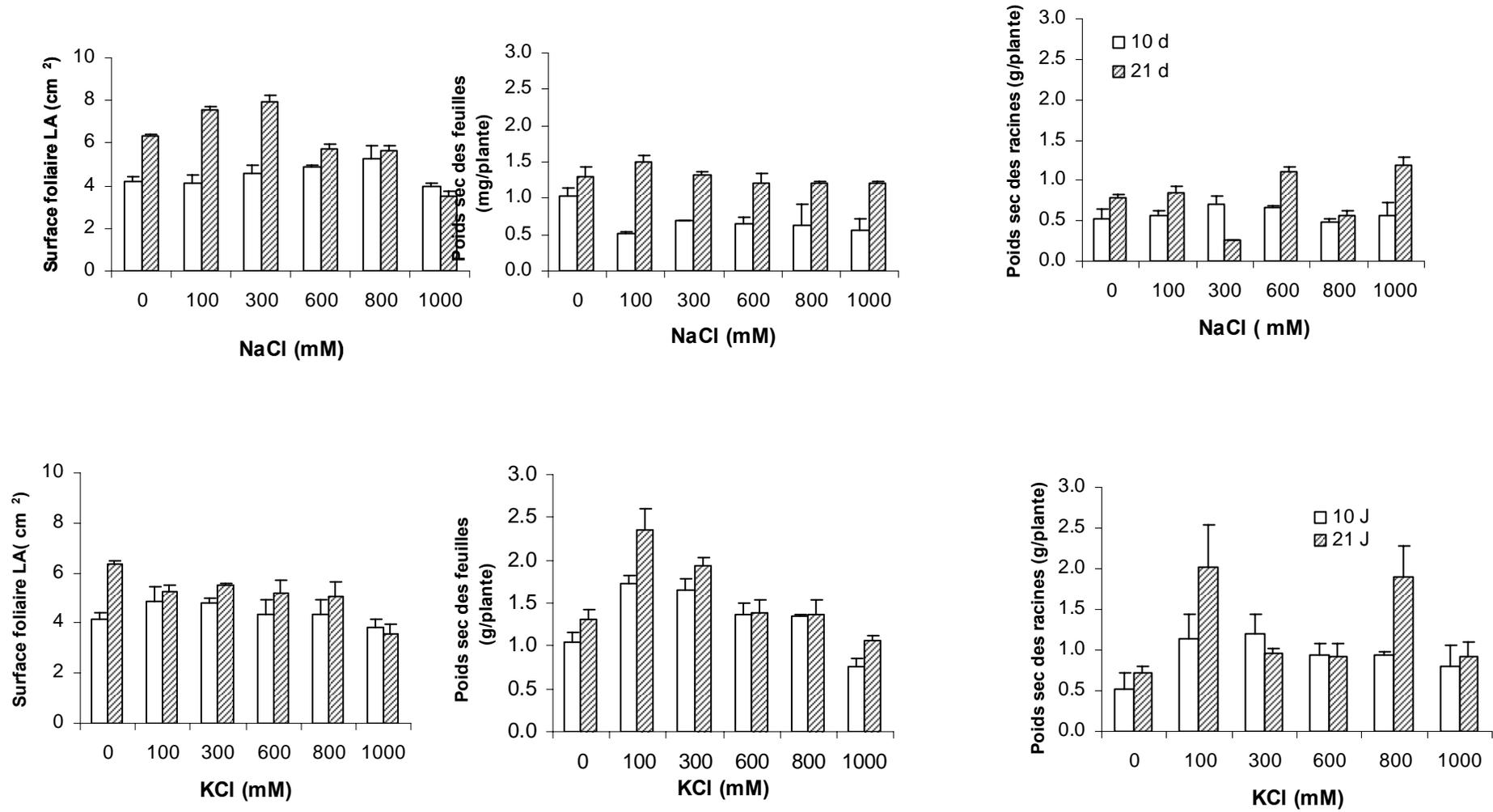


Figure 28. Effet comparatif du NaCl et KCl (0, 100, 300, 600, 800 et 1000mM) sur la surface foliaire (LA) et sur le poids sec des feuilles, et racines de *triplex. nummularia* après une durée de 10 et 21 jours de stress salin.

Les tableaux suivants résument les résultats de l'analyse de la variance représenté par les valeurs de F des principaux paramètres de croissance de *A. nummularia* et des relations hydriques résultat de l'analyse de la variance faite grâce au logiciel SAS.

Tableau 17. Valeurs de F dans l'analyse de variance pour les principaux paramètres de croissance et des relations hydriques Pour la première récolte (10 jours après atteinte de la salinité maximale). *P<0.01, **P<0.001, *<0.0001, n.s. non significatif**

variables dépendantes	Nature sel (N)	Salinité (S)	N X S
Surface foliaire (LA)	0.21 ^{n.s.}	1.36 ^{n.s.}	0.93 ^{n.s.}
Longueur tige	14.15*	7.22**	4.31*
Longueur racine	0.11 ^{n.s.}	4.68*	0.88 ^{n.s.}
Poids frais des feuilles	5.14 ^{n.s.}	4.12*	2 ^{n.s.}
Poids frais racines	20.47**	3.77 ^{n.s.}	3.7 ^{n.s.}
Poids frais tige	7.72 ^{n.s.}	6.37**	4.07* 11.34**
Taux relatif de croissance des feuilles (RGR feuilles)	19.76**	8.93***	*
Taux relatif de croissance des racines (RGR racines)	25.5***	4.14*	7.92**
Taux relatif de croissance des tiges (RGR tige)	12.93*	10.21***	8.97***
Poids sec feuilles (DW)	72.63***	3.92*	6.27**
Poids sec racines	30.11***	3.86 ^{n.s.}	1.97 ^{n.s.}
Poids sec tige	8.11*	8.10**	3.82 ^{n.s.}
Contenu relatif en eau (RWC)	1.66 ^{n.s.}	6.37**	2.05 ^{n.s.}
Rapport poids à complète turgescence au poids sec(TW/DW)	0.46 ^{n.s.}	1.22 ^{n.s.}	1.96 ^{n.s.}

L'analyse de la variance a montré que l'effet des sels à la première récolte (10 jours d'exposition au sel) de *A. nummularia* est plus marqué sur les paramètres de croissance des plantes. En effet les paramètres les plus touchés sont en premier lieu le taux relatif de croissance (RGR) de toutes les parties de la plante. Le RGR des racines est plus influencé par la nature du sel (NaCl ou KCl) que par la concentration saline. La

nature du sel a un effet très significatif sur les poids secs des feuilles et des racines par contre la concentration saline et l'interaction concentration- nature du sel semble ne pas avoir un effet significatif sur ces deux paramètres. Seule la Concentration saline a un effet significatif sur le contenu relatif en eau RWC (Tab 17).

La concentration saline semble n'avoir aucun effet significatif sur le développement racinaire (RGR, poids, longueur) par contre a un effet très significatif sur les mêmes paramètres des tiges et des feuilles. En effet, l'effet du sel est plus marqué sur les feuilles que sur les racines.

Tableau 18. Valeurs de F dans l'analyse de variance pour les principaux paramètres de croissance et des relations hydriques à la deuxième récolte (21 jours après atteinte de la salinité maximale).

*P<0.01, **P<0.001, ***<0.0001, n.s. non significatif

Variabes dépendantes	Nature sel(N)	Salinité(S)	N X S
Surface foliaire (LA)	59.40***	57.65***	13.38***
Longueur tige	1.15n.s.	51.67***	12.53***
Longueur racine	25.10***	11.90***	12.72***
Poids frais feuilles	7.05 ^{n.s.}	30.77 ***	20.30***
Poids frais racines	19.04**	10.56***	6.95**
Poids frais tige	1.47 ^{n.s.}	1.63 ^{n.s.}	2.73 ^{n.s.}
Taux relatif de croissance des feuilles (RGR feuilles)	1.9 ^{n.s.}	21.15***	7.44**
Taux relatif de croissance des racines (RGR racines)	10.93*	1.54 ^{n.s.}	8.01**
Taux relatif de croissance des tiges (RGR tige)	0.08 ^{n.s.}	12.99 ***	5.29*
Poids sec feuilles (DW)	18.40**	11.99***	4.06*
Poids sec racines	15.14**	4.52*	6.50**
Poids sec tige	5.91 ^{n.s.}	3.6 ^{n.s.}	2.96 ^{n.s.}
Contenu relatif en eau (RWC)	0.13 ^{n.s.}	5.05*	0.08 ^{n.s.}
Rapport poids à complète turgescence au poids sec(TW/DW)	0.73 ^{n.s.}	6.60**	0.41 ^{n.s.}

A la deuxième récolte, et donc un temps d'exposition au stress plus long, les effets du stress commencent à se généraliser, en effet, la surface foliaire sur laquelle l'effet du sel n'apparaissait pas après 10 jours d'exposition, s'est montré très significativement influencée par la nature du sel, sa concentration et par l'effet de

l'interaction des deux. De même la longueur des tiges et des racines, le poids frais des racines après 21 jours d'exposition au stress salin, ont subi eux aussi l'effet du stress en terme de nature du sel, de sa concentration et de l'effet interaction des deux effets individuels. Les effets individuels de la salinité ainsi que l'effet d'interaction même suite à un temps d'exposition plus long ne semble avoir aucun effet sur le poids sec des racines, des tiges ainsi que sur le RWC et sur le rapport du poids à complète turgescence au poids sec des feuilles (TW/DW) (Tab 18).



Figure 29. Effet du stress salin au NaCl croissant sur le clone SOR 4

Les tableaux 19 et 20 résument les résultats de l'analyse de la variance multifactorielle pour les paramètres de croissance et les relations hydriques chez *A. halimus* aux deux dates de récolte.

Tableau 19. Valeurs de F dans l'analyse de variance pour les principaux paramètres de croissance et des relations hydriques à la première récolte (10 jours après atteinte de la salinité maximale).
 *P<0.01, **P<0.001, ***<0.0001, n.s. non significiant.

Variables dépendantes	Clone (C)	Nature sel (N)	Salinité(S)	C X N	N X S	C X S X N
Surface foliaire (LA)	183.15 ***	23.6***	15.12 ***	33.79***	3.83 ^{n.s.}	4.29 ^{n.s.}
Longueur tige	71.83 ***	3.50 ^{n.s.}	3.7 ^{n.s.}	3.14 ^{n.s.}	0.94 ^{n.s.}	1.27 ^{n.s.}
Longueur racine	19.36**	2.31 ^{n.s.}	0.43 ^{n.s.}	1.14 ^{n.s.}	2.03 ^{n.s.}	1.01 ^{n.s.}
Poids frais des feuilles	10.85*	1.69 ^{n.s.}	8.49***	1.15 ^{n.s.}	0.47 ^{n.s.}	0.45 ^{n.s.}
Poids frais racines	0.22 ^{n.s.}	68.24***	1.42 ^{n.s.}	0.01 ^{n.s.}	6.10**	0.27 ^{n.s.}
Poids frais tige	8.97*	25.5***	2.27 ^{n.s.}	1.14 ^{n.s.}	2.64 ^{n.s.}	0.93 ^{n.s.}
Taux relatif de croissance des feuilles (RGR feuilles)	37.44***	3.73 ^{n.s.}	7.59**	4.32*	0.86 ^{n.s.}	1.54 ^{n.s.}
Taux relatif de croissance des racines (RGR racines)	12.88 ^{n.s.}	0.05 ^{n.s.}	1.30 ^{n.s.}	2.53 ^{n.s.}	1.04 ^{n.s.}	1.31 ^{n.s.}
Taux relatif de croissance des tiges (RGR tige)	1.8 ^{n.s.}	0.1 ^{n.s.}	1.28 ^{n.s.}	0.36 ^{n.s.}	0.32 ^{n.s.}	0.3 ^{n.s.}
Poids sec feuilles (DW)	0.02 ^{n.s.}	0.11 ^{n.s.}	2.07 ^{n.s.}	0.74 ^{n.s.}	0.53 ^{n.s.}	0.39 ^{n.s.}
Poids sec racines	10.38*	0.2 ^{n.s.}	9.24***	5.22 ^{n.s.}	1.17 ^{n.s.}	0.73 ^{n.s.}
Poids sec tige	2.36 ^{n.s.}	1.29 ^{n.s.}	2.67 ^{n.s.}	0.62 ^{n.s.}	1.68 ^{n.s.}	0.17 ^{n.s.}
Contenu relatif en eau (RWC)	1.97 ^{n.s.}	6.12 ^{n.s.}	14.7***	2.81 ^{n.s.}	4.67*	2.03 ^{n.s.}
Rapport poids à complète turgescence au poids sec(TW/DW)	0.18 ^{n.s.}	2.13 ^{n.s.}	1.84 ^{n.s.}	0.01 ^{n.s.}	0.77 ^{n.s.}	0.04 ^{n.s.}

