

**UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP
DE DAKAR**



THESE

DE

DOCTORAT DE 3^E CYCLE

Présentée par

Ndèye Thioro DIAW épouse SOW

Evaluation au champ et en conditions de salinité des performances agromorphologiques et physiologiques de lignées de riz *Oryza sativa* L. cultivar I Kong Pao (IKP) sélectionnées *in vitro* en présence de sel.

Soutenue le 31 Juillet 2000, devant la Commission d'Examen :

MM.	Amadou Tidiane	BA	Président
	Papa Ibra	SAMB	Rapporteur
	Nicolas	DIALLO	} Examineurs
	Moussa	SIE	

AVANT PROPOS

Ce présent travail est le résultat d'une collaboration entre l'Université Catholique de Louvain (UCL), l'Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest (ADRAO), le Fonds International pour la Coopération Universitaire (FICU) et le Département de Biologie Végétale de l'Université Cheikh Anta Diop (UCAD).

Je remercie les responsables de ces institutions pour l'appui et l'aide qu'ils ont apportés à la réalisation de ce travail.

J'aimerais remercier tout particulièrement les professeurs Jules BOUHARMONT et Stanley LUTTS du Laboratoire de Cytogénétique de l'UCL pour m'avoir accueillie dans ce laboratoire, pour avoir mis gracieusement à ma disposition le matériel végétal que j'ai utilisé et pour les conseils qu'ils m'ont toujours donnés.

J'exprime ma reconnaissance aux docteurs Kouamé MIEZAN et Michael DINGKÜHN pour la bienveillance avec laquelle ils m'ont accueillie à la station rizicole de Ndiaye et pour leur conseils et encouragements.

Je témoigne toute ma gratitude au Professeur Amadou Tidiane BA de l'UCAD pour le soutien qu'il m'a toujours apporté et les conseils qu'il n'a pas cessé de me prodiguer.

Je tiens à remercier particulièrement Monsieur Nicolas DIALLO pour ses conseils éclairés lors de nos discussions souvent animées, tout au long de ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur Pape Ibra SAMB pour sa généreuse collaboration, sa rigueur dans l'exploitation des résultats et la confection du mémoire.

Mes remerciements vont également au Docteur Moussa SIE, pour les conseils qu'il m'a toujours donnés et pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de juger cette thèse.

J'associe à mes remerciements :

- *toute l'équipe de techniciens, administratifs et observateurs de la Station de Ndiaye, véritables artisans de ce travail,*
- *tous mes collègues et le personnel du département de biologie végétale pour m'avoir témoigné leur soutien, leur sympathie et leurs encouragements.*

J'aimerais remercier particulièrement Madame Marie José DELGADO pour la minutie, la rigueur et le soin avec lesquels elle a saisi ce mémoire.

Je ne saurais terminer cet avant-propos sans adresser mes plus vifs remerciements à mes parents et à tous ceux qui me sont chers.

Que mon oncle et ma tante trouvent ici le témoignage de mon affection et de ma profonde reconnaissance.

Enfin, je dédie ce travail à Marème, Maïmouna et Aziz pour la complicité qui nous lie et pour leur compréhension.

TABLE DES MATIERES

Introduction.....	1
Chapitre 1 - Revue bibliographique.....	3
I - Le riz.....	3
1 - Position taxonomique.....	3
2 - Origine.....	3
3 - Caractères morphologiques.....	4
4 - Exigences écologiques et physiologiques.....	4
5 - Importance économique.....	5
6 - Contraintes à l'intensification de la culture du riz au Sénégal.....	6
II - Réponses des plantes à la salinité.....	7
1 - Le stress salin.....	7
2 - Résistance et tolérance à la salinité : définition et stratégies.....	8
3 - Sensibilité du riz au sel.....	10
III - Utilisation de la sélection <i>in vitro</i> pour l'amélioration des plantes.....	10
1 - La régénération des plantes en culture <i>in vitro</i>	11
2 - La variation somaclonale.....	12
IV - La sélection pour la résistance à la salinité.....	13
1 - Sélection en conditions naturelles.....	13
2 - La culture <i>in vitro</i> comme moyen de sélection de variants résistants au sel.....	14
Chapitre 2 - Conditions générales de l'expérimentation, matériel et méthodes.....	16
I - Conditions de l'environnement dans le delta du fleuve Sénégal.....	16

II - Conditions générales de l'expérimentation.....	19
1 - Prémultiplication des semences.....	19
2 - Lits et mode de semis.....	19
III - Matériel et méthodes.....	21
1 - Matériel végétal.....	21
1.1 - Origine du matériel.....	21
1.2 - Choix du matériel et mode de sélection <i>in vitro</i>	21
1.3 - Choix du matériel pour les essais au champ.....	25
1.3.1 - Essai 1.....	25
1.3.2 - Essai 2.....	25
1.3.3 - Essai 3.....	26
2 - Méthodes.....	26
2.1 - Détermination des caractères agromorphologiques.....	26
2.1.1 - Echantillonnage au stade végétatif.....	27
2.1.2 - Echantillonnage à maturité pour les essais 1 et 2.....	27
2.1.3 - Echantillonnage à maturité pour l'essai 3.....	28
2.2 - Calcul de la réduction de rendement.....	29
2.3 - Mesures physiologiques.....	30
2.3.1 - La teneur en chlorophylles.....	30
2.3.1.1 - Principe de l'appareil de mesure.....	30
2.3.1.2 - Méthode de mesure.....	30
2.3.2 - Dosage des éléments minéraux.....	31
2.3.2.1 - Dosage de Na et K des feuilles.....	31
2.3.2.2 - Dosage de Na et K de la plante entière.....	32
2.4 - Détermination des caractères morphologiques <i>in vivo</i>	32
Chapitre 3 – Résultats.....	36
I - Comportement global simulé et individuel des différentes entrées soumises à l'action du sel en contre saison (essai 1) et en hivernage (essai 2).....	36

1 - Effet du sel.....	36
1.1 - Effet global du sel.....	36
1.2 - Effet du sel sur les différentes entrées.....	37
2 - Impact de la variation somaclonale.....	39
2.1 - Caractères agromorphologiques.....	39
2.1.1 - Comparaison des lignées issues de culture <i>in vitro</i> entre elles et avec IKP 1, la variété source.....	40
2.1.2 - Comparaison des lignées avec des témoins d'origines différentes.....	41
2.2 - Analyse de la réduction de rendement.....	44
2.3 - Caractères physiologiques.....	45
2.3.1 - Analyse de la chlorophylle.....	45
2.3.2 - Analyse de la teneur en ions Na.....	46
2.3.2.1 - Analyse de la teneur en Na des feuilles.....	46
2.3.2.2 - Teneur en Na et rapport K/Na en relation avec la teneur relative en chlorophylles au niveau des feuilles.....	47
2.3.2.3 - Teneur en Na au niveau de la plante entière.....	48
2.3.2.3.1 - Distribution de Na.....	48
2.3.2.3.2 - Teneur moyenne en Na au niveau de la plante entière.....	49
2.4 - Description de quelques caractères morphologiques <i>in vivo</i>	50
2.5 - Effet des saisons.....	52
II - Comportement de huit entrées testées pour leur valeur agronomique en contre saison (essai 3).....	53
1 - Caractères agromorphologiques.....	53
2 - Analyse de rendement.....	57
Chapitre 4 – Discussion.....	58
I - Comportement global simulé et individuel des différentes entrées soumises à l'action du sel en contre saison (essai 1) et en hivernage (essai 2).....	58
1 - Effet du sel.....	58

1.1 - Effet global du sel.....	58
1.2 - Effet du sel sur les différentes entrées.....	59
2 – Impact de la variation somaclonale.....	60
2.1 - Caractères agromorphologiques.....	60
2.1.1 - Comparaison des lignées issues de culture <i>in vitro</i> entre elles et avec IKP 1, la variété source.....	60
2.1.2 - Comparaison des lignées avec des témoins d'origines différentes.....	62
2.2 - Analyse de la réduction de rendement.....	63
2.3 - Caractères physiologiques.....	64
2.3.1 - Analyse de la chlorophylle.....	64
2.3.2 - Analyse de la teneur en ions Na.....	64
2.3.2.1 - Analyse de la teneur en Na des feuilles.....	64
2.3.2.2 - Teneur en Na et rapport K/Na en relation avec la teneur en chlorophylles au niveau des feuilles.....	64
2.3.2.3 – Teneur en Na au niveau de la plante entière.....	65
2.3.2.3.1 - Distribution de Na.....	65
2.3.2.3.2 - Teneur moyenne en Na au niveau de la plante entière.....	66
2.4 - Analyse de quelques caractères morphologiques <i>in vivo</i>	66
2.5 - Effet des saisons.....	67
II - Comportement de huit entrées testées pour leur valeur agronomique en contre saison (essai 3).....	68
Conclusion.....	69
Annexes	
Références.....	109

Noms : DIAW – SOW

Prénoms : Ndèye Thioro

Titre : Evaluation au champ et en conditions de salinité des performances agromorphologiques et physiologiques de lignées de riz *Oryza sativa* L. cultivar I Kong Pao (IKP) sélectionnées *in vitro* en présence de sel.

Mots clés : *Oryza sativa* L., sélection *in vitro*, variation somaclonale, résistance à la salinité.

Résumé : Au Sénégal, la salinité est, en dehors des maladies, la contrainte physique majeure dans la plupart des environnements de riziculture.

La salinité associée à d'autres contraintes du milieu menace la viabilité des systèmes de production et rend plus difficiles les programmes d'amélioration.

Si en Casamance, l'introduction de variétés résistantes au sel est la stratégie la plus appropriée, la désalinisation étant pratiquement impossible, dans le delta du fleuve Sénégal, il faut une approche intégrée, combinant l'application de techniques améliorées de gestion de l'eau et l'utilisation de variétés nouvelles présentant à la fois des caractères de résistance au sel et un potentiel de rendement élevé.

Dans cette recherche de variétés nouvelles, la culture de tissus végétaux constitue un outil puissant pour l'amélioration de la production.

A cet effet, des lignées de riz *Oryza sativa* L., cultivar IKP, sélectionnées *in vitro* en présence de sel, sont testées en plein champ, en conditions de salinité semi-contrôlées.

Toutes les lignées testées ont accompli la totalité de leur cycle en présence de sel.

Les caractères agromorphologiques et physiologiques ont subi des modifications quantitatives et qualitatives, plus ou moins importantes.

Sur les quinze lignées testées, cinq semblent améliorées par rapport à la variété source. Une des lignées, TS1 se distingue très nettement de toutes les autres à la fois par son adaptabilité en milieu salé et son potentiel de rendement. Elle semble de ce fait très prometteuse pour les conditions du delta du fleuve Sénégal.

Ces résultats montrent qu'il est possible d'obtenir des variants somaclonaux présentant des caractères physiologiques et agronomiques bien plus intéressants que la variété d'origine.

INTRODUCTION

Le riz assure une part importante de l'alimentation pour plus de la moitié de la population mondiale (Sun et Zheng, 1990). Environ 140 millions d'hectares sont consacrés à la culture du riz dans le monde, soit seulement 11 % de l'ensemble des terres arables (Swaminathan, 1984 ; FAO, 1985).

La consommation de riz dans les pays en développement ne cesse de croître, en raison d'une démographie galopante et de l'abandon progressif des denrées traditionnelles. Les superficies exploitables étant assez souvent en compétition avec d'autres cultures, il devient dès lors impératif d'étendre les surfaces de culture à des sols soumis à la sécheresse ou à d'autres contraintes environnementales (Bouharmont, 1981 ; Van Sint Jan, 1992).

En Afrique, la superficie rizicole représente 5 millions d'hectares (FAO, 1985) et l'Afrique de l'Ouest est la principale zone de production du riz avec 2.5 millions d'hectares (Mbodji, 1989). Selon ce même auteur, la culture du riz est pratiquée pour 80 % dans des rizières sans maîtrise de l'eau. Les variétés qui sont cultivées offrent un potentiel de rendement moyen et répondent de façon médiocre à l'apport d'intrants améliorés tels que les engrais, les insecticides et les herbicides (Jones et Adesina, 1991).

Pour compenser les longues périodes de sécheresse, l'effet de la courte durée de la saison des pluies (trois à quatre mois) et atténuer le déficit alimentaire croissant (lié à une croissance démographique de 3 % par an) (Bertrand *et al.*, 1995), l'agriculture irriguée est apparue comme une solution essentielle dans le Sahel ouest africain, zone semi-aride située entre 14 et 18° de latitude nord, dans la partie occidentale de l'Afrique (Le Houérou, 1989). La riziculture irriguée a été introduite dans cette zone dans les années 1920 par les pouvoirs coloniaux. Cependant, c'est surtout après la grande sécheresse des années 1970 qu'une grande priorité lui a été accordée pour atteindre l'autosuffisance et la sécurité alimentaires (Sally, 1995). Cette stratégie visait à réduire la pauvreté et assurer une meilleure santé aux populations (Kongs et Verlé, 1995). Les superficies irriguées du Sahel constituent actuellement l'environnement rizicole le plus vaste de l'Afrique de l'Ouest (ADRAO, 1993).

Au Sénégal, le riz est cultivé sur 25 000 ha en parcelles irriguées dans la vallée du fleuve Sénégal (Bélières *et al.*, 1995) et sur 57 000 ha en riziculture pluviale ou aquatique (submergée) sans maîtrise de l'eau en Casamance (Mbodji, 1989). Cependant, le delta du fleuve Sénégal représente, au niveau national, la zone où l'intensification culturale est la plus élevée avec notamment la riziculture irriguée comme activité principale. Cette intensification devrait permettre une augmentation de la production agricole, mais cette dernière demeure peu significative du fait de contraintes du milieu parmi lesquelles la salinité sodique du delta occupe une place prépondérante (Ndiaye, 1987).

La salinité élevée des sols due essentiellement au chlorure de sodium affecte le tiers des terres irriguées à l'échelle mondiale et constitue un facteur limitant prépondérant de la production végétale dans les zones arides (Tal, 1985 ; Hasegawa *et al.*, 1986). Dans le Sahel, elle constitue l'un des problèmes majeurs qui affectent les systèmes de production de riz irrigué (Asch, 1995). Certains cultivars de riz bien que tolérant le sel, présentent le plus souvent un rendement et une qualité de grains faibles. A l'inverse, les cultivars qui ont des rendements élevés et une bonne qualité de grains sont extrêmement sensibles au sel (Kannan et Ramani, 1987).

Un contrôle durable de la salinité dans le Sahel, dans l'optique d'un accroissement de la production rizicole, nécessite des technologies d'au moins deux natures :

- des méthodes de gestion de l'eau dans les périmètres permettant d'éliminer les sels importés par l'eau d'irrigation,
- une création de variétés à haut rendement tolérant une salinité modérée sans perte significative de rendement avec un cycle adapté aux conditions locales et une qualité de grains répondant aux préférences des consommateurs (Dingkuhn *et al.*, 1992 ; Miezán, 1992).

Le présent travail s'inscrit dans la perspective de cette recherche d'individus nouveaux ayant des caractéristiques intéressantes. Il vise à évaluer, dans les conditions de la riziculture irriguée de la zone du delta du fleuve Sénégal, les performances agromorphologiques et physiologiques de lignées de riz *Oryza sativa* L. var. I Kong Pao (IKP) sélectionnées *in vitro* sur milieu salé, à estimer l'impact de la variation somaclonale induite et à identifier les variants qui présenteraient des caractéristiques agronomiques plus intéressantes que la variété dont elles sont issues.

CHAPITRE 1

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I - LE RIZ

1 - Position taxonomique

Le riz est une angiosperme, monocotylée, autogame. Il appartient à la famille des *Poaceae*, à la sous-famille des *Oryzoideae* et au genre *Oryza* (Angladette, 1966). Ce genre comprend une vingtaine d'espèces dont deux seulement, *Oryza sativa* L. et *Oryza glaberrima* Steud, sont cultivées (Sun et Zheng, 1990).

2 - Origine

Oryza glaberrima Steud est originaire d'Afrique et sa domestication remonterait à 3500 ans (Swaminathan, 1984). Cependant, sa culture recule en Afrique par rapport à celle de *Oryza sativa* L. qui l'a progressivement supplantée, grâce à sa diversité génétique et à son potentiel de rendement plus grands. *Oryza sativa* L. est devenue, de ce fait, la culture principale de tous les environnements rizicoles d'Afrique (Bouharmont, 1981 ; Dingkühn *et al.*, 1992).

Oryza sativa L. est originaire du sud est asiatique et sa domestication remonterait à 7000 ans (Swaminathan, 1984). La grande majorité des riz cultivés appartiennent à cette espèce. Elle s'est différenciée en trois sous-espèces, *indica*, *japonica* (*sinica*), *javanica* qui correspondent à trois écotypes différents :

- la sous-espèce *indica* est caractéristique des régions continentales (Inde, Indonésie, sud et centre de la Chine),

- la sous-espèce *japonica*, des régions tempérées (Japon, Corée),
- la sous-espèce *javanica* des régions tropicales (Java), selon Takahashi (1984).

Outre leur adaptation spécifique au climat, les trois sous-espèces diffèrent par les caractéristiques du grain, la teneur en amylose et le comportement face aux tests phénoliques (Swaminathan, 1984).

Oryza sativa L. compte à ce jour près de 120.000 variétés qui sont le résultat de recombinaisons, de sélections successives et qui ont été améliorées considérablement au cours du temps (Van Sint Jan, 1992).

3 - Caractères morphologiques

Le riz a une tige creuse, à section arrondie, pourvue de nœuds pleins. Les feuilles sont distiques, munies d'une ligule et d'une gaine ouverte. Chaque tige est produite à partir d'un plateau de tallage et surmontée d'une inflorescence complexe qui est une panicule d'épillets. Chaque épillet comporte un axe court portant à sa base deux glumes réduites surmontées de trois fleurs dont une seule, la fleur terminale est fertile. La lemme et la paléole de cette fleur sont bien développées. Cette fleur est composée d'un périlanthe réduit à deux lodicules rattachés à la base de la paléole, d'un androcée à deux verticilles de trois étamines alternes et d'un gynécée constitué d'un pistil à un carpelle unique surmonté de trois stigmates. Le fruit est un caryopse (Angladette, 1966 ; Evrard, 1989).

4 - Exigences écologiques et physiologiques

Le riz s'adapte à des conditions écologiques variées. Les températures les plus propices (exprimées par la somme des températures moyennes journalières) sont pour les variétés tardives (cycles de 150 à 260 jours) comprise entre 4400 et 6000° C, alors que 3500° suffisent pour les variétés précoces (cycle de 90 à 140 jours). Cependant, les températures critiques varient selon les divers stades de développement de la plante (Louant, 1986 ; Dingkühn, 1991).

Par rapport à la photopériode, *Oryza sativa* L. qui à l'origine était une espèce de jours courts, renferme aujourd'hui des variétés rendues insensibles à la photopériode et de ce fait cultivables à différentes latitudes (Louant, 1986). C'est la situation rencontrée dans le Sahel, où la longueur du jour varie de plus ou moins

une heure : les variétés de riz sous irrigation présentent une faible réponse à la photopériode (Dingkühn, 1991)

En riziculture pluviale, la pluviométrie est un élément déterminant. Une irrigation adéquate doit être prévue pour pallier les insuffisances en eau ou la mauvaise répartition des pluies (Lacroix, 1993). En riziculture irriguée, le régime pluviométrique n'influe qu'indirectement sur le calendrier cultural au travers du flux saisonnier des cours d'eau et là où l'accès à l'eau d'irrigation est continu, ce sont essentiellement les températures saisonnières qui sont déterminantes (Dingkühn, 1991).

Le riz ne fixe pas l'azote atmosphérique mais les sols submergés sur lesquels on le cultive le plus souvent favorisent le développement d'organismes capables de fixer l'azote de l'air (bactéries fixatrices d'azote libres ou en symbiose avec *Azolla*, fougère aquatique) (Bouharmont, 1984 ; Swaminathan, 1984).

5 - Importance économique

Le riz est très important dans l'alimentation de l'homme, surtout dans les zones où la démographie est importante (zone tropicale et subtropicale) (Takahashi, 1984). Cependant, le niveau de la production progresse beaucoup moins vite que celui de la consommation.

Dans le Sahel, entre les années 1960 et 1980 la production totale de riz n'a augmenté que de 0.04 % alors que la consommation progressait de 5 % par an (Dingkühn, 1991) du fait de la croissance démographique.

Le Sénégal et la Mauritanie, pays côtiers à l'extrême ouest du Sahel, sont les plus grands consommateurs de riz (Nyanteng, 1987).

Au Sénégal, le riz constitue la base de l'alimentation et participe à de multiples usages culinaires. Le volume de consommation est estimé à 360.000 t pour l'année 1992 (CPSP, 1992). En dépit d'une expansion récente des superficies irriguées, suite notamment à l'édification de barrages, l'écart entre la production et la consommation locales reste encore important. Les importations qui permettent de combler cet écart, contribuent de manière significative au déficit de la balance commerciale du pays.

6 - Contraintes à l'intensification de la culture du riz au Sénégal

Le bas niveau de production locale du riz est lié à plusieurs facteurs dont les contraintes socio-économiques, les techniques culturales, les températures extrêmes, les vents forts, les ravageurs (insectes, maladies cryptogamiques, infestations d'adventices). Mais les contraintes majeures sont liées à la salinisation des sols due à la fois à la sécheresse et à l'invasion de la langue salée.