Belkheiri Oumelkheir, Adaptabilité des espèces du genre Atriplex aux conditions de salinité et d'aridité, Tesi di Dottorato in Agrometeorologia ed Ecofisiologia dei Sistemi Agrari e Forestali, Università di

Tableau 20. Valeurs de F dans l'analyse de variance pour les principaux paramètres de croissance et des relations hydriques Pour confirmer à la deuxième récolte (21 jours après atteinte de la salinité maximale).
 *P<0.01, **P<0.001, ***<0.0001, n.s. non significatif

Variables dépendantes	Clone (C)	Nature sel (N)	Salinité (S)	C X N	N X S	C X S	C X S X N
Surface foliaire (LA)	8.86 **	2.39 ^{n.s.}	11.17 ***	2.37 ^{n.s.}	0.27 ^{n.s.}	0.55 ^{n.s.}	0.37 ^{n.s.}
Longueur tige	73.56 ***	1.56 ^{n.s.}	4.52 *	0.52 ^{n.s.}	0.12 ^{n.s.}	0.04 ^{n.s.}	0.1 ^{n.s.}
Longueur racine	2.17 ^{n.s.}	0 ^{n.s.}	2.79 ^{n.s.}	0.3 ^{n.s.}	0.77 ^{n.s.}	3.69 ^{n.s.}	0.31 ^{n.s.}
Poids frais des feuilles	1.65 ^{n.s.}	0.23 ^{n.s.}	48.95***	5.51 ^{n.s.}	2.54 ^{n.s.}	16.18***	0.36 ^{n.s.}
Poids frais racines	6.57 ^{n.s.}	0.39 ^{n.s.}	0.87 ^{n.s.}	0.3 ^{n.s.}	0.36 ^{n.s.}	1.79 ^{n.s.}	0.01 ^{n.s.}
Poids frais tige	0.59 ^{n.s.}	0.08 ^{n.s.}	2.25 ^{n.s.}	1.41 ^{n.s.}	0.48 ^{n.s.}	2.8 ^{n.s.}	0.34 ^{n.s.}
Taux relatif de croissance des feuilles (RGR feuilles)	6.69 ^{n.s.}	0.09 ^{n.s.}	37.82***	10*	1.25 ^{n.s.}	6.01*	1.11 ^{n.s.}
Taux relatif de croissance des racines (RGR racines)	4.27 ^{n.s.}	0.07 ^{n.s.}	0.92 ^{n.s.}	0.1 ^{n.s.}	1.04 ^{n.s.}	1.89 ^{n.s.}	1.86 ^{n.s.}
Taux relatif de croissance des tiges (RGR tige)	10.47*	0.04 ^{n.s.}	2.88 ^{n.s.}	0.22 ^{n.s.}	0.28 ^{n.s.}	6.03*	0.23 ^{n.s.}
Poids sec feuilles (DW)	12.33*	0.66 ^{n.s.}	10.14***	3.88 ^{n.s.}	0.78 ^{n.s.}	0.66 ^{n.s.}	0.81 ^{n.s.}
Poids sec racines	8.37*	0.01 ^{n.s.}	2.72 ^{n.s.}	0.32 ^{n.s.}	0.51 ^{n.s.}	1.81 ^{n.s.}	0.33 ^{n.s.}
Poids sec tige	0.31 ^{n.s.}	0.01 ^{n.s.}	2.63 ^{n.s.}	0.32 ^{n.s.}	0.33 ^{n.s.}	5.52*	0.43 ^{n.s.}
Conetnu relatif en eau (RWC)	1.79 ^{n.s.}	2.06 ^{n.s.}	3.66 ^{n.s.}	0.39 ^{n.s.}	1.7 ^{n.s.}	12.42**	0 ^{n.s.}
Rapport poids à complète turgescence au poids sec (TW/DW)	0.5 ^{n.s.}	0.1 ^{n.s.}	7.64*	0.04 ^{n.s.}	0.25 ^{n.s.}	3.46 ^{n.s.}	0.04 ^{n.s.}



Figure 30. Stress salin sur *Atriplex nummularia* : Traitement salin allant de 300 à 1000 mM de NaCl



Figure 31. Croissance des parties aériennes et des racines du clone MOR 2 soumis à un stress salin croissant au NaCl (de 0 à 1000 mM)



Figure 32. Croissance des parties aériennes et des racines du clone MOR 2 soumis à un stress salin croissant au KCl (de 300 à 1000 mM)

A la première récolte de *A. halimus*, le paramètre qui a présenté des effets hautement significatifs du clone (SOR ou MOR), la nature du sel (NaCl ou KCl) ainsi que les effets de l'interaction clone nature du sel est la surface foliaire. Aucun effet significatif par contre sur ce même paramètre de l'effet de l'interaction nature du sel-concentration saline et nature du sel - concentration saline – clone. Les longueurs de tiges et de racines ont eu un effet significatif de la variable clone seulement, les autres variables n'ont eu aucun effet significatif. La concentration saline a eu un effet très hautement significatif sur le RGR, le contenu relatif en eau RWC et le poids frais des feuilles, le poids sec des racines. Encore ici, la partie la plus influencée par la concentration saline sont les feuilles. L'effet nature du sel a touché les poids frais des tiges et racines, alors que l'effet clone a touché les dimensions des tiges, racines et feuilles ainsi que le RGR des feuilles. Des toutes les interactions, étudiées, seule l'interaction Clone- nature du sel semble avoir un effet sur la surface foliaire toutes les autres interactions n'ont eu aucun effet sur les paramètres étudiés.

A la deuxième récolte, le KCl a toujours un effet promoteur sur le poids des tiges, feuilles et racines de *A. nummularia* surtout à la concentration 600 et 800 mM où l'augmentation du poids des racines est très importante. Le NaCl a donné une diminution du poids des feuilles de *A. nummularia* surtout aux concentrations 600 et 800 mM mais a induit une augmentation du poids des racines.

Pour le clone MOR 2, une diminution du poids des feuilles est constatée à partir de la concentration 600 mM de NaCl alors que le poids de tiges et des racines continue à augmenter alors que pour le traitement au KCl, le poids des feuilles a diminué déjà à la concentration 300 mM. Le poids des tiges et racines a continué à augmenter.

Pour le Clone SOR 4, l'effet négatif sur le poids des feuilles du traitement au NaCl s'est fait sentir à partir de la concentration 600 mM, alors que cet effet ne s'est fait présent qu'à partir de la concentration 800 mM pour le traitement au KCl. Le poids des tiges et des racines a augmenté jusqu'à la concentration 600 mM de KCl puis a diminué.



Figure 33. Effet d'un stress salin croissant au NaCl sur *Atriplex nummularia*

3.2.2. Accumulation de sels dans les feuilles et les racines

L'accumulation des cations dans la plante se fait plus dans les feuilles que dans les racines. En général, le contenu en ions organiques augmente en allant des racines, vers la tige et est à son maximum dans les feuilles. La tendance est vers une augmentation de la concentration de Na^+ dans les feuilles plus que dans les racines avec l'augmentation de la concentration saline du milieu de culture alors que la tendance est vers une diminution de la concentration des ions Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} .

L'accumulation de Na^+ est en augmentation même pour le traitement avec le KCl, elle n'est donc pas due seulement à la présence d'une forte concentration de NaCl dans le milieu de culture. Elle a tendance à une diminution dans les racines (Tab 20 et 21). Elle est croissante jusqu'au traitement de 600 mM aussi bien pour le KCl que pour le NaCl, puis diminue. Par contre l'accumulation du K^+ semble fluctuante et n'a pas une tendance très claire (Voir tab 21)

Pour *A. nummularia*, l'accumulation de Na^+ à la première récolte, aussi bien dans les feuilles que dans les racines est toujours croissante pour le traitement salin au KCl, alors que pour le traitement au NaCl, elle aurait tendance à augmenter jusqu'à la concentration de 600 mM, puis décroît. Pour la deuxième récolte, la même tendance est notée pour le traitement au NaCl, par contre pour le traitement au KCl, il y a diminution d'accumulation à partir de la concentration de 600 mM.

Tableau 21. Accumulation des ions dans les feuilles et racines de *A. nummularia* à la première récolte (10 jours après atteinte de la salinité maximale). Les valeurs représentent la moyenne \pm l'erreur standard

NaCl (mM)	Feuilles				Racines			
	Na	Ca	K	Mg	Na	Ca	K	Mg
0	0.724 \pm 0.07	0.739 \pm 0.04	1.292 \pm 0.09	0.356 \pm 0.03	0.4348 \pm 0.12	0.708 \pm 0.06	0.769 \pm 0.23	0.371 \pm 0.02
100	2.246 \pm 0.31	0.885 \pm 0.007	1.097 \pm 0.12	0.427 \pm 0.06	0.797 \pm 0.26	0.812 \pm 0.01	0.534 \pm 0.1	0.317 \pm 0.01
300	2.608 \pm 0.25	0.708 \pm 0.004	1.079 \pm 0.03	0.328 \pm 0.03	1.376 \pm 0.07	0.677 \pm 0.02	1.207 \pm 0.08	0.276 \pm 0.02
600	3.188 \pm 0.29	0.635 \pm 0.12	1.057 \pm 0.06	0.244 \pm 0.05	1.739 \pm 0.25	0.593 \pm 0.09	1.495 \pm 0.1	0.258 \pm 0.01
800	2.681 \pm 0.07	0.875 \pm 0.08	0.972 \pm 0.12	0.375 \pm 0.03	1.511 \pm 0.25	0.645 \pm 0.07	1.121 \pm 0.24	0.288 \pm 0.01
1000	2.608 \pm 0.37	0.739 \pm 0.05	0.936 \pm 0.07	0.269 \pm 0.01	1.5 \pm 0.12	0.843 \pm 0.07	0.929 \pm 0.12	0.276 \pm 0.03
KCl (mM)								
0	0.724 \pm 0.07	0.739 \pm 0.04	1.292 \pm 0.09	0.355 \pm 0.03	0.4348 \pm 0.12	0.708 \pm 0.06	0.869 \pm 0.13	0.371 \pm 0.02
100	1.304 \pm 0.21	0.729 \pm 0.05	2.425 \pm 0.09	0.279 \pm 0.03	0.652 \pm 0.11	0.583 \pm 0.06	2.265 \pm 0.23	0.286 \pm 0.008
300	1.521 \pm 0.12	0.687 \pm 0.007	2.489 \pm 0.37	0.243 \pm 0.02	0.670 \pm 0.07	0.687 \pm 0.05	1.794 \pm 0.4	0.296 \pm 0.01
600	1.449 \pm 0.07	0.666 \pm 0.02	2.831 \pm 0.11	0.289 \pm 0.05	1.438 \pm 0.19	0.666 \pm 0.01	2 \pm 0.25	0.253 \pm 0.05
800	3.55 \pm 0.59	0.708 \pm 0.14	3.589 \pm 0.84	0.305 \pm 0.07	0.996 \pm 0.09	0.614 \pm 0.11	1.837 \pm 0.18	0.276 \pm 0.008
1000	3.913 \pm 0.12	0.916 \pm 0.05	1.965 \pm 0.3	0.277 \pm 0.01	0.905 \pm 0.07	0.739 \pm 0.05	1.581 \pm 0.3	0.319 \pm 0.003

Tableau 22. Accumulation des ions dans les feuilles de *Atriplex.nummularia* à la deuxième récolte (21 jours après atteinte de la salinité maximale). Les valeurs représentent la moyenne \pm erreur standard.