La salinité des sols et de l'eau est devenue l'une des contraintes édaphiques les plus importantes dans les environnements de riziculture. En Casamance, les systèmes de production du riz sont généralement de type traditionnel, à faible niveau d'intrants et n'offrent que peu de possibilités d'amélioration, mais il n'en demeure pas moins que la salinité des sols de l'estuaire du fleuve Casamance reste le principal facteur limitant la production.

Dans le delta du fleuve Sénégal, la riziculture irriguée subit aussi d'énormes contraintes liées aussi bien aux technologies qu'au choix des variétés utilisées dans les zones irriguées dont la plupart est importée d'Asie. Les sels importés par les eaux d'irrigation doivent être drainés pour empêcher la salinisation de la couche superficielle. De plus, la nappe phréatique est très salée, et le sel accumulé dans le sous sol a tendance à remonter.

Des actions conjuguées, telles que l'amélioration des pratiques culturales (calendriers culturaux, double culture), la maîtrise des bonnes techniques d'irrigation (conditions optimales d'irrigation et de drainage) sont à mener mais en parallèle avec la désalinisation des sols et l'introduction de variétés à haut rendement et tolérant des doses modérées de sel.

Les variétés résistantes à la salinité sont un élément essentiel à intégrer dans les systèmes de production (Ashraf et Waheed, 1993). Dans les zones où un certain niveau de salinité ne peut être évité et parce que le processus de régénération des sols est coûteux, ces variétés pourront apporter rapidement des revenus aux paysans (Asch, 1995). La salinité, facteur important parmi les contraintes à l'intensification de la culture du riz, mérite dès lors une attention particulière.

II – REPONSES DES PLANTES A LA SALINITE

1 - Le stress salin

Un stress *sensu stricto* est l'ensemble des perturbations biologiques provoquées par une agression quelconque sur un organisme. Selon Levitt (1980), c'est un facteur de l'environnement induisant une contrainte potentiellement néfaste sur un organisme vivant. D'après Selye cité par Kalaji et Pietkiewicz (1993), c'est l'état de tout ou partie de la plante affecté par une action externe très forte. Ainsi cette notion inclut aussi bien l'agent que l'état de l'agression.

La salinisation peut avoir une origine naturelle : faibles précipitations, évaporation intense, existence d'une roche mère salée (Forster *et al.*, 1990 ; Kalaji et Pietkiewicz, 1993). Elle peut aussi provenir d'une eau d'irrigation saumâtre voire même de l'utilisation excessive d'engrais (Forster *et al.*, 1990 ; Binzel et Reuveni, 1994).

La salinité déclencherait selon Binzel et Reuveni (1994), un stress environnemental très significatif chez les plantes cultivées. Cependant, son action est extrêmement variable (Yeo et Flowers, 1984 a ; Asch *et al.*, 1995). Ce type de stress est essentiellement du au NaCl en conditions naturelles (Wong *et al.*, 1986 ; Bouharmont et Dekeyser, 1989 ; Sun et Zheng, 1990). L'accumulation de sels à la surface du sol est caractéristique des zones arides et semi-arides, surtout là où l'irrigation est pratiquée (Ashraf, 1994).

La salinité affecterait de plusieurs manières la croissance de la plante soit en diminuant la disponibilité en eau, soit en provoquant une accumulation des ions à des doses toxiques (Shannon, 1985 ; Singh et Sharma, 1993 ; Ashraf, 1994). Le stress de salinité est, en partie, un stress nutritionnel résultant des effets néfastes de Na^+ et Cl^- , de l'interférence de ces ions avec l'absorption d'éléments physiologiquement essentiels tels que K^+ , et enfin du stress hydrique (Orton, 1980 ; Erdei *et al.*, 1990 ; Dingkühn *et al.*, 1992 ; Karim *et al.*, 1992 ; Watanabe *et al.*, 1992 ; Momonoky *et al.*, 1994 ; Awada *et al.*, 1995 ; Cerda *et al.*, 1995).

Le rôle des ions dans les plantes confrontées au stress de salinité a été largement étudié du fait que l'absorption d'ions, principalement Na^+ , non requis pour le déroulement normal des processus biologiques dans la plupart des cas (Rains, 1972), est un critère important de sélection pour l'analyse de la tolérance à la salinité (Flowers *et al.*, 1977 ; Greenway et Munns, 1980).

2 - Résistance et tolérance à la salinité : définition et stratégies

D'une manière générale, les plantes ont besoin d'une certaine quantité d'ions sous forme de sels pour leur croissance mais la concentration optimale au niveau racinaire est relativement basse pour la plupart des plantes cultivées, de l'ordre de 10^{-3} mM ou même moins (Kalaji et Pietkiewicz, 1993). Pour ces auteurs, des concentrations supérieures, même pour des sels essentiels, induiraient un stress. Par rapport au NaCl la plupart des plantes cultivées sont des glycophytes et la réponse la plus fréquente de ces plantes, face à la salinité, est une réduction de leur croissance (Wataad et al., 1991 ; Levigneron et al., 1995). Cependant, le seuil de concentration en sels qui induirait une réduction de croissance et le degré de réduction de cette croissance varient considérablement d'une plante à l'autre. De même, dans une même plante, la réponse face à la salinité varie avec les stades de développement (Maas, 1993).

La résistance à la salinité est décrite comme le niveau auquel une croissance et un métabolisme normaux peuvent être maintenus dans des conditions non optimales liées à un environnement salé (Yeo et Flowers, 1983).

Levitt (1980) utilise le terme "résistance à la salinité" dans un sens large qui comprend :

- la tolérance, quand les plantes répondent à la salinité en compartimentant les sels dans leurs vacuoles, ou en excréant ces sels par des cellules spéciales (glandes salines),
- l'évitement, quand les plantes évitent le stress salin en maintenant la concentration en sels de leurs cellules inchangée par dilution ou exclusion du sel.

Cependant, Lutts (1996) considère que dans les conditions de stress liées à la salinité, la résistance constitue l'expression phénotypique ultime d'un ensemble de propriétés physiologiques, biochimiques et morphologiques complexes susceptibles de présenter entre elles de nombreuses interactions.

Néanmoins le terme "tolérance à la salinité" est plus usité et définit la capacité de la plante à conserver les principaux processus physiologiques durant la phase végétative, et à effectuer de manière satisfaisante son cycle de développement, dans des milieux salés, particulièrement par le NaCl (Kalaji et Pietkiewicz, 1993 ; Ashraf, 1994). Ce processus serait lié soit à l'accumulation des

ions dans les cellules pour assurer un ajustement osmotique ou à leur exclusion (Ashraf, 1994). Cependant, les mécanismes qui déterminent ce processus sont encore très peu connus (Zidan *et al.*, 1992). Du reste, la tolérance à la salinité serait probablement due à l'expression de plusieurs gènes (Shannon, 1985).

De façon générale, la tolérance à la salinité semble dépendre conjointement de l'efficacité de l'élimination des sels en excès dans des organes spécialisés ou sénescents (Dingkuhn *et al.*, 1992) et de la restriction de l'entrée des ions sodium (Yeo et Flowers, 1983).

Chez les céréales l'exclusion du sodium des feuilles peut être considéré comme un mécanisme de tolérance. En effet, le degré de tolérance à la salinité de bon nombre d'espèces céréalières est inversement corrélé à la concentration des ions Na^+ dans les feuilles (Omielan *et al.*, 1991 ; Schachtman *et al.*, 1991). En revanche, en conditions de salinité élevée, la concentration de Na^+ dans les pousses est un facteur important dans la détermination des limites de la tolérance à la salinité des cultivars (Akita et Cabuslay, 1990).

D'autres auteurs sont cependant plus nuancés, quant à la corrélation positive entre la capacité d'exclusion des ions et la tolérance à la salinité à l'intérieur de l'espèce (Ashraf et O'leary, 1994). En effet une variabilité génétique importante parmi les cultivars d'une même espèce a été signalée. Par exemple chez le riz, Greenway et Munns (1980), ont noté qu'un cultivar tolérant à la salinité accumulait peu de sodium dans ses feuilles tandis qu'un autre tolérant avait une teneur élevée en cet élément. De même, chez le maïs, deux variétés, l'une tolérante, l'autre sensible au sel avaient les mêmes concentrations en ions dans leurs feuilles (Lessani et Marschner, 1978). Ashraf et Waheed (1993) constatent le même phénomène chez le pois chiche (*Cicer arietinum* L.).

Par ailleurs, la discrimination entre cations, notamment K^+ et Na^+ , et leur transport au sein des plantes figurent parmi les facteurs déterminant la tolérance à la salinité (Binet, 1980 ; Stavarek et Rains, 1983 ; Yeo et Flowers, 1983 ; Fageria, 1985 ; Wyn Jones et Gorham, 1989 ; Dingkuhn *et al.*, 1992 ; Aslam *et al.*, 1993 ; Lutts, 1996). Ces processus sont régis par les propriétés physiologiques des racines et modulés par le taux de transpiration de la plante (Dingkuhn *et al.*, 1992). Ils font intervenir également des pompes ioniques, C'est ainsi que selon Omielan *et al.*, (1991), l'absorption sélective de K^+ par les racines ou l'élimination de Na^+ des tissus actifs sur le plan métabolique sont des facteurs importants de tolérance à la salinité. Un rapport K/Na élevé est un des caractères très souvent considérés comme déterminant la tolérance à la salinité en conditions arides (Dingkuhn *et al.*, 1992).

Une préférence pour K^+ dans des conditions de concentrations élevées de sel serait un paramètre utile et un bon critère de sélection pour la tolérance à la salinité (Flowers *et al.*, 1977 ; Storey et Wyn Jones, 1979 ; Wyn Jones *et al.*, 1984 ; Wolf *et al.*, 1991 ; Cuartero *et al.*, 1992).

La discrimination entre Na^+ et K^+ pourrait être en relation aussi bien avec l'efficacité de l'utilisation de l'eau et la tolérance à la sécheresse, qu'avec les mécanismes de tolérance à la salinité comme c'est le cas chez des variétés d'*Atriplex canescens* (Glenn *et al.*, 1992).

3 - Sensibilité du riz au sel

Le problème de la salinisation est d'autant plus ardu dans le cas de la riziculture que *Oryza sativa* est une espèce cultivée sensible au sel (Aslam *et al.*, 1989). Dans l'échelle de Maas et Hoffman cités par Fageria (1985), le degré maximum de salinité que le riz peut supporter sans perte de rendement correspond à une conductivité électrique de 3 dS m^{-1} à 25° C . Cependant, à l'intérieur de l'espèce, la réponse à la salinité est très variable du fait de l'hétérogénéité, notamment chez des cultivars élites (Yeo *et al.*, 1988).

Cependant, même si le riz est sensible au sel, son statut semi-aquatique lui permet de s'accommoder de la mauvaise structure des sols salins et de pouvoir supporter une eau stagnante qui, du reste, dilue les sels dans ces sols (Verma et Neue, 1984 ; Shah *et al.*, 1987).

III - UTILISATION DE LA SELECTION *IN VITRO* POUR L'AMELIORATION DES PLANTES

L'amélioration des plantes est une exigence fondamentale dans la recherche de l'accroissement des potentialités des végétaux. Le principe de l'amélioration est de toujours créer au sein des individus de départ des variations qui permettent d'élargir les populations et d'augmenter la productivité (Bajaj, 1991). Les méthodes classiques dont dispose le sélectionneur dans le cas du riz sont : la sélection massale, la sélection de lignées pures, les croisements, la sélection généalogique, le back-cross et la méthode des populations hybrides (Bouharmont, 1981). Cependant l'amélioration conventionnelle demande de longues périodes et de grandes superficies pour réaliser les essais en champs.

L'amélioration par les cultures *in vitro* est un outil nouveau par rapport aux méthodes classiques mais il convient de l'intégrer dans les stratégies conventionnelles d'amélioration (Miller *et al.*, 1991). Ces techniques nouvelles d'amélioration suscitent un intérêt croissant et peuvent servir de compléments aux techniques traditionnelles, là où celles-ci deviennent difficiles ou inopérantes, parce qu'elles facilitent la détection précoce des mutants parmi les populations de cellules (Bouharmont, 1981 ; 1992).

L'utilisation de la sélection *in vitro* pour l'amélioration des plantes implique :

- une très bonne régénération des plantes à partir de cultures de cellules ou de tissus (Wong *et al.*, 1986 ; Abe et Futsuhara, 1989) ;
- l'existence d'une variation somaclonale permettant d'augmenter la variabilité au sein des populations de départ (Larkin et Scowcroft, 1981 ; Evans et Sharp, 1986 ; Evans, 1989) ;
- l'expression, au niveau de la plante entière, des caractères exprimés au niveau cellulaire (Lutts, 1996) ;
- une intégration aux programmes conventionnels d'amélioration des plantes.

Les caractères exprimés peuvent ne pas être intéressants agronomiquement (obtention d'une plante résistante mais stérile). Les performances agronomiques d'un cultivar issu de culture de tissus sont essentielles pour sa commercialisation ou son utilisation comme parent dans un programme d'hybridation (Miller *et al.* 1991).

1 - La régénération des plantes en culture *in vitro*.

L'une des caractéristiques fondamentales de la culture *in vitro* réside dans le fait que certains organes ou parties de la plante mis en culture dans des milieux appropriés peuvent régénérer des plantes entières. Grâce à la totipotence cellulaire, les organes ou parties de plantes développent des cals, structures jaunâtres, d'aspect cotonneux et compact, qui peuvent régénérer des plantes entières par embryogenèse somatique (Nabors *et al.*, 1983 ; Novak *et al.*, 1983 ; Siriwardana et Nabors, 1983 ; Chandler et Vasil, 1984 ; Furmanowa *et al.*, 1984 ; Liu et Cantliffe, 1984 ; Lu *et al.*, 1984 ; Takahashi *et al.*, 1984 ; Gray et Conger, 1985 ; Radojevic, 1985 ; Torello *et al.*, 1985 ; Abdullah *et al.*, 1986 ; Goldstein et Kronstad, 1986).

Cependant, chez certaines espèces, les plantes régénérées présentent de grandes variations les unes par rapport aux autres et par rapport aux plantes dont elles sont issues (Bajaj et Bidani, 1980 ; Scowcroft *et al.*, 1983 ; Buiatti, 1989 ; Evans, 1989 ; Bouharmont *et al.*, 1990 ; Sun *et al.*, 1991). Cette importante variation est intéressante pour l'obtention d'individus présentant des caractéristiques nouvelles (Breiman *et al.*, 1987). Ces caractéristiques, bien qu'intéressantes, doivent cependant venir s'ajouter à celles déjà présentes chez l'individu, pour que l'ensemble se traduise par une amélioration globale des potentialités de la plante.

Cette importante variation dénommée variation somaclonale (Larkin et Scowcroft, 1981) peut être conservée chez les plantes régénérées à partir de cultures de cellules ou de tissus somatiques *in vitro*.

2 - La variation somaclonale.

Parmi les techniques utilisées pour l'obtention de variants somoclonaux, l'embryogenèse somatique occupe une place de choix. En effet, les plantes régénérées par embryogenèse somatique proviennent d'une ou d'un nombre restreint de cellules (Liu et Cantliffe, 1984 ; Magnusson et Bornman, 1985 ; Evans, 1989 ; Jones et Rost, 1989). Cette origine cellulaire réduit énormément le risque d'obtention de chimères (Breiman *et al.* 1989 ; Shimron-Abardanell et Breiman, 1991 ; Chowdhury et Vasil, 1993 ; Chowdhury *et al.*, 1994 ; Vasil, 1995). Ces plantes sont génétiquement stables mais pas forcément identiques (Evans, 1989). Cependant, la régénération par embryogenèse somatique directe chez le riz n'induisant pas de variation somaclonale (Sticklen, 1991), le passage par un stade cal est toujours nécessaire (Dekeyser *et al.*, 1988 ; Van Sint Jan, 1992 ; Bertin 1995 ; Lutts., 1996).

Les causes de la variation somaclonale sont encore aujourd'hui mal connues. Cette variation serait pour une grande partie, de nature épigénétique et donc non transmissible à la descendance (Maliga, 1984 ; Demarly, 1986 ; Krishnaraj et Sreerangasamy, 1993). Cependant, elle pourrait aussi provenir d'une modification du génome au cours des cultures (Chaleff, 1983 ; Lee et Phillips, 1988 ; Wersühn, 1989 ; Sibi, 1990 ; Krishnaraj et Sreerangasamy, 1993 ; Skirvin *et al.*, 1994) et serait ainsi transmise par méiose. Plusieurs auteurs pensent qu'elle proviendrait aussi de la dérégulation de certains gènes (Sun *et al.*, 1983), de modifications du caryotype (aneuploïdie, polyploïdie) (Larkin et Scowcroft, 1981 ; Galiba *et al.*, 1985 ; Davies *et al.*, 1986), de mutations ponctuelles, de réarrangements chromosomiques (délétions, translocations, duplications), de phénomènes

d'amplification de gènes, ou d'activation d'éléments transposables (Evans *et al.*, 1984 ; Karp *et al.*, 1987 ; Zheng *et al.*, 1987 ; Brown, 1989 ; Larkin *et al.*, 1989).

Beaucoup de caractères morphologiques et physiologiques modifiés ont été recensés chez des variants somaclonaux de riz et de blé dont les plus importants sont : la taille et l'architecture de la plante, le nombre de talles par plante, le nombre de talles fertiles, la précocité, la stérilité mâle, la composition chimique des caryopses, la tolérance à la sécheresse, à la salinité, au froid, à l'aluminium, au cadmium et la résistance à diverses maladies (Henke *et al.*, 1978 ; Larkin et Scowcroft, 1981 ; Schaeffer *et al.*, 1984 ; Galiba *et al.*, 1985 ; Nabors et Dykes, 1985 ; Li et Chen, 1987 ; Ryan *et al.*, 1987 ; De Buyser, 1988 ; Sun *et al.*, 1991 ; Guenzi *et al.*, 1992 ; Qureshi *et al.*, 1992 ; Van Sint Jan, 1992 ; Adkins, 1995 ; Bertin, 1995 ; Lutts, 1996).

Les conditions contrôlées de la culture *in vitro* présentent des avantages certains (durée de sélection réduite et dans un espace restreint) par rapport au milieu naturel mais elles ne constituent pas l'environnement idéal pour tester les potentialités globales des variants somaclonaux obtenus dans ce cadre. Les populations doivent par exemple être cultivées dans les conditions du champ, pour mieux évaluer des caractères quantitatifs tels que le rendement (Evans, 1989 ; Earle et Kuehnle, 1990). Il est donc nécessaire d'installer ces individus dans un milieu réel avec la même pression de sélection qu'au laboratoire. Miller *et al.* (1991) notent, cependant, que les tests en milieu réel doivent se faire dans plusieurs types d'environnements.

De nombreuses études ont été faites pour l'obtention de variants somaclonaux, mais les applications pratiques en milieu réel sont encore fragmentaires (Ogura *et al.*, 1987 ; Rowland *et al.*, 1988 ; Waskom *et al.*, 1990 ; Miller *et al.*, 1991) et particulièrement dans le cas du riz.

IV - SELECTION POUR LA RESISTANCE A LA SALINITE

1 - Sélection en conditions naturelles.

La sélection en conditions naturelles pour la tolérance à la salinité est complexe. La fertilité du sol, l'irrigation, les méthodes de gestion de l'eau, le type de salinité, l'espèce, le stade de développement de la plante, les conditions du milieu (température, humidité, microclimat à l'intérieur des parcelles) sont autant de facteurs qui entrent en jeu et rendent cette sélection très difficile (Richards

1983 ; Ponnamparuma, 1984 ; Fageria, 1985 ; Akbar, 1986 ; Cabuslay et Akita, 1986 ; Aslam *et al.*, 1988 ; Aslam *et al.*, 1993).

Par ailleurs, la sélection pour la tolérance à la salinité *sensu stricto* résulte souvent de facteurs physiologiques et biochimiques mal définis (Yeo et Flowers, 1986 ; Ashraf, 1994). Beaucoup de facteurs de l'environnement interagissent également avec l'expression de la tolérance à la salinité notamment au plan physiologique. Ainsi, pour toute amélioration de la tolérance à la salinité en conditions naturelles, l'existence d'une variabilité de l'espèce revêt une grande importance (Ashraf et Waheed, 1993). Cependant, cette tolérance ne doit pas concerner uniquement la salinité, mais doit aussi intégrer d'autres caractéristiques de l'environnement comme la submersion des sols, leur mauvaise aération, leur structure physique, les déséquilibres nutritionnels etc... (Ashraf, 1994).

Le climat peut également influencer fortement la réponse de la plante à la salinité. La salinisation du sol est généralement accrue dans des conditions climatiques où l'évaporation est plus importante que les précipitations et dans les zones côtières sujettes à des marées (Fageria, 1985). En conditions arides, le stress salin est combiné à la sécheresse de l'air qui crée un déficit hydrique important. C'est pourquoi dans le Sahel, les variétés de riz sélectionnées pour la salinité doivent aussi tolérer des températures extrêmes, avoir un cycle d'une durée appropriée pour les conditions thermopériodiques et photopériodiques, supporter l'harmattan (Dingkuhn *et al.*, 1992). De nombreux facteurs doivent ainsi être considérés pour étudier leurs effets sur les potentialités globales des variétés sélectionnées.

2 - La culture *in vitro* comme moyen de sélection de variants résistants au sel

La culture *in vitro* rend possible une sélection dans des conditions homogènes, ce qui est difficile voire impossible en conditions naturelles.