Traitement				
NaCl (mM)	Na (mM/g)	Ca (mM/g)	K (mM/g)	Mg (mM/g)
0	1.105 \pm 0.15	1.114 \pm 0.06	1.527 \pm 0.22	0.566 \pm 0.02
100	2.146 \pm 0.09	0.604 \pm 0.05	1.314 \pm 0.13	0.300 \pm 0.03
300	2.186 \pm 0.03	0.635 \pm 0.01	1.271 \pm 0.11	0.310 \pm 0.05
600	2.391 \pm 0.08	0.875 \pm 0.08	1.213 \pm 0.04	0.402 \pm 0.04
800	2.3913 \pm 0.21	0.718 \pm 0.05	1.108 \pm 0.1	0.295 \pm 0.01
1000	1.974 \pm 0.27	0.760 \pm 0.08	0.972 \pm 0.01	0.310 \pm 0.03
KCl (mM)				
0	1.105 \pm 0.15	1.114 \pm 0.06	1.527 \pm 0.22	0.566 \pm 0.02
100	0.869 \pm 0.05	0.718 \pm 0.06	2.906 \pm 0.16	0.321 \pm 0.03
300	0.779 \pm 0.09	0.656 \pm 0.06	2.938 \pm 0.2	0.269 \pm 0.02
600	1.25 \pm 0.13	0.729 \pm 0.02	3.247 \pm 0.05	0.256 \pm 0.02
800	1.231 \pm 0.07	0.791 \pm 0.04	2.938 \pm 0.2	0.329 \pm 0.04
1000	1.032 \pm 0.17	0.822 \pm 0.04	2.542 \pm 0.3	0.383 \pm 0.04

Pour les clones MOR 2 et SOR 4, l'accumulation de Na⁺ semble plus importante au niveau des racines que dans les feuilles pour le traitement au NaCl. Pour SOR 4, après une période de 21 jours d'exposition, la plante a accumulé plus dans les feuilles que dans les racines par contre chez MOR 2, il semblerait que l'accumulation soit plus importante dans les racines même après une longue durée d'exposition (voir tableaux 22, 23 et 24).

Tableau 23. Effets de la salinité sur l'accumulation des cations chez MOR 2 dix jours après que les plantes aient atteint le maximum de concentration choisie. Les valeurs représentent la moyenne \pm erreur standard.

	Feuilles				Racines		
	Na (mM/g)	Ca (mM/g)	K (mM/g)	Mg (mM/g)	Na (mM/g)	Ca (mM/g)	K (mM/g)
NaCl (mM)							
0	1.975 \pm 0.13	0.525 \pm 0.02	1.004 \pm 0.13	0.686 \pm 0.05	1.007 \pm 0.07	0.438 \pm 0.02	0.598 \pm 0.02
300	2.826 \pm 0.11	0.360 \pm 0.03	0.467 \pm 0.01	0.438 \pm 0.01	3.515 \pm 0.41	0.043 \pm 0.004	0.324 \pm 0.05
600	2.864 \pm 0.05	0.375 \pm 0.006	0.463 \pm 0.01	0.397 \pm 0.04	3.659 \pm 0.07	0.045 \pm 0.008	1.371 \pm 0.57
800	3.116 \pm 0.35	0.355 \pm 0.01	0.464 \pm 0.01	0.382 \pm 0.02	4.855 \pm 0.45	0.028 \pm 0.002	0.119 \pm 0.02
1000	3.152 \pm 0.41	0.355 \pm 0.01	0.598 \pm 0.03	0.382 \pm 0.01	5 \pm 1.1	0.333 \pm 0.02	0.127 \pm 0.01
KCl (mM)							
0	1.957 \pm 0.13	0.5259 \pm 0.02	1.004 \pm 0.13	0.653 \pm 0.07	1.007 \pm 0.07	0.438 \pm 0.02	0.598 \pm 0.02
300	2.746 \pm 0.52	0.335 \pm 0.006	2.243 \pm 0.11	0.361 \pm 0.04	0.688 \pm 0.15	0.401 \pm 0.02	1.936 \pm 0.23
600	2.761 \pm 0.42	0.3342 \pm 0.005	1.517 \pm 0.26	0.319 \pm 0.04	1.254 \pm 0.04	0.030 \pm 0.002	2.179 \pm 0.04
800	2.964 \pm 0.68	0.396 \pm 0.02	1.923 \pm 0.34	0.424 \pm 0.01	0.133 \pm 0.02	0.280 \pm 0.002	2.521 \pm 0.28
1000	3.268 \pm 0.16	0.380 \pm 0.007	1.645 \pm 0.04	0.403 \pm 0.01	0.275 \pm 0.05	0.035 \pm 0.01	3.247 \pm 0.15

Tableau 24. Effets de la salinité sur l'accumulation des cations chez SOR 4 dix jours après de l'atteinte de la salinité maximale voulue. Les valeurs représentent la moyenne \pm erreur standard

NaCl (mM)	Feuilles				Racines		
	Na (mM/g)	Ca (mM/g)	K (mM/g)	Mg (mM/g)	Na(mM/g)	Ca (mM/g)	K (mM/g)
0	2.138 \pm 0.36	0.4109 \pm 0.06	1.269 \pm 0.24	0.493 \pm 0.003	0.471 \pm 0.05	0.462 \pm 0.01	0.508 \pm 0.08
300							
600	4.348 \pm 0.39	0.398 \pm 0.02	0.717 \pm 0.03	0.424 \pm 0.02	4.529 \pm 0.63	0.372 \pm 0.02	1.047 \pm 0.03
800							
1000	2.138 \pm 0.36	0.378 \pm 0.04	0.632 \pm 0.06	0.417 \pm 0.02	5.326 \pm 0.39	0.409 \pm 0.005	0.469 \pm 0.17
KCl (mM)							
0	2.138 \pm 0.36	0.411 \pm 0.06	1.269 \pm 0.2	0.493 \pm 0.003	0.471 \pm 0.05	0.462 \pm 0.01	0.508 \pm 0.08
300							
600	3.116 \pm 0.04	0.398 \pm 0.02	1.944 \pm 0.32	0.368 \pm 0.04	0.751 \pm 0.27	0.349 \pm 0.03	1.346 \pm 0.55
800							
1000	2.210 \pm 0.16	0.411 \pm 0.01	2.201 \pm 0.08	0.403 \pm 0.01	0.470 \pm 0.03	0.356 \pm 0.02	3.055 \pm 0.14

Tableau 25. Effets de la salinité sur l'accumulation des cations chez MOR 2 après 3 semaines de l'atteinte de la salinité maximum choisie. Les valeurs représentent la moyenne \pm erreur standard

	Feuilles				Racines			
NaCl (mM)	Na (mM/g)	Ca (mM/g)	K (mM/g)	Mg (mM/g)	Na (mM/g)	Ca (mM/g)	K (mM/g)	Mg (mM/g)
0	2.753 \pm 0.213	0.657 \pm 0.05	1.089 \pm 0.1	0.350 \pm 0.04	4.275 \pm 0.31	1.416 \pm 0.25	0.608 \pm 0.08	0.406 \pm 0.03
300	4.637 \pm 0.192	0.718 \pm 0.07	2.316 \pm 0.25	0.451 \pm 0.07	5.289 \pm 0.36	0.882 \pm 0.03	1.933 \pm 0.09	0.302 \pm 0.02
600	2.820 \pm 0.164	0.6146 \pm 0.11	1.399 \pm 0.09	0.342 \pm 0.06	8.333 \pm 1.37	0.910 \pm 0.01	1.474 \pm 0.11	0.265 \pm 0.02
800	2.827 \pm 0.164	0.458 \pm 0.02	1.373 \pm 0.02	0.319 \pm 0.01	8.695 \pm 0.12	0.656 \pm 0.05	0.203 \pm 0.06	0.189 \pm 0.002
1000	6.449 \pm 0.691	0.812 \pm 0.06	1.335 \pm 0.09	0.484 \pm 0.04	1.086 \pm 0.21	0.604 \pm 0.02	2.6282 \pm 2.53	0.208 \pm 0.02
KCl (mM)								
0	2.753 \pm 0.71	0.657 \pm 0.05	1.089 \pm 0.1	0.350 \pm 0.03	4.275 \pm 0.31	1.416 \pm 0.25	0.608 \pm 0.08	0.406 \pm 0.03
300	5.565 \pm 0.34	0.614 \pm 0.07	3.11 \pm 0.75	0.295 \pm 0.05	4.297 \pm 0.08	0.595 \pm 0.02	3.658 \pm 0.28	0.248 \pm 0.02
600	5.869 \pm 0.94	0.562 \pm 0.07	2.692 \pm 0.74	0.255 \pm 0.04	5.362 \pm 1.58	0.593 \pm 0.06	5.982 \pm 0.6	0.251 \pm 0.05
800	7.318 \pm 0.72	0.666 \pm 0.04	3.333 \pm 0.26	0.336 \pm 0.02	2.101 \pm 0.19	0.583 \pm 0.02	5.854 \pm 0.98	0.218 \pm 0.02
1000	7.391 \pm 0.7	0.593 \pm 0.04	3.931 \pm 0.49	0.366 \pm 0.01	2.075 \pm 1.05	0.531 \pm 0.01	4.273 \pm 1.85	0.133 \pm 0.06

Tableau 26. Effets de la salinité sur l'accumulation des cations chez SOR 4 après 3 semaines de l'atteinte de la salinité maximum choisie. Les valeurs représentent la moyenne \pm erreur standard

	Feuilles				Racines			
	Na (mM/g)	Ca (mM/g)	K (mM/g)	Mg (mM/g)	Na (mM/g)	Ca (mM/g)	K (mM/g)	Mg (mM/g)
NaCl (mM)								
0	2.173 \pm 0.12	0.604 \pm 0.01	0.801 \pm 0.1	0.322 \pm 0.006	2.608 \pm 0.62	0.989 \pm 0.15	0.491 \pm 0.04	0.355 \pm 0.05
600	6.521 \pm 1.11	0.729 \pm 0.1	3.183 \pm 0.91	0.430 \pm 0.04	5.362 \pm 1.13	0.687 \pm 0.08	1.143 \pm 0.05	0.307 \pm 0.07
1000	7.898 \pm 0.4	0.635 \pm 0.07	4.444 \pm 0.35	0.361 \pm 0.06	5.869 \pm 0.66	0.552 \pm 0.01	0.673 \pm 0.21	0.227 \pm 0.002
KCl (mM)								
0	2.173 \pm 0.12	0.604 \pm 0.01	0.801 \pm 0.1	0.322 \pm 0.006	2.608 \pm 0.62	0.989 \pm 0.15	0.491 \pm 0.04	0.355 \pm 0.05
600	3.985 \pm 0.73	0.656 \pm 0.05	1.538 \pm 0.52	0.333 \pm 0.005	3.043 \pm 0.45	0.541 \pm 0.08	3.931 \pm 0.35	0.211 \pm 0.002
1000	5.869 \pm 1.12	0.771 \pm 0.03	2.863 \pm 0.86	0.444 \pm 0.03	0.434 \pm 0.33	0.518 \pm 0.01	3.002 \pm 2.16	0.213 \pm 0.02

Tableau 27. Valeurs de F dans l'analyse de variance pour les principaux ions inorganiques accumulés dans les feuilles et les racines de *confirme* à la première récolte *P<0.01, **P<0.001, *<0.0001, n.s. non significiant**

Varia dépend	Clone (C)	Plant_part (P)	Sel (N)	Conc.sel (S)	C X P	C X N	C X S	P X N	P X S	N X S	C X P X N	C X P X S	P X N X S	C X N X S	C X P X N X S
Na⁺	0.04 ^{n.s.}	34.44***	168.66***	25.39***	1.52 ^{n.s.}	2.44 ^{n.s.}	2.08 ^{n.s.}	100.99***	1.98 ^{n.s.}	17.73***	3.18 ^{n.s.}	1.87 ^{n.s.}	10.15***	1.55 ^{n.s.}	0.61 ^{n.s.}
Ca²⁺	158.82***	233.21***	0.02 ^{n.s.}	64.47***	146.34***	0.27 ^{n.s.}	58.9***	0.35 ^{n.s.}	19.57***	19.59***	2.03 ^{n.s.}	8.86**	26.94***	0.64 ^{n.s.}	0.23 ^{n.s.}
K⁺	0.16 ^{n.s.}	0.27 ^{n.s.}	275.74***	10.62***	5.72 ^{n.s.}	6.68 ^{n.s.}	2.51 ^{n.s.}	5.57 ^{n.s.}	8.08***	31.75***	2.77 ^{n.s.}	3.98 ^{n.s.}	8.65***	0.3 ^{n.s.}	0.53 ^{n.s.}
Mg²⁺	0.46 ^{n.s.}	1.27 ^{n.s.}	2.12 ^{n.s.}	25.66***	3.43 ^{n.s.}	0 ^{n.s.}	12.13**	4.24 ^{n.s.}	0.68 ^{n.s.}	1.29 ^{n.s.}	1.33 ^{n.s.}	0.95 ^{n.s.}	1.12 ^{n.s.}	0.53 ^{n.s.}	0.54 ^{n.s.}