La sélection pour la tolérance aux stress abiotiques tels que le froid, la sécheresse ou différents sels, revient à exposer les tissus des plantes dont la résistance est recherchée à ces stress. Un des avantages de la sélection au niveau tissulaire est que, en principe, seules les cellules qui sont capables de résister à ces pressions de sélection seront isolées (Rowland *et al.*, 1988 ; Buiatti, 1989). Ces cellules permettent ainsi l'obtention précoce de variants somaclonaux présentant les caractéristiques recherchées et susceptibles de régénérer des plantes tolérantes à ces pressions (Orton, 1980 ; Warren *et al.*, 1985 ; Woo *et al.*, 1985 ; Bouharmont *et al.*, 1990 ; Waskom *et al.*, 1990 ; Van Sint Jan *et al.*, 1991).

La pression de sélection doit être très forte pour éliminer dans une population variable tous les individus sauf les plus tolérants (Ashraf, 1994). Mais comme le note Lutts (1996), le choix des critères de sélection est très important car une plante sélectionnée peut être résistante au sel, accomplir l'ensemble de son cycle de développement en présence de sel mais devenir stérile ou peu productive au niveau du rendement, ou encore peu intéressante par rapport à la qualité du grain.

Plusieurs caractères doivent être réunis en plus de la résistance à la salinité. La sélection *in vitro* fournit rarement plus d'un ou deux de ces caractères (Vuylsteke *et al.*, 1991), fait disparaître d'autres dans le processus de sélection et finalement peut même aller à l'encontre du système parfaitement intégré et équilibré que représente la plante entière.

La sélection *in vitro* pour la tolérance à la salinité a été utilisée avec succès chez plusieurs espèces, telles que : *Nicotiana tabacum* (Nabors *et al.*, 1980), *Hordeum vulgare* (Ye *et al.*, 1987), *Poncirus trifoliata* (Beloualy et Bouharmont, 1991), *Lycopersicum* (Rus-alvarez *et al.*, 1993) et *Oryza sativa* (Flowers *et al.*, 1985 ; Janardhan Reddy et Vaidyanath, 1985 ; Krisnaraj et Sreerangasamy, 1993 ; Lutts, 1996).

L'intérêt de la sélection *in vitro* est qu'elle se fait en conditions contrôlées, mais pour l'améliorateur, il est indispensable de tester les performances globales des individus, qui prennent en compte toutes les composantes de l'environnement auquel ils seront confrontés.

La sélection puis l'étude physiologique au champ sont donc nécessaires pour corriger les défauts inhérents au système *in vitro* et pour bien exploiter la variabilité génétique afin de faciliter son utilisation dans les programmes conventionnels d'amélioration (Waskom *et al.*, 1990 ; Miller *et al.*, 1991).

CHAPITRE 2

CONDITIONS GENERALES DE L'EXPERIMENTATION, MATERIEL ET METHODES

I - CONDITIONS DE L'ENVIRONNEMENT DANS LE DELTA DU FLEUVE SENEGAL

Les écosystèmes rizicoles du Sahel présentent une grande diversité en raison surtout d'une grande variabilité climatique et saisonnière, mais les principales contraintes environnementales limitant les rendements sont les fluctuations des températures, la salinisation des sols, les infestations d'adventices et les dégâts des oiseaux granivores. Bien que la longueur du jour varie de plus ou moins une heure, les variétés de riz dans le Sahel sous irrigation présentent une faible réponse à la photopériode (Dingkühn et Miezan, 1991).

Le delta du fleuve Sénégal est caractérisé par des sols argileux à pH neutre ou alcalin et pauvres en matières organiques et azotées (Le Brusq, 1980 ; Loyer, 1989). Ces sols sont très affectés par la salinité à cause de la proximité de la mer. La nappe phréatique est très salée et le sel a tendance à remonter avec l'irrigation. Le niveau de salinité est variable dans l'espace et dans le temps. L'eau d'irrigation disponible dans les périmètres du delta a une faible teneur en sels (conductivité électrique (CE) de 0.01 à 0.05 mS cm⁻¹). Cependant, même sur des sols non salés, l'évaporation et la remontée des sels par capillarité entre deux cultures peuvent conduire à une accumulation de sels dans la couche superficielle d'où la nécessité de bien lessiver les rizières au début de chaque saison. La CE de l'eau évacuée peut alors atteindre 18 mS cm⁻¹, ce qui correspond à quatre fois la concentration létale pour le riz dans la zone du delta. Les paysans se contentent souvent d'évacuer les eaux d'irrigation mais ne drainent pas à fond ce qui élève la salinité de la couche superficielle du sol et celle de la lame d'eau (Dingkühn et *al.*, 1992).

Deux saisons caractérisent cette zone du delta pendant lesquelles le riz est cultivé. L'hivernage qui dure de juillet à novembre, est marqué par une humidité de

l'air élevée (> 65 %), de grandes précipitations annuelles et des températures de l'air entre 22° et 40°C. Pendant la contre saison (de décembre à juillet), où l'humidité de l'air est faible (entre 15 et 70%), il n'y a pratiquement pas de pluie et les températures de l'air varient entre 10° et 45°C (Asch, 1995 ; Asch *et al.*, 1995). En contre saison, l'harmattan vent sec, chargé de poussière, soufflant de décembre à juin, réduit considérablement les rendements (Dingkühn, 1991).

De décembre à janvier, les températures minimales peuvent descendre en dessous de 12° C. Ces baisses de températures sont très néfastes sur le développement du riz surtout aux stades juvénile et reproducteur (Dingkühn, 1991).

La double culture de riz dans le Sahel subit d'énormes contraintes climatiques qui affectent, même en dehors de tout autre stress, la physiologie de la plante (Asch, 1995). Cette double culture reste cependant la technologie recommandée dans la zone sahélienne afin d'accroître la production par unité de surface et de maximiser la rentabilité des investissements fort coûteux de l'irrigation (Miezan, 1991).

Dans le Sahel, malgré un très fort rayonnement solaire favorable à la culture du riz et à un bon potentiel de rendement, la pluviométrie est faible (100 à 800 mm an⁻¹) (Dingkühn et Miezan, 1991) et l'évapotranspiration très grande, ce qui nécessite une bonne irrigation et un bon drainage pour lessiver le sel.

Des recherches ont montré que l'humidité de l'air joue un rôle important dans la modulation des effets des stress. L'effet tampon de l'humidité fait que les riz classés comme tolérants dans les environnements d'Asie ne montrent pas nécessairement la tolérance désirée dans les conditions sèches du Sahel (Dingkühn *et al.*, 1992). L'aridité augmente l'effet des stress et les plantes atteignent plus rapidement leurs limites de tolérance (Fageria, 1985). Il suffit que la CE de la lame d'eau atteigne 1 à 3 mS cm⁻¹, pour que le rendement du riz soit sérieusement affecté alors que dans les régions à climat de moussons, une CE à ce stade est considérée comme inférieure au niveau critique (Dingkühn *et al.*, 1992).

Les fortes différences climatiques entre les deux saisons, particulièrement l'humidité relative de l'air, rendent aussi l'évaluation de la tolérance au sel difficile. L'aridité s'accompagne d'une forte évaporation et donc d'une transpiration élevée (Dingkühn *et al.*, 1992). Les effets du sel sont plus marqués pendant la saison sèche où l'humidité relative est faible. Parmi les nombreux facteurs qui déterminent la résistance variétale aux environnements salins, la régulation de la transpiration en fonction de l'humidité de l'air et/ou de la salinité joue un rôle majeur dans le Sahel, ce qui n'est pas le cas dans l'Asie des moussons

où l'humidité relative est plus élevée tout au long de l'année et où la consommation d'eau par le riz est plus faible (Asch, 1995). Les variétés de riz déjà caractérisées pour leur performance vis à vis du sel en Asie se comportent différemment au Sénégal. Des témoins internationaux tolérants ont manifesté des réductions de rendement de plus de 50 % (Dingkühn *et al.*, 1992).

L'action du sel est plus marquée dans le Sahel que dans l'Asie des moussons. Les deux zones ne présentent pas les mêmes climats et en particulier les mêmes régimes de pluies susceptibles de lessiver les sols. L'Asie des moussons est plus humide, (évapotranspiration faible), les conditions climatiques sont stables et donc plus favorables à la culture du riz (Huke, 1976).

La zone du delta du fleuve Sénégal, berceau de la riziculture irriguée au Sénégal, n'échappe pas à ces problèmes de salinité. C'est dans cette région que les essais présentés dans ce travail se sont déroulés, notamment dans le site de Ndiaye, à 35 km de St-Louis.

Ndiaye fait partie d'une région côtière aride, à sols argileux et constitués d'un vertisol lourd légèrement acide (pH 4.8), mais à texture homogène (40-55 % d'argile, 35-45 % de limon). En dessous du niveau 0.8-1.0 % d'argile, s'étend une couche composée de cristaux de gypse, engorgée de sel et d'acides. Des études lysimétriques indiquent que l'évapotranspiration dans les rizières atteint 7 à 10 mm jour⁻¹ en hivernage et 10 à 13 mm jour⁻¹, en contre saison. La percolation est faible dans ces sols lourds (< 1 mm jour⁻¹) et la pluviométrie très peu abondante (100-600 mm an⁻¹) (Dingkühn *et al.*, 1992).

Les contraintes majeures au cours de l'hivernage sont, la chaleur en début de saison et le froid en fin de saison pour les variétés à cycles moyen et long. En revanche, en contre saison, le froid perturbe la phase végétative et la chaleur la phase reproductrice. Il s'y ajoute une évapotranspiration forte, des vents chauds, forts et chargés de poussière, ce qui réduit l'efficacité de la photosynthèse. En outre, le cycle de développement dure 20 à 35 jours de plus qu'en hivernage (Miezan et Gaye, 1994) en raison des basses températures nocturnes.

La température, le vent, la poussière et le rayonnement solaire se combinent pour déterminer un microclimat qui agit sur les cultures (Dingkühn et Miezan, 1991). Mais quelle que soit la saison, les variétés les mieux adaptées sont celles à paille courte qui évitent la verse tout en donnant des rendements élevés.

II - Conditions générales de l'expérimentation

Une expérience préliminaire a été effectuée, avant la mise en place des essais au champ, sur le matériel végétal utilisé. Les conditions d'expérimentation dans les champs sont identiques pour les trois saisons de culture (contre saison, hivernage, contre saison).

L'étude a été effectuée à la station de recherches de l'Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'ouest (ADRAO), à Ndiaye.

1 - Prémultiplication des semences

Le matériel utilisé pour les essais en champ provient d'une multiplication préalable de graines issues de plantes de riz obtenues en culture *in vitro*.

Les graines d'origine proviennent du laboratoire de cytogénétique de l'Université Catholique de Louvain-la-Neuve (U.C.L), en Belgique. Le nombre de graines fournies par l'UCL étant alors relativement limité pour chaque lignée, nous les avons multipliées en serre, à la ferme de Ndiaye, pour créer un stock suffisant de semences. La multiplication a été réalisée en conditions non salines, d'août à novembre de l'année 1993. Les graines fournies étaient des lignées R1 et R2 selon la classification de Chaleff (1981). Les R1 semées ont donné par autofécondation des R2. Pour ces graines, c'est la génération R2 qui est testée en champ. Les R2 semées ont donné la génération R3 qui est aussi testée en champs. Cette multiplication a augmenté le stock disponible, ainsi que le nombre de générations. Du reste, Miller *et al.*, (1991) considèrent que la génération R2 et les suivantes sont les mieux appropriées aux cultures en champ car les R0 et R1 comportent très souvent des caractères indésirables issus de la culture *in vitro*.

2 - Lits et mode de semis

Les différents groupes de riz utilisés ont été testés en plein champ, en conditions de salinité semi-contrôlées pendant 3 saisons de culture successives :

- durant l'année 1994, en contre saison, de février à juillet,
- et en hivernage, de juillet à novembre,
- durant l'année 1995, en contre saison.

Les essais comportent, pendant chaque saison, 2 traitements et 3 répétitions, en randomisation totale :

- le traitement 1 (traitement en eau douce, ED) consiste en une irrigation avec de l'eau tirée par une pompe d'une rivière avoisinante ; l'irrigation et le drainage sont effectués de manière à maintenir une conductivité électrique inférieure à 1 mS cm^{-1} (0mM de NaCl) et deux drainages en moyenne sont effectués par semaine ;
- le traitement 2 est irrigué avec de l'eau salée (ES), avec une conductivité électrique de $3,5 \text{ mS cm}^{-1}$ (30 mM de NaCl) pour induire un stress sévère mais non léthal (Dingkuhn et *al.*, 1992) ; le sel provient du grattage de résidus d'évaporation sur des sols avoisinants ; l'eau salée est stockée dans un bassin en argile et chaque jour la conductivité électrique est contrôlée et réajustée au besoin (rajout d'eau ou de sel).

Le plan de l'essai est présenté sur la figure 1. Les essais sont protégés par des filets de pêche contre les oiseaux granivores.

Les cultures ont été réalisées par repiquage pour mieux contrôler les populations de départ. Les plants ont été cultivés en pépinière pendant 30 jours (contre saison) ou 20 jours (hivernage), puis repiqués dans les parcelles à une densité de 2 brins par poquet :

- durant l'année 1994, 2 rangées de 17 poquets par entrée ont été plantées ; au total, 19 entrées ont été introduites ;
- en contre saison 1995, la même superficie a été utilisée pour huit entrées, avec 5 rangées de 17 poquets.

Les rangées et les poquets étaient distants de 20 cm, alors que 2 entrées différentes étaient séparées par 30 cm.

Les engrais ont été apportés, pour toutes les saisons, sous forme N-P-K en $120-60-60 \text{ kg ha}^{-1}$ (fertilisation standard, Wopereis et *al.*, 1995), en deux fractions de 50-50 (en début de tallage et à l'initiation paniculaire), afin de compenser l'élimination des éléments nutritifs par les opérations de drainage.

III - MATERIEL ET METHODES

1 - Matériel végétal

1.1 - Origine du matériel

Des lignées cellulaires (104) de riz, toutes issues du cultivar IKP et sélectionnées pour la résistance au sel ont été obtenues par culture *in vitro* par Lutts (1992), au laboratoire de cytogénétique de l'U.C.L. La lignée représente ici le résultat de l'autofécondation de plantes issues de cultures de tissus.

Le sel utilisé pour la sélection, NaCl, a été appliqué à des doses et à des stades de développement différents. Les plantes issues de ces cultures et régénérées par embryogenèse somatique sont les plantes R0 (Chaleff, 1981), génération issue directement de culture *in vitro*. Après un ou deux cycles d'autofécondation ces plantes ont donné les lignées R1 et R2 que nous avons utilisées.

1.2 - Choix du matériel et mode de sélection *in vitro*

Les lignées issues de culture *in vitro* étaient trop nombreuses pour pouvoir toutes être testées en champ, les parcelles d'essais ne pouvant contenir qu'un nombre limité de variétés. La parcelle que nous avons utilisée ne pouvait contenir qu'une vingtaine d'entrées, si on se réfère au dispositif que nous avons établi (deux rangées de 17 poquets par entrée et trois répétitions). Pour ce travail, il a été distingué deux groupes de lignées, (soit au total 15 lots de graines) et un troisième groupe, le groupe témoin constitué de quatre variétés différentes, soit au total, 19 entrées.

Les graines du groupe 1 (7 lots de lignées R1), que nous avons nommées TS1 à TS7, proviennent de plantes sélectionnées par Lutts (1992) (schéma ci-dessous).

Schéma de sélection des graines du groupe 1

explants de départ (embryons mûrs)

- ↓ Callogenèse: milieu 127 (Lutts, 1992), avec NaCl pendant 2 mois. Repiquages toutes les 4 semaines sur un même milieu à l'obscurité.

cals

- ↓ Régénération par embryogenèse somatique, milieu 173 (Lutts, 1992), en présence de NaCl pendant 2 mois, (avec 1 repiquage) et à la lumière.

plantules R0

- ↓ Enracinement: milieu 101 (Lutts, 1992), en présence de NaCl pendant 1 mois.

plantes R0

- ↓ Culture hydroponique en serre: milieu de Yoshida (1976), en présence de NaCl et à la lumière

lignées R1

Tableau I : Concentrations (en mM) de NaCl utilisées.

Lignées	Callogenèse	Régénération	Enracinement	Culture hydroponique
TS1	30	30	30	30
TS2	30	30	30	30
TS3	30	30	30	30
TS4	40	40	40	40
TS5	40	40	40	40
TS6	40	40	40	40
TS7	50	50	50	50

Les graines du groupe 2 (8 lots de lignées R2), TS8 à TS15, proviennent de sélection, toujours par Lutts (1992), (schéma ci-dessous).

Schéma de sélection des graines du groupe 2

explants de départ (embryons mûrs)



Callogenèse sur milieu 127 (Lutts, 1992), sans NaCl, 1 mois à l'obscurité.

cals



Callogenèse sur milieu 127 (Lutts, 1992), en présence de NaCl, 6 mois à l'obscurité, repiquages toutes les 4 semaines.

cals



Régénération sans NaCl, 2 mois (avec 1 repiquage) à la lumière.

plantules R0



Enracinement sans NaCl, 3 semaines à la lumière.

plantes R0



Mise en terre et multiplication sans NaCl

lignées R1



Germination sans NaCl

plantules R1



Milieu de Yoshida (1976) sans NaCl pendant 15 jours.

plantules R1



Milieu de Yoshida (1976) en présence de NaCl pendant 3 mois.

plantes R1



Les survivantes au delà des trois mois sont replacées sur milieu de Yoshida (1976) sans NaCl, jusqu'à maturité.

lignées R2

Tableau II: Concentrations (en mM) de NaCl utilisées en callogenèse et en milieu hydroponique.

Lignées	Concentration de NaCl en callogenèse (plantes R0)	Concentration de NaCl en culture hydroponique (plantes R1)
TS8	255	40
TS9	255	40
TS10	255	40
TS11	170	40
TS12	170	40
TS13	255	50
TS14	170	50
TS15	170	50

Le groupe 3 (témoin), comprend :

- IKP 0 de la station de Ndiaye, témoin local tolérant, à cycle court (Dingkühn *et al.*, 1992) ;
- IKP 1 de l'UCL issu de culture hydroponique en milieu dépourvu de sel, témoin sensible à cycle court (Lutts, 1992) ;
- IR 31785-58-1-2-3-3 : (IR 31785) particulièrement adapté aux conditions arides, mais très sensible au sel à tous les stades de la croissance, témoin ADRAO sensible , à cycle court (Dingkühn *et al.*, 1992) ;
- IR 4630-22-2 : (IR 4630) témoin ADRAO tolérant, à cycle moyen (Dingkühn *et al.*, 1992).

Les graines de la variété à l'origine des explants ont été semées comme témoin, mais il est important dans les tests de tolérance aux stress biotiques et abiotiques de semer des témoins tolérants et sensibles à ces stress pour mieux apprécier l'amélioration des lignées régénérées (Miller *et al.*, 1991).

Toutes ces variétés sont au départ des productions de l'IRRI (International Rice Research Institute) (Los Baños, Philippines).

Au total, nous avons utilisé quinze lots de graines issues de sélection *in vitro* et quatre variétés témoins. Pour ne pas avoir à distinguer à chaque fois les lignées régénérées des témoins et pour faciliter la compréhension du texte et des tableaux au lecteur, nous utiliserons le seul terme d'entrées pour désigner les deux catégories de plantes. Par la suite dans les résultats et discussions, nous reviendrons sur les noms, propres à chaque individu.

1.3 - Choix du matériel pour les essais au champ

Trois essais ont été menés au champ.

1.3.1 - Essai 1

Les lignées testées pendant la contre saison 1994, sont issues de la multiplication en serre des lignées (schémas de sélection pages 22 et 23) elles correspondent à des R2 pour les lignées du groupe 1 et à des R3 pour les lignées du groupe 2.

1.3.2 - Essai 2

Les lignées testées pendant l'hivernage 1994, sont issues de la récolte de contre saison et correspondent à des R3 pour les lignées du groupe 1 et à des R4 pour les lignées du groupe 2.

Pour ces deux essais, toutes les lignées des groupes 1 et 2 ainsi que les variétés témoins ont été semées, soit au total 19 entrées.

1.3.3 - Essai 3

Les lignées testées pendant la contre saison 1995, sont issues de la récolte de l'hivernage 1994 et correspondent à des R4 pour les lignées du groupe 1 et à des R5 pour les lignées du groupe 2.

Pour mener cet essai, il fallait choisir un nombre limité d'entrées en raison de la superficie requise. Nous avons placé en champ 4 lignées et les 4 variétés témoins. Au total huit entrées ont été semées, qui sont :

- TS1 et TS4 dans le groupe 1,
- TS13 et TS15 dans le groupe 2,
- IKP 0, IKP 1, IR 31785-58-1-2-3-3, et IR 4630-22-2, témoins.

2 - Méthodes

Les trois essais menés en champ constituent un cycle cultural qui a commencé par une contre saison et s'est terminé par la contre saison suivante, en passant par une culture en hivernage.

Les essais 1 et 2 ont été menés dans le but d'évaluer en plein champ, les adaptations agromorphologiques et physiologiques des lignées issues de sélections *in vitro*, vis-à-vis des stress abiotiques de la contre saison et de l'hivernage dans le delta du fleuve Sénégal. Ces stress incluent les fluctuations extrêmes des conditions météorologiques telles que les températures, les vents, la salinité. Les performances agronomiques de ces sélections sont ensuite comparées à celles du matériel d'origine et de variétés témoins résistantes ou sensibles à la salinité.