Tableau 28. Valeurs de F dans l'analyse de variance pour les principaux ions inorganiques accumulés dans les feuilles et les racines de *confirme* à la deuxième récolte *P<0.01, **P<0.001, *<0.0001, n.s. non significiant**

Varia dépend	Clone (C)	Plant_part (P)	Sel (N)	Conc.sel (S)	C X P	C X N	C X S	P X N	P X S	N X S	C X P X N	C X P X S	P X N X S	C X N X S	C X P X N X S
Na⁺	6.89 ^{n.s.}	8.7*	10.6*	14.34***	5.54 ^{n.s.}	16.38**	0.93 ^{n.s.}	33.16***	23.48***	3.66*	7.62*	2.7 ^{n.s.}	10.85***	2.37 ^{n.s.}	4.44 ^{n.s.}
Ca²⁺	1.31 ^{n.s.}	17.51***	4.17 ^{n.s.}	15.54***	4.41 ^{n.s.}	1.22 ^{n.s.}	5.18*	2.66 ^{n.s.}	19.82***	2.1 ^{n.s.}	0.08 ^{n.s.}	0.42 ^{n.s.}	1.1 ^{n.s.}	0.15 ^{n.s.}	0.14 ^{n.s.}
K⁺	2.98 ^{n.s.}	0.14 ^{n.s.}	24.35***	9.24***	4.35 ^{n.s.}	8.7*	0.19 ^{n.s.}	11.58*	1.2 ^{n.s.}	2.29 ^{n.s.}	1.48 ^{n.s.}	1.45 ^{n.s.}	2.76 ^{n.s.}	2.45 ^{n.s.}	0.08 ^{n.s.}
Mg²⁺	1.04 ^{n.s.}	42.47***	6.66 ^{n.s.}	3.83 ^{n.s.}	0 ^{n.s.}	0.75 ^{n.s.}	2.9 ^{n.s.}	0.36 ^{n.s.}	11.98***	3.37 ^{n.s.}	1.81 ^{n.s.}	0.29 ^{n.s.}	0.42 ^{n.s.}	0.29 ^{n.s.}	0.53 ^{n.s.}

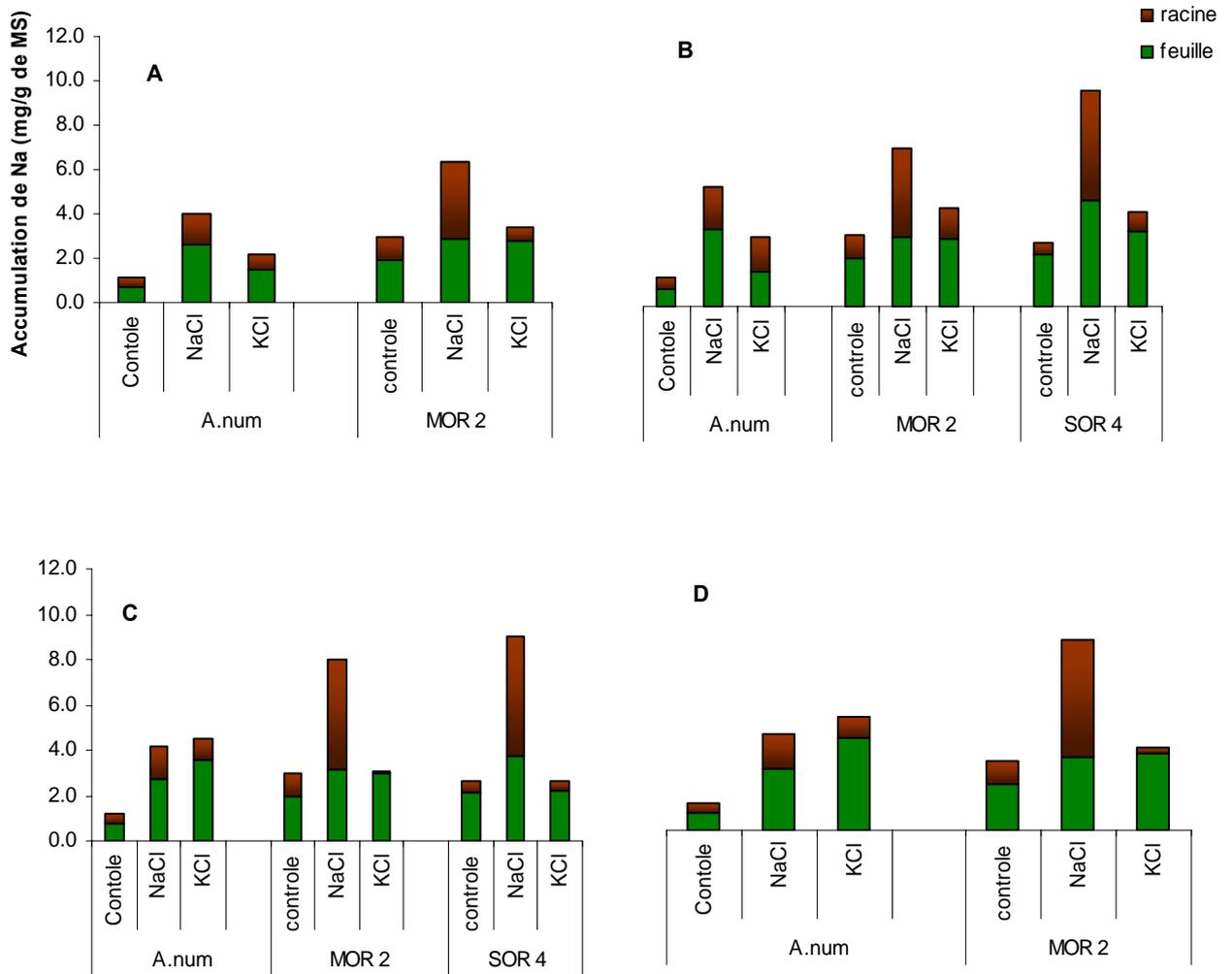


Figure 34. Accumulation du Sodium dans les feuilles et les racines Sous les traitement salins A, B,C et D qui présentent les concentrations salines 300, 600, 800 et 1000 mM respectivement à la première récolte.

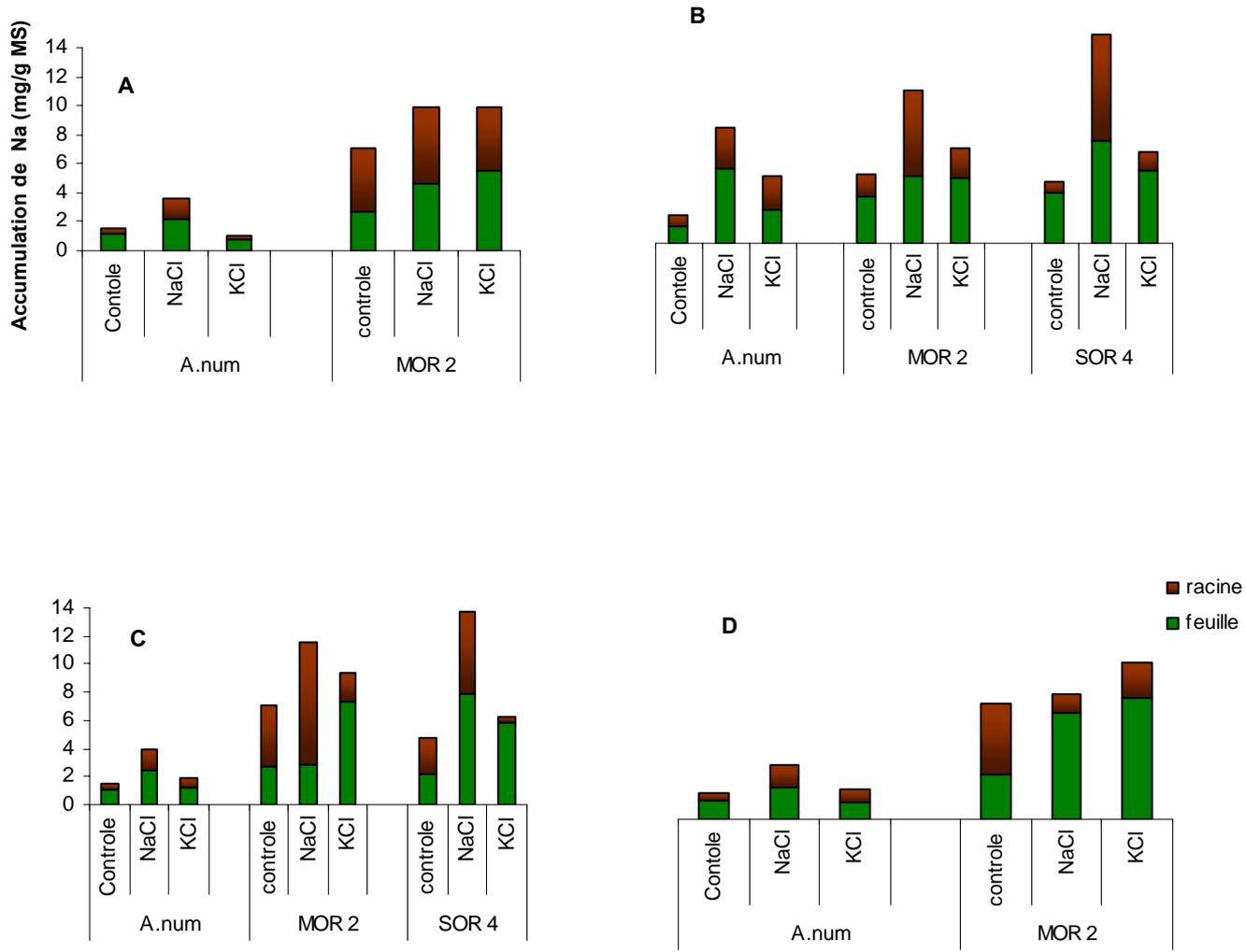


Figure 35. Accumulation du Sodium dans les feuilles et les racines Sous les traitement salins A, B,C et D qui présentent les concentrations salines 300, 600, 800 et 1000 mM respectivement à la deuxième récolte.

Les figures 34 et 35 illustrent l'accumulation du Sodium dans les différentes parties de la plante. Le clone SOR 4 en accumule beaucoup plus dans les feuilles au traitement NaCl, surtout à la concentration 800 mM où SOR 4 accumule environ trois fois plus que MOR 2 dans les feuilles. Par contre, et au traitement de KCl, SOR 4 accumule très peu dans les racines.

Le clone MOR 2 a accumulé le sodium aussi bien dans les feuilles que dans les racines pour les deux traitements au NaCl et au KCl aux basses concentrations (300 mM) mais à la concentration 800 mM de NaCl, ce clone accumule très peu dans les feuilles, ce qui laisse supposer que MOR 2 est un clone plus indiqué que SOR 4 pour l'utilisation animale alors que SOR 4 est plus indiqué pour la restauration et la phytoremediation des sols salés.

Le sodium est connu comme un élément pouvant être transporté aussi bien dans le phloème que dans le xylème dans la plante (Marschner, 1997). Bohra et Döffling (1993) ont reporté que la balance ionique est déséquilibrée dans le corps de la plante lors d'un stress salin et que l'augmentation de l'absorption du sodium entre en concurrence avec l'absorption des autres substances minérales et provoque la malnutrition. Levitt (1980) a suggéré que là où il y a un excès de chlorure de sodium dans le milieu de culture, la plante en absorbe des quantités plus que nécessaires ce qui induit une réduction dans l'absorption du Potassium due à la compétition entre les deux ions ce qui provoque une carence en potassium pour la plante.