L'essai 3 a été mené pour tester la valeur agronomique des entrées. C'est un essai de rendement effectué sur un nombre réduit d'entrées.

2.1 - Détermination des caractères agromorphologiques

Les échantillonnages ont été réalisés au stade végétatif avant l'initiation paniculaire et à maturité, pour les essais 1 et 2 et à maturité uniquement pour l'essai 3 (essai de rendement).

Sur toutes les parcelles, pour chaque essai, nous avons relevé les dates de semis, de repiquage, d'initiation paniculaire de début d'épiaison, de floraison et de maturité. Ces dates permettent de déterminer et de prévoir les moments des

échantillonnages. La période qui va du semis à la maturité définit le cycle de la plante.

2.1.1 - Echantillonnage au stade végétatif

A 60 jours pour les essais de contre saison, ou 40 jours pour l'essai d'hivernage après le repiquage, coïncidant avec la fin de la phase végétative ou le début de l'initiation paniculaire, 2 touffes (pousses + racines) par entrée ont été prélevées dans chaque parcelle pour la détermination du poids de matière sèche des racines, des pousses et des tissus morts. Cet échantillonnage est effectué pour toutes les entrées dans les essais 1 et 2.

2.1.2 - Echantillonnage à maturité pour les essais 1 et 2

Douze touffes par entrée ont été prélevées dans chaque parcelle, pour déterminer :

- la hauteur de la plante,
- le nombre de talles par m²,
- le nombre de panicules par m²,
- le poids de matière sèche des pailles et des panicules par m²,
- le poids de matière sèche des grains vides et des grains pleins par m²,
- le poids de matière sèche de 100 grains vides et de 100 grains pleins.

Dans le cas des grains, le taux d'humidité a été mesuré et réajusté à 14%, qui est la norme internationale (Dingkuhn et *al.*, 1992).

Les variables analysées sont les paramètres des stades végétatif et de maturité :

- la biomasse végétative, c'est à dire la biomasse aérienne à l'initiation paniculaire en g/m²,
- le nombre de talles par m²,
- la biomasse aérienne à maturité en g/m²,
- le rapport du poids des feuilles sur la biomasse à l'initiation paniculaire,

- le rapport du poids des racines sur la biomasse à l'initiation paniculaire,
- le rapport du poids des tissus morts sur la biomasse à l'initiation paniculaire,
- le nombre de panicules par m²,
- le nombre d'épillets par panicule,
- le pourcentage d'épillets pleins,
- le poids de 100 grains pleins,
- le rendement en paddy en g/m².

En plus de ces variables, nous en avons considéré six autres particulièrement sensibles à l'effet du sel (Dingkühn, communication personnelle) et qui sont :

- la hauteur de la plante en cm,
- l'indice de sénescence (%) : rapport du poids des tissus morts sur celui de la biomasse à l'initiation paniculaire,
- l'indice de fertilité (%), qui est le rapport du nombre de panicules sur le nombre de talles,
- le taux de stérilité (%) : rapport du nombre d'épillets vides sur le nombre total d'épillets,
- la durée des cycles en jours,
- et l'indice de récolte (%) : rapport du poids des panicules sur celui de la biomasse à maturité.

2.1.3 - Echantillonnage à maturité pour l'essai 3

L'échantillonnage a porté sur les paramètres du stade de maturité, puisque c'est un essai de rendement. Il a été effectué sur deux groupes de touffes différents.

Un premier échantillonnage est effectué sur 8 touffes pour la détermination des caractères agromorphologiques : les paramètres calculés sont

- le nombre de talles par m²,
- la biomasse aérienne à maturité en g/m²,
- la hauteur de la plante en cm,

- le taux de stérilité,
- la durée du cycle à maturité en jours,
- le nombre de panicules par m²,
- l'indice de récolte,
- le nombre d'épillets par panicule,
- le poids de 100 grains pleins,
- le rendement en g/m².

Un deuxième échantillonnage est effectué au même moment que le premier, sur 33 touffes pour la détermination du carré de rendement.

Les méthodes de calcul utilisées pour les variables mesurées sont présentées en annexes.

2.2. - Calcul de la réduction de rendement

La réduction de rendement est le seul critère utilisé classiquement à l'ADRAO comme référence valable pour la classification des variétés par rapport à la salinité. Elle est calculée selon la formule :

$$100 - \frac{\text{Rendement eau salée}}{\text{Rendement eau douce}} \times 100$$

Plus la réduction de rendement est faible, plus la plante est tolérante. Ainsi, une échelle de classification des variétés en fonction de leur pourcentage de réduction de rendement a été dressée (Asch et Dingkühn, 1994) :

- sensibles (S), RR > 60 %,
- moyennement sensibles (MS), 51 - 60 %,
- moyennement tolérantes (MT), 41 - 50 %,
- tolérantes (T), 0 - 40 %.

Ce calcul a été effectué pour tous les essais.

2.3. - Mesures physiologiques.

Ces mesures concernent uniquement les essais 1 et 2.

2.3.1 - La teneur en chlorophylles

La teneur relative en chlorophylles a été mesurée en fin de phase végétative, lors de l'initiation paniculaire. Cette mesure se fait *in situ*, à l'aide d'un appareil de dosage des chlorophylles, "Chlorophyll meter" Spad-502 (Minolta, Osaka, Japan).

2.3.1.1 - Principe de l'appareil de mesure

Les valeurs mesurées par l'appareil "Chlorophyll meter" Spad-502 correspondent à la quantité de chlorophylles présente dans la feuille. Les valeurs sont calculées sur la base de la quantité de lumière transmise par la feuille pour deux longueurs d'onde (environ 650 et 950 nm) où l'absorption de chlorophylle est différente.

a - Pendant la calibration, les deux diodes envoient chacune de la lumière en l'absence d'échantillon de feuille dans la fente de mesure. La lumière reçue est convertie en signaux électriques. Le rapport des intensités de lumière transmise est calculé.

b - On place ensuite un échantillon de feuille dans la fente de mesure. Les deux diodes émettent encore de la lumière. la lumière transmise par la feuille est convertie en signaux électriques. Le rapport des intensités de lumière transmise est calculé.

Les valeurs obtenues pour a et b permettent de connaître la quantité de chlorophylles présente dans la feuille.

2.3.1.2 - Méthode de mesure

Deux séries de mesures ont été effectuées.

Une première série a été faite pour déterminer la quantité de chlorophylles présente dans les feuilles. Cette mesure a été effectuée sur les trois feuilles supérieures (les dernières apparues, qui sont F1, F2, F3, à compter de l'apex). Pour

chaque niveau, cinq feuilles sont utilisées, par traitement et par répétition. Cette mesure a été effectuée pour toutes les entrées au cours de l'essai 1.

La deuxième série a été faite pour établir la relation entre les teneurs en chlorophylles et en ions Na et K. Cette mesure est effectuée sur plusieurs dizaines de feuilles des niveaux F2 et F3. Dans chaque cas, la teneur en chlorophylles est notée et les feuilles échantillonnées séparément. Des classes de chlorophylles sont ensuite déterminées à partir des mesures faites *in situ*, et les feuilles réparties dans ces classes pour chaque entrée. Les feuilles sont ensuite séchées et broyées, pour le dosage des ions Na et K. Cette mesure a été effectuée pour douze des dix-neuf entrées, au cours des essais 1 et 2.

2.3.2 - Dosage des éléments minéraux

Des échantillonnages de feuilles (toutes les feuilles F2 et F3 de 2 touffes par traitement et par répétition) ont été effectués en fin de phase végétative, lors de l'initiation paniculaire, pour doser les ions Na et K des feuilles. Cette mesure a été effectuée pour douze des dix-neuf entrées, au cours des essais 1 et 2.

Des échantillonnages de parties aériennes, (toutes les feuilles F1, F2, F3, tiges et gaines de deux touffes par traitement et par répétition) ont été effectués toujours en fin de phase végétative, pour doser les ions Na et K de ces différentes parties de la plante et de la plante entière (partie aérienne). Cette mesure a été effectuée pour huit des dix-neuf entrées au cours des essais 1 et 2.

Les différents échantillons sont séchés à l'étuve pendant 72 heures, broyés, puis mis à macérer dans une solution d'acide chlorhydrique 0.001N pendant 24 heures pour les feuilles et 48 heures pour les tiges et gaines, (les gaines restent fortement accolées aux tiges et sont donc broyées ensemble). Les filtrats obtenus sont soumis au dosage par photométrie de flamme (Digital Flame Analyzer, Model 2655-00, Cole Palmer, Illinois), à l'aide d'une gamme étalon de Na et K.

2.3.2.1 - Dosage de Na et K des feuilles

Pour le dosage de Na et K des feuilles, nous avons choisi d'analyser dans un premier temps, les lignées qui avaient été sélectionnées à des doses de NaCl différentes. Dans le groupe 1, les lignées proviennent de milieux de callogenèse différents :

- TS1 (30 mM de NaCl),

- TS4 (40 mM) et
- TS7 (50 mM).

Dans le groupe 2, les lignées proviennent de deux sélections différentes :

- TS9 (255 mM en callogenèse et 40 mM en culture hydroponique),
- TS11 (170 et 40 Mm),
- TS13 (255 et 50 mM),
- TS14 (170 et 50 mM) et
- TS15 (170 et 50 mM).

Soit au total avec les 4 témoins, 12 entrées.

2.3.2.2 - Dosage de Na et K de la plante entière

Pour le dosage de Na et K de la plante entière (partie aérienne), nous avons analysé 8 entrées (4 lignées et les témoins). Les 4 lignées sont choisies à partir de l'analyse précédente et correspondent aux deux entrées les plus résistantes et les plus sensibles par rapport aux lignées présentes dans cette analyse :

- TS1 (plus résistante) et TS4 (plus sensible) dans le groupe 1,
- TS13 (plus sensible) et TS 15 (plus résistante) dans le groupe 2.

Ces lignées sont ensuite utilisées pour conduire l'essai 3.

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel STAT-ITCF (Gouet et Phillipeau, 1992).

2.4. - Détermination des caractères morphologiques *in vivo*

Au cours de l'hivernage (essai 2), nous avons procédé à des observations au champ (sur deux répétitions), pour analyser les variations dans la morphologie des plants. Ces variations sont un inventaire qui sert de référence à l'ADRAO (Miezan et Gaye, 1992).

- Le port de la plante (PPL).

Le type de port et la disposition des feuilles déterminent la quantité de radiation solaire interceptée par les talles ; il est évalué à la maturité, selon l'échelle suivante :

- 1 = compact,
- 2 = semi-compact,
- 3 = ouvert,
- 4 = très ouvert.

- L'angle de la feuille paniculaire (AFP) .

La protection de la panicule par une feuille paniculaire assez longue et érigée est très importante pour l'interception des radiations solaires nécessaires à l'activité photosynthétique et aussi pour une protection contre les attaques d'oiseaux ; l'angle de cette feuille est ainsi notée :

- 1 = jusqu'à 25 degrés,
- 2 = de 26 à 50 degrés,
- 3 = de 51 à 75 degrés,
- 4 = plus de 75 degrés.