Les concentrations salines élevées réduisent l'absorption et le transport du Calcium, induisant une déficience en calcium et un déséquilibre dans la plante (Cramer *et al.*, 1986). Le calcium est un élément qui a des effets positifs sur la plante dans des conditions de stress salin. Des opinions unanimes des chercheurs expliquent que le calcium joue un rôle protecteur contre les effets du stress salin utilisant différents mécanismes pour assurer la sélectivité du calcium dans le renforcement, le transport et l'absorption ionique de la membrane cellulaire. Le calcium et le potassium ont des attitudes similaires dans le transport sélectif des ions depuis la membrane cellulaire (Fageria, 1983)

Le rapport Ca/Na dans la plante cause la distorsion de la sélectivité dans les membranes des cellules racinaires comme dans le cas d'un faible rapport K/Na, induisant une absorption passive du sodium dans la cellule à des niveaux toxiques pour la plante.

La salinité cause principalement le vieillissement précoce des feuilles (Yeo, 1993). Ce vieillissement est généralement exprimé en termes de diminution de la concentration en protéine ou en chlorophylle (Chen *et al.*, 1991) et d'augmentation de la conductivité de la membrane cellulaire (Dhindsa *et al.*, 1981). Un effet spécial du stress salin sur le vieillissement des feuilles apparaît sous la forme d'une accumulation d'ions toxiques (Na et Cl) ou leur consommation en ions K et Ca (Yeo *et al.*, 1991)

Des adaptations physiologiques de *Atriplex spp* dont l'accumulation de concentrations élevées en sodium et de chlorures dans la vacuole des cellules et des solutés organiques dans le cytoplasme (Adams *et al.*, 1992) aide à compenser les limites de croissance des plantes imposées par la salinité des sols. Les échangeurs ou antiporteurs Na^+ / H^+ dans la membrane vacuolaire qui peut augmenter l'accumulation du Na^+ dans la vacuole des halophytes, a été proposée comme une adaptation supplémentaire à la salinité (Barkala *et al.*, 1995).

3.2.3. Dosage de la proline

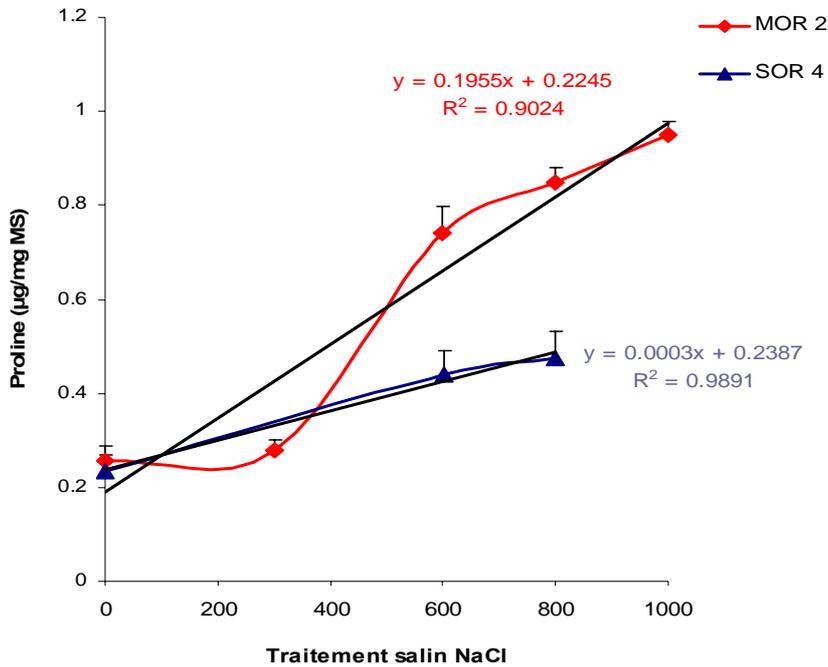


Figure 36. Accumulation de la proline dans les feuilles de *A. halimus* sous stress salin NaCl.

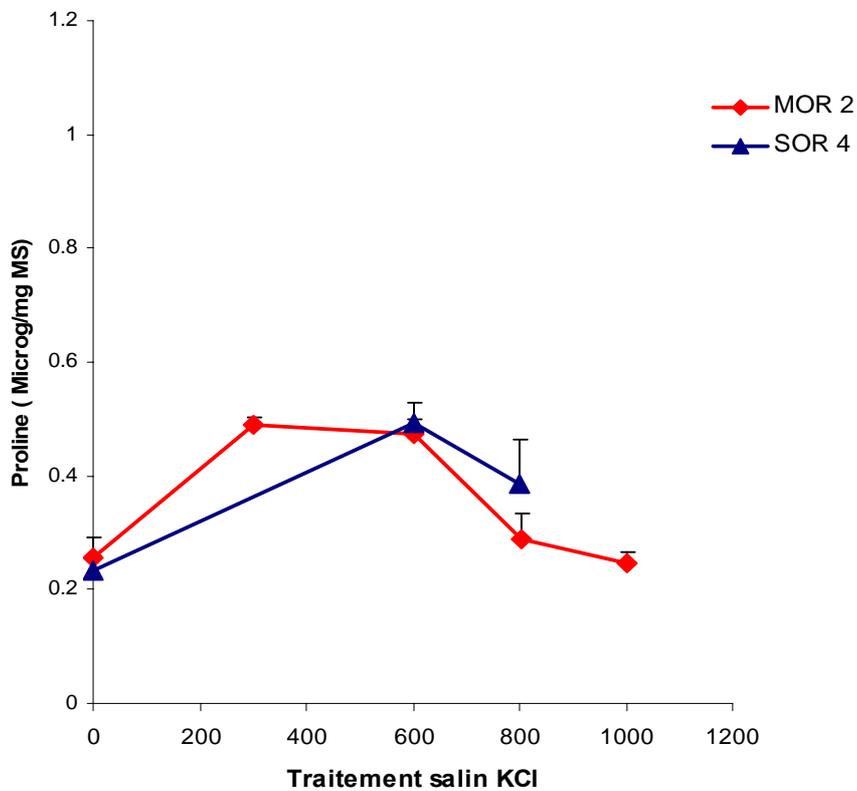


Figure 37. Accumulation de la proline dans les feuilles de *A. halimus* sous stress salin KCl.

Pour le traitement au NaCl, la concentration de proline dans les feuilles augmente avec la concentration du sel, il y a une très bonne corrélation entre les deux variables avec un coefficient de corrélation R^2 de 0.98 et 0.90 pour les clones MOR 2 et SOR 4 respectivement.

Pour le traitement au KCl, la concentration en proline augmente avec l'augmentation de la concentration saline (stress salin) puis diminue même avec une augmentation du stress et ce pour les deux clones.

L'accumulation de proline a été pour les deux clones plus grande (environ le double) pour le stress salin au NaCl qu'à celui au KCl et pour les deux sels, le clone MOR 2 a accumulé plus de proline que le clone SOR 4 cela pourrait être un mécanisme adaptatif de MOR 2 plus sujet à des stress abiotiques, surtout le stress hydrique généré ou non par le stress salin.

3.3. Stress hydrique et salin conjugués

3.3.1. Relations hydriques et mesures de la croissance

Le graphique suivant montre les valeurs du poids sec des racines, feuilles et tiges des plantes soumises au stress conjugué salin en utilisant une solution au NaCl à 500 mM et hydrique. Il en ressort que l'effet des deux stress n'est pas additif et pour *A. nummularia*, le stress conjugué a eu le même effet que le stress hydrique seul engendrant un poids des racines augmenté par rapport au témoin et au stress salin. Pour les clones de *A. halimus*, l'effet combiné des deux stress est un effet plus similaire à celui du stress hydrique qu'à celui salin, mais de toutes les façons, les deux effets ne sont pas additionnés, au contraire, il semble que cet effet combiné a favorisé le développement racinaire comme le fait le stress hydrique, améliorant la prise d'eau du sol (fig 38).

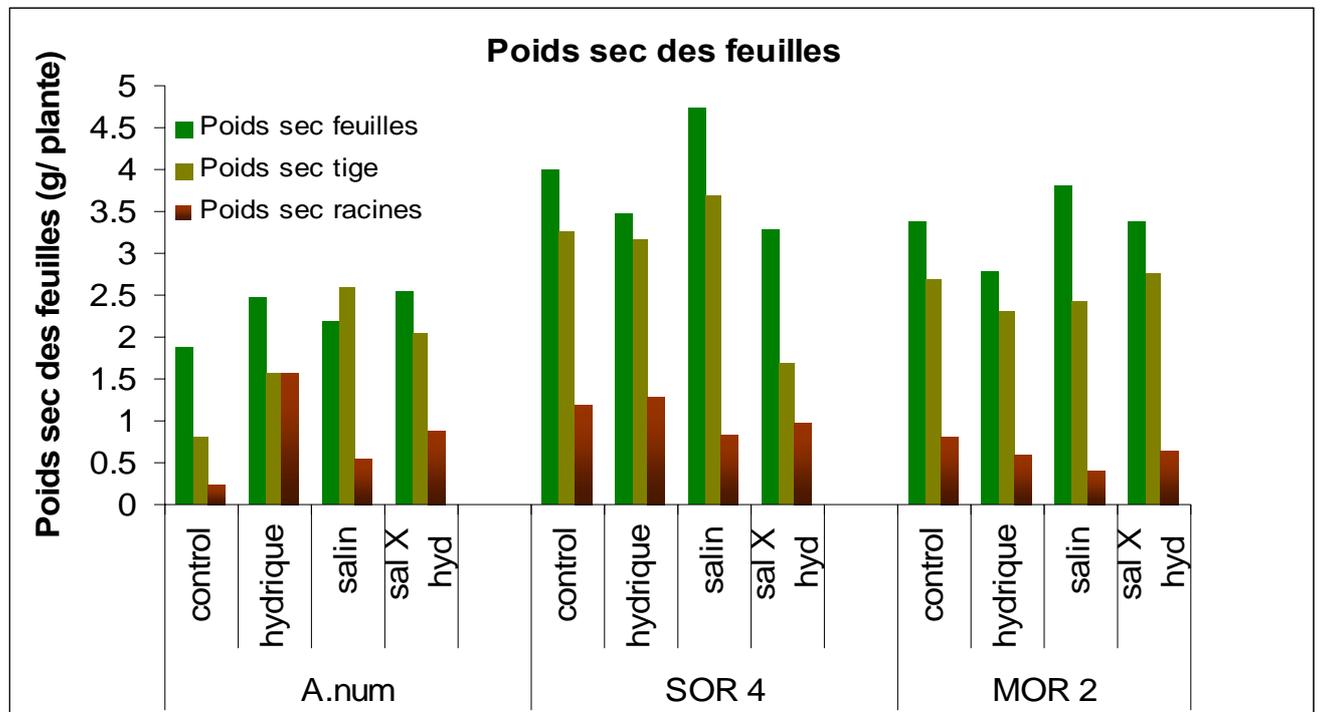


Figure 38. Poids sec des feuilles des plantules soumis au stress hydrique, salin et le stress hydrique et salin conjuguées.

Les valeurs de F pour les principaux paramètres de croissance montre qu'il n'y a aucun effet d'interaction entre les facteurs Clone et nature du sel. Par contre le facteur Clone a un effet hautement significatif sur la croissance, surtout sur le RGR de toutes les parties de la plante. Un effet moins significatif sur la longueur des tiges et des racines, le poids des feuilles et sur le rapport TW/DW. La nature du stress donc hydrique, salin ou combiné a un effet significatif sur les feuilles (poids frais, RGR, RWC et rapport TW/DW), en effet la nature du traitement semble n'avoir d'effets que sur les feuilles (Tab 28).

Tableau 29. Valeurs de F dans l'analyse de variance pour les principaux paramètres de croissance et des relations hydriques pour la récolte unique 21 jours après atteinte de la salinité maximale). P<0.01, **P<0.001, *<0.0001, n.s. non significatif.**

Variabes dépendantes	Clone (C)	Nature stress (N)	C X N
Longueur tige	8.77*	3.51 ^{n.s.}	4.46 ^{n.s.}
Longueur racine	6*	2.67 ^{n.s.}	1.86 ^{n.s.}
Poids frais feuilles	9.16*	11.97***	1.31 ^{n.s.}
Poids frais racines	4.91 ^{n.s.}	6.28*	1.91 ^{n.s.}
Poids frais tige	7.85*	3.04 ^{n.s.}	2.17 ^{n.s.}
Taux relatif de croissance des feuilles (RGR feuilles)	18.35***	13.34***	1.96 ^{n.s.}
Taux relatif de croissance des racines (RGR racines)	11.14**	5.11*	1.16 ^{n.s.}
Taux relatif de croissance des tiges (RGR tige)	13.35**	2.81 ^{n.s.}	2.35 ^{n.s.}
Poids sec feuilles (DW)	6.16*	1.11 ^{n.s.}	1.99 ^{n.s.}
Poids sec racines	3.75 ^{n.s.}	2.74 ^{n.s.}	1.57 ^{n.s.}
Poids sec tige	2.67 ^{n.s.}	1.12 ^{n.s.}	1.98 ^{n.s.}
Conetnu relatif en eau (RWC)	0.51 ^{n.s.}	10.16**	1.17 ^{n.s.}
Rapport poids à complète turgescence au poids sec(TW/DW)	6.86*	8.18**	1.89 ^{n.s.}

CONCLUSIONS

Dans la plupart des pays du West Asia et Nord Africa (WANA), les parcours occupant une large proportion de la surface totale. Le surpâturage a généré une dégradation très sévère de ces terres. Une restauration basée sur la plantation des arbustes fourragers est en cours dans ces zones et les espèces les plus communément utilisées à grande échelle sont *Atriplex halimus*, *Atriplex nummularia* et *Atriplex canescens*. De vastes zones ont été donc replantées en *Atriplex* qui représentent une source d'alimentation essentielle pour les petits ruminants, notamment les ovins.

De vastes zones affectées par la salinisation resteront stériles si des efforts pour leur restauration en utilisant des plantes halophytes hautement adaptées à ces conditions extrêmes ne sont pas entrepris.

Les arbustes fourragers sont généralement plantés pour prolonger la saison de pâturage garantissant ainsi une alimentation d'entretien durant la longue saison sèche allant de Juin à Octobre ainsi que durant la saison froide comme aliment de soudure. Au printemps quand les espèces herbacées spontanées sont disponibles, le cheptel évite de consommer ces arbustes.

D'autre part, les conditions édaphiques de la Sardaigne sont différentes de celles rencontrés sont les milieux semi aride ou aride de l'Afrique du Nord, en effet, le sol de la station d'Oristano est assez profond et relativement favorable au développement d'une végétation fournie contrairement à ceux squelettiques et très superficiels des zones arides.

Avant d'aborder l'analyse et l'interprétation des résultats de la présente étude, il serait intéressant de faire le point sur le contexte de déroulement des travaux de terrain. A ce titre il est à rappeler que les mesures des paramètres quantitatifs et qualitatifs de la végétation ont été réalisées initialement au mois d'Août 2006 sur des arbustes âgés seulement de six mois. Cependant, cette campagne de mesures s'est caractérisée par des conditions pluviométriques très défavorables pour la zone d'une part et par l'âge très jeune (inférieur à deux années). Cet état de fait rend difficile toute analyse

exhaustive des résultats, et plus particulièrement les comparaisons avec les normes relatives aux niveaux de production enregistrées dans d'autres régions.

La production de matière sèche n'est pas très élevée si elle est comparée à l'offre d'un parcours en Sardaigne, mais elle est très élevée si elle est comparée à l'offre des mêmes espèces dans des zones arides et semi arides, en plus du fait que cette matière fourragère est disponible dans des périodes les plus critiques de l'année comme fourrage de soudure

Les clones MOR 2 et SOR 4 ont de réelles potentialités d'utilisation en terme de résistance à la salinité et à la sécheresse. Les plantes sont restées vivantes plus de 21 jours sous un stress salin de 1000 mM et pour plus de deux années sous un régime hydrique maintenu à moins de 40% de la capacité au champ.

Le clone SOR 4 non seulement est resté vivant, mais la production est restée à un bon niveau. Cependant, il a accumulé des doses de sodium dans les feuilles trois fois plus grandes que le clone MOR 2 lors du traitement salin au NaCl à une concentration de 800 mM, ceci laisse supposer que le clone SOR 4, en dépit de sa grande productivité en matière sèche, peut générer des effets de toxicité à l'animal s'il est cultivé sur des sols très salés, il est donc plus indiqué pour la phytoremediation lors des actions de réhabilitation des terrains salés en vue de leur désalinisation.

Le Clone MOR 2 semble plus indiqué pour l'utilisation animale malgré sa production relativement faible comparée à celle du clone SOR 4. En effet, et aux traitements avec une concentration de 300 mM, aussi bien de NaCl que KCl, il a accumulé le sodium plus dans les racines que dans les feuilles, par contre, et aux fortes concentrations allant jusqu'à 800 mM de NaCl, le clone MOR 2 a accumulé le sodium plus dans les racines que dans les feuilles partie utilisée par l'animal, ce qui fait de lui un clone plus indiqué pour l'alimentation animale.

Le stress hydrique et salin conjugués ont montré un effet sur la croissance non additif mais plutôt un effet très similaire à celui du stress hydrique seul engendrant un poids des racines augmenté par rapport au témoin et au stress salin. Pour les clones de *A. halimus*, l'effet combiné des deux stress est un effet plus similaire à celui du stress hydrique qu'à celui salin, mais les deux effets ne sont pas additionnés, au contraire, il

semble que cet effet combiné a favorisé le développement racinaire améliorant l'enracinement de ces arbustes pour mieux préserver le sol contre l'érosion.

Il y a une ample variabilité dans l'offre fourragère en termes de qualité et de quantité entre les différents clones évalués sur terrain. Il y a sans doute d'autres clones très intéressants à étudier (FAN 3, STI 5, PAL 1 pour n'en citer que trois), et dont on a seulement pu apprécier les qualités en offre fourragère faute de temps. Il serait intéressant de les étudier plus profondément.

Le facteur limitant en terre aride reste la disponibilité en eau pour toute action de restauration par plantation qui nécessite en général des quantités d'eau supplémentaires pour favoriser d'abord la survie puis une croissance suffisante des arbres et arbustes. On a vu qu'une irrigation minimale fait augmenter la production d'une manière spectaculaire vu la grande efficacité de l'utilisation des eaux de pluies d'où l'intérêt de penser à la réalisation de digues de rétention des eaux pluviales aux voisinages des plantations pour les approvisionner en eau.

Atriplex spp est un composant essentiel pour l'alimentation du cheptel. Mais il ne doit pas constituer plus de 25 à 30% de la ration alimentaire. L'augmentation de la consommation de *Atriplex spp* doit être accompagnée d'une augmentation de l'eau d'abreuvement pour garantir l'entière excrétion du sodium dans les urines de l'animal.

Les clones d'*Atriplex* contiennent des quantités considérables de protéines. Les clones MOR 2, SOR 4 étudiés présentent des taux de protéines largement supérieurs aux besoins de l'animal avec un taux de protéine indisponible puisque liée à l'ADF assez bas ce qui n'amoindrit pas la qualité de ce fourrage. La digestibilité estimée est nettement supérieure à celle trouvée par d'autres auteurs, ce qui rend ces clones d'un intérêt particulier.

Les effets négatifs dus à la grande quantité de sel peuvent être minimisés. Les retombés économiques enregistrés en utilisant ces arbustes au moment où les parcours dans les zones arides et semi arides durant la saison sèche n'offrent pas un substitut sont à même de vaincre ces difficultés.

La faisabilité économique est d'un intérêt capital. Les coûts d'installation sont assez élevés mais la dépense la plus élevée reste celle du gardiennage pour assurer aussi bien le respect de la charge animale que la protection des plantations lors de la période de repos recommandée (de sept mois environ entre deux saisons de pâturage de trois mois chacune). La viabilité économique semble donc incertaine sous les conditions des régions du WANA, mais la valeur de ces plantations pastorales reste indéniable compte tenu de leur multifonctions. La comparaison avec d'autres améliorations des parcours confirme la validité technique et économique de telles interventions.

L'acceptabilité sociale en revanche est très importante pour la réussite de tout programme de restauration. Il est en effet déterminant l'avis des populations rurales pour adhérer volontairement et complètement à ces initiatives car les réactions à ces plantations sont diverses: certains les considèrent comme des actions gouvernementales donc peu dignes de confiance, d'autres, et même s'ils reconnaissent que ces arbustes sont utilisables par le cheptel, ignorent ou ne reconnaissent pas leurs autres utilisations pour la protection des sols de l'érosion hydrique, pour les protéger eux de l'érosion éolienne et tant d'autres effets bénéfiques...

BIBLIOGRAPHIE

Abbad A., Cherkaoui M., Wahid N., El Hadrami A., Benchabane A., 2004. Variabilités phénotypiques et génétiques de trois populations naturelles d' *Atriplex halimus*. C.R. Biologies 327. 371-380.

Adams P., Thomas J.C., Vernon D.M., Bonhert H.J., Jensen R.G., 1992. Distinct cellular and organismic responses to salt stress. Plant. Cell. Phys.33: 1215-1223

Abou El Nasr H.M., Kandil H.M., El Kardawy A., Dawlet., Khamis H.S., El Shaer H.M. 1996. Value of processed saltbush and Acacia shrubs as sheep fodders under the arid conditions of Egypt. Small Ruminant Research, 24: 15-20.

Aganga A., Mtheto J.K., Tshwenyane S., 2003. *Atriplex nummularia* (Oldman Saltbush) : A potential forage crop for arid regions of Botswana. Pakistan Journal of Nutrition 2. 2: 72-75.

Anna, L., Viti, S., Giordano, F. 2003. Emergenze globali e fenomeni locali: l'analisi della desertificazione in Italia. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (APAT). Settima conferenza nazionale delle agenzie ambientali. Milano 2003

Amzallag, G.N., Lemer, H.R., Poljakoff-Mayber, A. 1990. Induction of increased salt tolerance in Sorghum bicolor by NaCl treatment. J. Exp. Bot. 41: 29-34 in Xiong .L et Zhu J.K., 2002. Salt tolerance. American Society of Plant Biologist. The Arabidopsis Book.

Arya S., Toky O., Tomar R., Singh L., Harris P.J.C., 1993. Seasonal variation in Auxin-induced rooting of Prosopis cineria stem cuttings. The int. Tree Crops J., 7: 249-259.

Babu, R.C., Pathan, M.S., Blum, A. and Nguyen, H.T. 1999. Comparison of measurement methods of osmotic adjustment in rice cultivars. Crop Sci. 39, 150–158.

Bajji, M., Kinet, J.M. and Lutts S., 1998. Salt stress effects on roots and leaves of *Atriplex halimus* L. and their corresponding callus cultures. Plant Science, 137: 131-142.

Barkala B.J., Luissa Z., Eduardo. B., Smith J.A.C. 1995. Tonoplast Na^+ / H^+ antiport activity and its energization by the vacuolar H^+ -ATPase in the halophytic plant *Mesembryanthemum crystallinum* L. Plant. Phys. 109: 549-556.

Bates, L.S, Waldren, R.P , Teare I.D, 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Short communication. Plant and soil 39, 205-207.

Bauman, M. 1990 Possibilities and limits of feed installation for pasture improvement in steppe regions of Western Morocco: preliminary results. Awamia (Maroc); Revue Marocaine de la Recherche Agronomique. no 74 p. 84-104

- Beale C.V, Morison J.L, Long S.P, 1999. Water use efficiency of C₄ perennial grasses in a temperate climate. *Agriculture and forest Meteorology* .96: 103-115
- Bieth.F, Gautier.P, 2002. <http://membres.lycos.fr/desertification/> Les *Atriplex* en Tunisie et en Afrique du Nord, rapport technique, Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), organisation des Nations Unies pour L'Alimentation et l'Agriculture, Rome, 1971.
- Bohnert, H.J., Shen. B, 1999. Transformation and compatible solutes. *Sci. Hort.* 78, 237–260.
- Bohra, J.S. and K. Döffling, 1993. Potassium Nutrition of Rice (*Oryza sativa* L.) Varieties Under NaCl Salinity. *Plant and Soil*, 152: 299- 303.
- Bonhert et al, H.J., Nelson, D.E.,et Jensen R .G 1995. Adaptations to environmental stresses. *Plant Cell* 7 : 1099-1111 in Xiong .L et Zhu J.K, 2002. Salt tolerance. American Society of Plant Biologist. The Arabidopsis Book.
- Bouraoui, 1969. Culture des *Atriplex* dans la région de Souassi, Min.Agric.,Tunis
- Boyer, J.S. 1982. Plant productivity and environment. *Science*, 218, 443–448.
- Caldwell MM, Osmond CB, Nott DL 1977. C₄ pathways photosynthesis at low temperature in cold-tolerant *Atriplex* species. *Plant Physiology* 60: 157-164
- Chalbi N, Bezzaouia, M, 1997. Résultats préliminaires sur le polymorphisme morphologique et la répartition des populations naturelles de l'espèce *Atriplex halimus* en Tunisie, in : Etude de la diversité biologique de l'*Atriplex halimus* pour le repérage in vitro d'individus résistants à des conditions extrêmes du milieu et constitution de clones , Rapport annuel du projet STD 3 , Paris.
- Chen, C.T. and C.H. Kao, 1991. Senescence of Rice Leaves XXIX. Ethylene Production, Polyamine Level and Polyamine Biosynthetic Enzyme Activity During Senescence. *Plant Sci.*, 78: 193-198.
- Chisci, G., Stringi, L., Martinez, V., Amato, G., Gristina, L.1991. Ruolo degli arbusti foraggeri nell'ambiente semi-arido siciliano 2. Funzione protettiva contro l'erosione idrometeorica . *Rivista di Agronomia XXV* 2, pp.332-340.
- Chisci, G., Bazzoffi ,P., Pagliai,. M., Papini, R., Pellegrini, S., Vignozzi. N. 2000. Association of sulla and *Atriplex* shrub for the physical improvement of clay soils and environmental protection in central Italy. *Agriculture, Ecosystems and environment*.
- Chriyya, A. El M'zouri, E. El Mourid. Laamari, A. 2000. Improving feed resources and quality in the dryland areas of Marroco by introducing the Strip-alley cropping system.340-347

- Clarke, L.D., Hannon, N.J, 1970. The mangrove swamp and salt marsh communities of the Sydney District. III Plant growth in relation to salinity and waterlogging. J. Ecol. 58:351-359.
- Clarke, A.J, 1982. The grazing value of saltbushes. J. Agric. W. Aust. 23 (4th series) 7-9:
- Cook, C.W. 1971. Effects of season and intensity of use on desert vegetation. Utah Agric. Expt. Stn. Bull. 483
- Correal Castellanos E., 1982. la introduccion de especies pratenses y forrageras en zonas aridas. Curso de produccion animal- instituto Agronomico Mediterraneo de Zaragoza in Stringi. L, Amato.G, Gristina.L. 1991. the role of some forage shrubs in ioptimizing forage production in a semi arid mediterranean area. Agr.med., vol 121, 16-23 (1991)
- Cramer, G., R.A. Lauchli and E. Epstein, 1986.2 Effects of NaCl and CaCl on Ion Activities in Complex Nutrient Solutions and Root growth of Cotton. Plant Physiol., 81:792-797.
- Desjardins .M, Charreton M.B, 2002. Desertification et environnement mondial (Biodiversité et changement climatique). http://www.csf-desertification.org/catalogue/2002_AFD_DPE.pdf
- Dhindsa, R.S. and W. Mathowe, 1981. Drought Tolerance in Two Mosses: Correlated with Enzymatic Defence Against Lipid eroxidation. J.of Exp. Bot., 32(126): 79-91.
- Dubois.M, Gilles K.A, Hamilton J.K, Rebers P.A, Smith.F, 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical chemistry, volume 28, N° 3.
- Eaton FM., 1927. the water requirement and cell-sapconcentration of Australain saltbush and wheat as related to the salinity of the soil. AM j bot 14: 212-226
- El Aich.A, 1992. Fodder trees and shrubs in range and farming systems in North Africa. Poceedings of the FAO Expert Consultation : Legume trees and other fodder trees as protein sources for livestock held at the Malaysian Agricultural Research and Development Institute (MARDI) en 1991. in Kuala Lumpur, Malaysia,
- El-Beltagy A., 1999. Can desertification trends be reversed in West Asia and North Africa? Proceedings of the International Symposium "New Technologies to Combat Desertification". Tehran (Iran): 65-78.
- El Mourid . M, 2001. Crop livestock integration : Alternatives to stop desertification in arid regions of WANA. Experts meeting: Scientific Research and its Role in combating Desertification and stabilising sand Dunes. Taghit Algeria , November 4-6, 2001.

El shaer H.M., Fahmy A.A., Abdulaziz G.M., Shalaby A.S., Abd el gawad A.M., 2000. Utilization of less and unpalatable halophytes as non conventional feeds for sheep under the erid conditions in Egypt. Proceedings of the 3rd All Africa conference on animal agriculture and 11th conference of Egyptian society of animal production. Alennra, Egypt, November 2000, 109-115.

E M, 2005. <http://www.greenfacts.org/fr/desertification/>.

Fageria, N.K., 1983. Ionic Interaction in Rice Plants from Diluate Solutions. Plant and Soil, 70: 309

Forbes JM, Mayers RW(2002) Food choice. In Sheep nutrition.pp.51-69. (CSIRO Publishing)

Frost, K.R. & Hamilton, L 1965. Basin forming and reseeding of rangeland. Trans. ASAE 8:202-203 & 207.

Gale J, Poljakoff-Mayber, A 1970. Interrelationships between growth and photosynthesis of saltbush (*Atriplex halimus* L. grown in saline media. Aust J Biol Sci 23: 937-945

Gian Carlo Chisci, Luigi Stringi, Victoria Martinez, 1990 . Ruolo degli arbusti foraggeri nell'ambiente semi-arido Siciliano. Funzione protettiva contro l'erosione idrometeorica . Communication présentée au XXIV congrès annuel de la société Italienne d'Agronomie. Palerme

Girma FS, Krieg DR. 1992. Osmotic adjustment in Sorghum.I. Mechanisms of diurnal osmotic potential changes. Plant Physiology 99: 577-582 in Martinez J.P, Stanley ,L, Schanck.A, 2004. Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the méditerranean shrub *Atriplex halimus* L?. journal of plant physiology 161: 1041-1051

Gong, Z., Koiwa, H., Cushman, M.A. 2001. Genes that are uniquely stress regulated in Salt Overly Sensitive (sos) mutants.Plant Physiol. 126, 363–375.

Graetz, R.D. & Wilson, A.D. 1980. Comparison of the diets of sheep and cattle grazing a semi-arid chenopod shrubland. Aust. Rangel. J. 2:67-75.

Grieco A.C., Muir S.J. 1988. Biology and management of saltbush and other chenopods. A review of current Australian literature on chenopods with emphasis on features of agriculture significance. Ed. Roberts, Div. of agr.serv. NSW.

Herbel, C.H. 1971. Using mechanical equipment to modify the seedling environment. Wildland shrubs - their biology and utilization. Internat. Symp. Logan 1971 pp 369-381.

Hindrichsen K., Kreuzer M., Madsen J. and Bach Knudsen K. E. 2006. Fiber and lignin analysis in concentrate, forage and feces: Detergent versus enzymatic-chemical method. J. Dairy Sci. 89: 2168-2176.

Hoagland, D.R , Arnon D.I, 1950. The water culture method of growing plants without soil. Calif. Agr.Expt.Sta.Circ. 347. 1950

<http://www.virtualcentre.org> Pastoralisme et environnement : Dégradation et restauration des parcours des zones semi-arides et arides : Fiction ou réalité. LEAD conference électronique francophone. Nov 2002-janvier 2003

Hutchings, S.S. 1965. Grazing management of salt-desert shrub ranges in the Western United States. Proc. 9th Internat. Grass. Cong. 2:1619:1625

Islam M, Adams MA, 2000. Nutrient distribution among metabolic fractions in 2 *Atriplex* spp. J. Range Manage. 53:79-85.

Jacobs, G.A. and Smit, C.J. 1977. Benutting van veir *Atriplex* species deur skape. Agroanimalia 9:37-43.in Cahiers FAO: Conservation - 21 . 1985 .<http://www.fao.org/docrep>

Hyder H.Z.,1982.communication personnelle.le role de la foresterie dans la lutte contre la desertification. <http://www.fao.org/docrep>

Jacobs, G.A. and Smith, C.J. 1977. Benutting van veir *Atriplex* species deur skape. Agroanimalia 9:37-43.

Jones MM, Turner NC, Osmond CB., 1979. Mechanisms of drought resistance. In: Paleg LG, Aspinall DA (eds). The physiology and biochemistry of drought resistance. Academic Press, London

Jones R., 1970. The biology of *Atriplex*. Division of Plant Industry, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Camberra (Australia): pp. 128.

Kirmse, D.R, Norton , B.E, 1985. Comparison of the reference unit method and dimensional analysis methods for two large shrubby species in the Caatinga woodlands. Journal of range Management 38, 425-428.

Kramer, P.J. and Boyer, J.S. 1995. Water Relations of Plants and Soils. San Diego: Academic Press.

Lailhacar S., Laude H. M., 1975. Improvement of seed germination in *Atriplex repanda* . Journal of Range Management, 28(6): 491-494 .

Lailhacar S., Torres C. and Azocar P., 1999.The effect of *Atriplex* species and rainfall variations on the herbaceous stratum in arid Chile . VIth International Rangeland Congress Proceedings Vol. 1

Lorenzon, P, Clobert, J, Massot, M, 2001. The contribution of phenotypic plasticity to adaptation in *Lacerta vivipara*, Evolution 55: 392-404.

- Le Houérou H. N., 1980. Browse in North Africa. In: H.N. Le Houérou (ed.). "Browse in Africa. The current state of knowledge". International Livestock Center for Africa, Addis Abeba (Ethiopia): 55-82.
- Le Houérou H. N., 1986. Salt-tolerant plants of economic value in the Mediterranean Basin. Reclamation and Revegetation Research 5: 319-341.
- Le Houérou H. N., 1993. Land degradation in Mediterranean Europe: can agroforestry be a part of the solution? Agroforestry Systems, 21: 43-61.
- Le Houerou,H.N.2000.Use of Fodder Trees and Shrubs (Trubs) in the arid and semi-arid Zones of West Asia and North Africa: History and Perspectives. Fodder Shrub Development in Arid and Semi-arid Zones., Fodder shrub development in arid and semi-arid zones ,volume 1, 9-19
- Leigh, J.H. and Mulham, W.E. 1966. Selection of diet by sheep grazing semi-arid pastures on the Riverine Plain. 1. Bladder saltbush (*Atriplex vesicaria*) - cotton bush (*Kochia aphylla*) community. Aust. J. Exp. Agric. & An. Husb. 6:460-467.
- Levitt, J. 1972. Responses of Plants to Environmental Stresses. New York: Academic Press.
- Levitt, J., 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. Vol.II, 2nd Ed. Academic Press, New York, pp: 607.
- Malan P.J, Rethman N.F.G., 2002. The use of stem cuttings to propagate *Atriplex nummularia* L.(Oldman Saltbush) vegetatively. South Arf.J.Agric. Dev., 21: 30-57
- Malcolm, C.V. 1972. Establishing shrubs in saline environments. Dept. Agric. W. Aust. Tech. Bull. 14.
- Malcom C.V., Pol J.E., 1986. Grazing management of saltland shrubs. Journal Agric. W. Australia, 27(2): 59-63.
- Marschner, H., 1997. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd. Ed. Academic Press, London., p. 889
- Martinez J.P ., Ledent J.f ., Bajii M., Kinet,J.M and Lutts S., 2003. Effect of water stress on growth, Na⁺ and water use efficiency in relation to osmotic adjustment in two populations of *Atriplex halimus* L. Plant Growth Regulation 41. 63-73.
- Martinez J.P, Stanley ,L, Schanck.A, 2004. Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the méditerranean shrub *Atriplex halimus* L?. journal of plant physiology 161: 1041-1051
- Masson, P.N. 1982. An economic analysis of salt-tolerant shrub planting and associated activities in the West Maya catchment area. Thesis B.A. (Hons) Murdoch University

- Masters DG, Norman HC, Dynes RA, 2001. Opportunities and limitations for animal production from saline land. *Asian –Australasian Journal of Animal Science*. 14, 199-211.
- McKell, C.M. 1985. Propagation and establishment of plants on arid saline land. Proceedings of the Research for Development Seminar on "Forage and fuel production from salt-affected wasteland", Cunderdin, W. Australia. 19-27 May 1984
- Mertens D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements on dairy cows. *J. Dairy Sci*. 80: 1463-1481.
- Midgeley, S.J., Turnbull, J.W. and Hartney, V.J. 1985. Fuelwood species for salt-affected sites. Proceedings of the Research for Development Seminar on "Forage and fuel production from salt-affected wasteland", Cunderdin, W. Australia. 19-27 May 1984
- Morgan, J.M. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol*. 35, 299–319.
- Morgan, J.M. 1991. A gene controlling differences in osmorégulation in wheat. *Aust. J. Plant Physiol*. 18, 249–257.
- Mulas, M., Mulas, G. 2004. Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. *Revue bibliographique .Short and Medium - Term Priority Environmental Action Programme (SMAP)*
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ*. 25, 239–250.
- Murphy, R. and Ortega, J.K.E. (1995) A new pressure probe method to determine the average volumetric elastic-modulus of cells in plant tissue. *Plant Physiol*. 107, 995–1005.
- National Research Council. 1975. Nutrient requirements of domestic animals. Publication 5 Nutrient requirements of sheep. 5th revised ed Nat. Acad. Of Sci. Washignton.
- National Research Council. 1981. Nutrient requirements of domestic animals. Publication 15 Nutrient requirements of goats. Nat. Acad. Of Sci. Washignton.
- Norman.H, Friend.C, Masters.D, Rintoul.A, Dynes.R, Williams.I. 2004.Variation within and between two saltbush species in plant composition and subsequent selection by sheep. *Australian Journal of Agriculture Research*, 55, 999-1007.
- Novikoff, G. 1961. Contribution à l'étude des relations entre le sol et la végétation halophile de Tunisie. *Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. de Tunisie* 34:5-339.

- Ober, E.S. and Sharp, R.E. 1994. Proline accumulation in maize (*Zea mays* L.) primary roots at low water potentials I. Requirement for increased levels of abscisic acid. *Plant Physiol.* 105, 981–987.
- Oliver, M.J., Tuba, Z. and Mishler, B.D. 2000. The evolution of vegetative desiccation tolerance in land plants. *Plant Ecol.* 151, 85–100.
- Osborne, T.G.B., Wood, J.G. & Paltridge, T.B. 1932. On the growth and reaction to grazing of the perennial saltbush, *Atriplex vesicarium*. An ecological study of the biotic factor. *Proc. Linn. Soc. NSW.* 57:377-402.
- Osmond C.B, Bjorkman.O., Anderson.D.J, 1980. Physiological processes in Plant Ecology Toward a synthesis with *Atriplex*.
- Pallaghy C.K. 1970. Salt relations of *Atriplex* leaves. *In*: R.Jones. (ed) *Biology of Atriplex*. CSIRO division of Plant Industry, Canberra.
- Raven P.H., Evert R.F., Eichhorn S.E., 1992. *Biology of plants*. 5 ed. Worth Publishers, New York: 791.
- Rosas M.R., 1989.El genero *Atriplex* (chenopodiaceae) en Chile. *Gayana, Bot.* 46 (1-2): 3-82
- Runciman, 1985. communication personnelle.le role de la foresterie dans la lutte contre la desertification. <http://www.fao.org/docrep>
- Runcimn HV, Malcolm CV(1989). Forage shrubs and grasses for revegetating saltland. Department of agriculture: Western Australia.
- Saleki, R., Young, P., et Lefebvre, D.D. 1993. Mutants of *Arabidopsis thaliana* capable of germination under saline conditions. *Plant Physiology*.101: 839-845 in Xiong L et Zhu J.K, 2002. Salt tolerance. American Society of Plant Biologist. The *Arabidopsis* Book.
- Sankary, M.N. 1985. Species distribution and growth on salt-affected land in Syria. *Proceedings of the Research for Development Seminar on "Forage and fuel production from salt-affected wasteland"*, Cunderdin, W. Australia. 19-27 May 1984
- Schroeder, J.I., Kwak, J.M. and Allen, G.J. 2001. Guard cell abscisic acid signalling and engineering drought hardiness in plants. *Nature*, 410, 327–330.
- Sharp, R.E. and LeNoble, M.E. (2002) ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. *J. Exp. Bot.* 53, 33–37.
- Shi, H.Z., Xiong, L., Stevenson, B., Lu, T.G. and Zhu, J.K. 2002. The *Arabidopsis* salt overly sensitive 4 mutants uncover a critical role for vitamin B6 in plant salt tolerance. *Plant Cell*, 14, 575–588.

Sivamani, E., Bahieldin, A., Wraith, J.M., Al-Niemi, T., Dyer, W.E., Ho, T.H.D. and Qu, R.D. (2000) Improved biomass productivity and water use efficiency under water deficit conditions in transgenic

Soliman O.H., Barrow J.R., 2000. Effectiveness of hybridization for improving some characters of *Atriplex canescens*: germination and survival performance. In: Gintzburger G., M. Bounejmate and A. Nefzaoui (eds.). Fodder Shrub Development in Arid and Semi-arid Zones. Proceedings of the Workshop on Native and Exotic Fodder Shrubs in Arid and Semi-arid Zones, 27 October-2 November 1996, Hammamet, Tunisia. ICARDA, Aleppo (Syria). Vol. II: 325-333.

Stalter, R. and Batson, W.T. (1969), Transplantation of salt marsh vegetation, Georgetown, South Carolina. *Ecol.* 50:1087-1089

Schroeder J.W. 1994. Interpreting Forage Analysis. AS-1080. NDSU. www.Ag.ndsu.edu

Sthälin, A. & Bommer, D. (1958), Grünlandwirtschaftliche Untersuchungen an binnendeutschen

Salzstandorten. *Z. Acker- u Pflanzbau*, 1985. Le role de la foresterie dans la lutte contre la desertification Cahiers FAO Conservation - 21 . 1985 .<http://www.fao.org/docrep>

Storey R, Wyn Jones R.G., 1979 Responses of *Atriplex spongiosa* and *Suaeda monoica* to salinity. *Plant Physiology* 63: 156-162

Stringi, L, Amato, G, Gristina, L. 1991. the role of some forage shrubs in optimizing forage production in a semi arid mediterranean area. *Agr.med.*, vol 121, 16-23

Taiz L., Zeiger E., 1991. *Plant Physiology*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., Redwood City, CA: 565.

Tester, M. and Bacic, A. 2005. Abiotic stress tolerance in grasses. From model plants to crop plants. *Plant Physiol.* 137, 791–793.

Tiedeman J.A., Chouki S., 1989. Range management in Central Tunisia. Office of Livestock and Pastures, Ministry of Agriculture, Tunisia and Oregon State University, Corvallis OR (USA).

Trumble, H.C. and Woodroffe, K. 1954. Influence of climatic factors in relation of desert shrubs to grazing by sheep. In: "Biology of deserts". pp 129-147.

UNEP, 1991. Status of desertification and implementation of United Nations Plan of action to combat desertification. Report of the executive director to the governing council of the third special session.

UNEP, Nairobi, Kenya in Katyal J.C. & Vlek P.L.G., 2000. Desertification, concept, causes and amelioration. Bonn, Germany, ZEF Bonn, Bonn University, Discussion papers on development policy, N° 33, 65 p.

Ungar, I.A. 1965. An ecological study of the vegetation of the Big Salt marsh, Stafford County, Kansas. The University of Kansas Science Bulletin XLVI No. 11-99.

Van Heerden J.M., Heydenrych A.J., Botha J.C., 2000. The influence of spacing on the production of saltbush in the little Karoo region of the western cape. In: Gintzburger G., M. Bounejmate and A. Nefzaoui (eds.). Fodder Shrub Development in Arid and Semi-arid Zones. Proceedings of the Workshop on Native and Exotic Fodder Shrubs in Arid and Semi-arid Zones, 27 October-2 November 1996, Hammamet, Tunisia. ICARDA, Aleppo (Syria). Vol. II: 364-365.

Van Soest P. J. and Wine R. H. 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV Determination of plant cell wall constituents. J. Assoc. Offic. Anal. Chem. 50-50

Verslues, P., Manu Agarwal, Surekha Katiyar-Agarwal, Jianhua Zhu and Jian-Kang Zhu, 2006. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. The Plant Journal : 45, 523–539

Vicre, M., Farrant, J.M. and Driouich, A. 2004. Insights into the cellular mechanisms of desiccation tolerance among angiosperm resurrection plant species. Plant Cell Environ. 27, 1329–1340.

Von Holdt R., 2000. Saltbush propagation: seed handling from picking to planting. In: Gintzburger G., M. Bounejmate and A. Nefzaoui (eds.). Fodder Shrub Development in Arid and Semi-arid Zones. Proceedings of the Workshop on Native and Exotic Fodder Shrubs in Arid and Semi-arid Zones, 27 October-2 November 1996, Hammamet, Tunisia. ICARDA, Aleppo (Syria). Vol. I: 261-266.

Waisel Y., 1972. Biology of halophytes. Academic press, London New York

wheat constitutively expressing the barley HVA1 gene. Plant Sci. 155, 1–9.

Williams, D.G., Anderson, D.J. & Slater, K.R. 1978. The influence of sheep on pattern and process in *Atriplex vesicaria* populations from the Riverine Plain of New South Wales. Aust. J. Bot. 26:381-392.

Wilson, A.D. 1966. The value of *Atriplex* (saltbush) and *Kochia* (bluebush) species as food for sheep. Aust. J. Agric. Res. 17:147-153.

Wu, S.-J., Ding, L. and Zhu, J.-K. 1996. SOS1, a genetic locus essential for salt tolerance and potassium acquisition. Plant Cell, 8, 617–627.

Xu, D.P., Duan, X.L., Wang, B.Y., Hong, B.M., Ho, T.H.D. and Wu, R. 1996. Expression of a late embryogenesis abundant protein gene, HVA1, from barley confers tolerance to water deficit and salt stress in transgenic rice. Plant Physiol. 110, 249–257.

Yassoglou, N., Giannouloupoulos,P., Varelides .Y ., 2003. Issues of sustainable management of soil land water resources , The MEDRAP concerted Action to support the Northern Mediterranean Action Programme to combat Desertification, workshop results and proceedings.30-32.

Yeo, A.R., K.S. Lee, P. Izard, P.J. Boursier and T.J. Flowers, 1991. Short and Long Term Effects of Salinity on Leaf Growth in Rice (*Oryza sativa* L.). J. Exp. Bot., 42: 881-889.

Yeo, A.R. and T.J. Flowers, 1993: Soil Mineral Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. p. 18

Yesséf, M. 2007. Rapport d'expertise « Etude d'évaluation territoriale ». Projet SMAP « Projet pilote sur les stratégies de lutte contre la désertification dans les régions arides avec implication directe des communautés agropastorales locales en Afrique du Nord.

Zhu, J.-K., Liu, J. and Xiong, L.1998. Genetic analysis of salt tolerance in Arabidopsis: evidence for a critical role of potassium nutrition. Plant Cell, 10, 1181–1191.

Zhu, J.K., 2000. Genetic analysis of plant salt tolerance using Arabidopsis. Plant Physiology. 124: 941-948 in Xiong .L et Zhu J.K, 2002. Salt tolerance. American Society of Plant Biologist. The Arabidopsis Book.

Zhu, 2001. Cell signaling under salt, water and cold stresses. Curr. Opin Plant Biology. 4 . 401-406 in Xiong .L et Zhu J.K, 2002. Salt tolerance. American Society of Plant Biologist. The Arabidopsis Book.

Zhu, J.K., 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. Curr. Opin. Plant Biol. 6, 441–445.

Zid E., 1970. Influence du chlorure de sodium sur la croissance et la nutrition minérale d'*Atriplex halimus*. Labo. De Physoil. Végét., Fac. Des Sciences , Tunis.