- La sénescence foliaire (SF) .

Les feuilles qui restent vertes durant la phase de maturation, gardent leurs capacités photosynthétiques ; une sénescence précoce des feuilles avant le remplissage des grains est nuisible au rendement ; l'échelle d'évaluation est la suivante :

- 1 = tardive,
- 2 = intermédiaire,
- 3 = précoce.

- La structure de la panicule (STP).

La disposition des racèmes autour du rachis détermine le type de panicule qui est une caractéristique variétale ; elle est ainsi évaluée :

- 1 = compacte,
- 2 = intermédiaire,
- 3 = lâche.

- L'exsertion paniculaire (EXP).

Il est important que les panicules sortent complètement de la gaine de la feuille paniculaire, les épillets encore enfermés peuvent être stériles, ou attaqués par des parasites ; elle est ainsi évaluée :

- 1 = forte exsertion,
- 2 = moyenne,
- 3 = juste sortie,
- 4 = mauvaise.

- L'axe de la feuille paniculaire (AXP).

L'axe de la panicule peut être érigé (droit) ou pendant, par rapport à la tige. (un axe pendant constitue une protection contre les oiseaux) ; Il est ainsi noté :

- 1 = dressé,
- 2 = pendant.

- L'acceptabilité phénotypique (ACP) .

Ce critère important de sélection est plus général, car il intègre plusieurs aspects ou caractéristiques de la plante portant sur les variables suivantes : hauteur , port de la plante, port de la feuille paniculaire, type de grain, aspect de la panicule, sénescence foliaire, etc... ; elle peut être évaluée à la maturité, suivant l'échelle ci-dessous :

1 = excellente,

2 = bonne,

3 = moyenne,

4 = mauvaise.

Toutes ces mesures ont été effectuées uniquement dans l'essai 2.

CHAPITRE 3

RESULTATS

L'étude des caractères agromorphologiques, physiologiques et de certains caractères morphologiques *in vivo* concerne les essais 1 et 2. L'essai 3 porte sur une autre série d'expérimentations. Les résultats seront donc divisés en deux parties :

- les résultats des essais 1 (contre saison) et 2 (hivernage),
- les résultats de l'essai 3, ou essai de rendement.

I - COMPORTEMENT GLOBAL SIMULE ET INDIVIDUEL DES DIFFERENTES ENTrees SOUMISES A L'ACTION DU SEL EN CONTRE SAISON (ESSAI 1) ET EN HIVERNAGE (ESSAI 2)

1 - Effet du sel

1.1 - Effet global du sel

Les plants ont été soumis à l'action du sel. Nous avons analysé l'effet global du sel pendant les deux saisons (contre saison, essai 1 et hivernage, essai 2), en comparant les moyennes cumulées des caractères agromorphologiques de l'ensemble des entrées, pour les deux traitements (eau douce et eau salée). L'effet simulé permet de comprendre comment le sel agit sur les caractères considérés.

D'une manière générale, le sel agit de manière significative sur tous les caractères observés.

Le traitement salé exerce une baisse significative sur les caractères relatifs à la croissance végétative tels que la biomasse (végétative et à maturité) et la hauteur des plantes. Par contre, il stimule le tallage, et dans une moindre mesure le rapport : feuilles ou racines/biomasse végétative, notamment en hivernage (tableau III 1).

L'effet dépressif du sel s'exerce aussi sur les caractères relatifs au développement. En effet, l'indice de sénescence, le taux de stérilité ainsi que la longueur de la période végétative (cycle à 50% de floraison) augmentent au cours du traitement salé, (tableau III 2).

Enfin, le rendement et ses différentes composantes subissent une baisse significative au cours de ce traitement, à l'exception du nombre de panicules qui augmente, (tableau III 3).

Par ailleurs, le rapport eau salée/eau douce (ES/ED) pour certains caractères (biomasses végétative et à maturité, nombre de talles, hauteur, nombre de panicules, poids de 100 grains pleins et rendement), (tableau III), montre qu'en contre saison comme en hivernage, les caractères évoluent en général dans le même sens, mais de façon moins marquée pendant l'hivernage.

1.2 - Effet du sel sur les différentes entrées

Nous avons ensuite analysé le comportement des entrées vis à vis du sel, en contre saison (essai 1) et en hivernage (essai 2), pour déterminer, parmi les caractères considérés, ceux sur lesquels le sel agit de manière significative.

Pendant la croissance végétative (tableaux IV et V), les caractères les plus affectés sont par ordre d'importance, la hauteur (toutes les entrées en hivernage et à l'exception de deux pour la contre saison), puis suivent le nombre de talles, la biomasse à maturité et dans une moindre mesure la biomasse végétative. Le rapport du poids des feuilles sur la biomasse végétative est affecté pour quelques entrées (cinq sur dix-neuf et pendant la contre saison seulement) et le rapport des racines sur la biomasse végétative pour une entrée en contre saison et trois en hivernage.

Quand on compare les biomasses végétative et à maturité, en contre saison et en hivernage, on constate quatre types de comportement vis à vis du sel :

- les entrées non affectées par le sel, aussi bien au stade végétatif qu'à maturité,

- les entrées affectées par le sel au stade végétatif uniquement,
- les entrées affectées par le sel à maturité uniquement,
- les entrées affectées par le sel, aussi bien au stade végétatif qu'à maturité.

Le stade de maturité correspond au stade où le riz a accompli tout son cycle. Il sera donc retenu pour l'analyse ultérieure de l'effet du sel sur les différentes entrées.

En ce qui concerne les caractères liés au développement (tableaux VI et VII), on constate que la longueur des deux types de cycle en contre saison ou du cycle à 50 % de floraison en hivernage, sont particulièrement affectés. Puis suivent le rapport du poids des tissus morts sur la biomasse végétative et l'indice de sénescence en contre saison. Cependant, durant l'hivernage, le rapport du poids des tissus morts sur la biomasse végétative n'est affecté que pour deux entrées (sur dix-neuf), l'indice de sénescence pour trois entrées. Le taux de stérilité est affecté pour cinq entrées aussi bien en contre saison qu'en hivernage.

Le rapport du poids des tissus morts sur la biomasse végétative donne des valeurs faibles. En revanche l'indice de sénescence qui donne une meilleure indication sur l'effet du sel, sera retenu pour l'analyse ultérieure de l'effet du sel sur les différentes entrées.

Le pourcentage d'épillets pleins, composante du rendement, permet de calculer le taux de stérilité, caractère du développement. (Une entrée ayant un pourcentage d'épillets pleins de 70.79 a un taux de stérilité de 29.21, voir tableau III). Le taux de stérilité sera donc le critère retenu pour l'analyse ultérieure du sel sur les différentes entrées.

Parmi les composantes du rendement (tableaux VIII et IX), les caractères les plus affectés par ordre d'importance sont : le rendement et l'indice de récolte qui sont fortement corrélés, le poids de 100 grains pleins qui évolue de la même manière que les deux premiers caractères cités. Le nombre d'épillets par panicule (six entrées en contre saison et huit en hivernage) et le pourcentage d'épillets pleins (cinq entrées aussi bien en contre saison qu'en hivernage), sont peu affectés. Si pour ces caractères l'eau salée a une influence négative, il n'en est pas de même pour le nombre de panicules qui augmente au cours du traitement salé.

Le comportement global des entrées sous l'action du sel évolue dans le même sens au cours des deux saisons avec une tendance plus marquée en contre saison.

De tous les caractères affectés par le sel, seuls quelques uns le sont pour toutes les entrées. Ce sont notamment le rendement et l'indice de récolte pendant la contre saison (tableau VIII), et la hauteur en hivernage (tableau V). Nous avons donc pris le rendement en contre saison (tableau VIII), comme exemple pour comparer le comportement des entrées vis-à-vis du sel. C'est ainsi que nous avons analysé l'écart à la moyenne du rendement dans les deux traitements, en fonction des entrées, pendant la contre saison (figure 2). En contre saison, IR 4630, variété témoin résistante au sel, a le plus faible écart à la moyenne (92.46). Les lignées qui s'en approchent (TS1, 163.62 ; TS2, 160.80 ; TS7, 128.22 et IKP 0, 161.70) ont donc les rendements les moins affectés par le sel.

2 - Impact de la variation somaclonale

Pour pouvoir utiliser la variation somaclonale à des fins d'amélioration de la résistance au sel, nous avons évalué son effet au champ, en conditions de salinité, en analysant le comportement des lignées issues de culture *in vitro*.

Nous avons effectué des analyses aussi bien quantitatives que qualitatives, pour évaluer d'une part l'effet de la variation somaclonale induite, en comparant les lignées issues de culture *in vitro* entre elles et avec IKP 1, la variété source, et pour évaluer d'autre part les performances de ces lignées par rapport à des témoins d'origines différentes. Les analyses de variance à deux facteurs effectuées permettent de comparer les entrées entre elles et dans les deux traitements (eau douce + eau salée), pour les différents caractères. Pour certains caractères, les analyses ne donnent comme résultat que des différences dans les moyennes cumulées (eau douce + eau salée). Ceci correspond à des variations globales (dues aux différences de comportement entre les entrées et/ou à l'action des traitements), les deux facteurs n'ayant pas d'interaction. Pour d'autres caractères, par contre, l'analyse donne des différences dans les traitements eau douce et eau salée, quand il y a interaction entre les deux facteurs.

2.1. - Caractères agromorphologiques

Plusieurs caractères agromorphologiques ont été recensés pour leur importance dans la production, chez le riz (pages 27 et 28).

2.1.1 - Comparaison des lignées issues de culture *in vitro* entre elles et avec IKP 1 la variété source

Nous avons effectué une analyse de variance à deux facteurs (entrées et traitements) des caractères agromorphologiques, pour comparer les lignées issues de culture *in vitro* entre elles et avec IKP 1, la variété source.

Les tableaux X et XI, illustrent les résultats de l'analyse de variance. Les différences sont significatives à $p < 0.05$ (2 moyennes qui n'ont pas de lettre commune sont différentes à $p < 0.05$).

Ces tableaux montrent que les caractères affectés par le sel ne sont pas les mêmes en contre saison et en hivernage.

En contre saisons les lignées (tableau X) présentent des différences significatives pour cinq caractères qui sont : la hauteur, le cycle à 50 % de floraison, le cycle à maturité, le poids de 100 grains pleins et le rendement. De ces cinq caractères, seuls les cycles présentent des différences significatives dans l'eau douce (2) et dans l'eau salée (3). Pour les autres caractères, seules les moyennes cumulées (1) présentent des différences. Par contre, les lignées ne présentent pas de différences significatives pour le nombre de talles, la biomasse à maturité, le rapport du poids entre les feuilles ou les racines et la biomasse végétative, l'indice de sénescence, l'indice de fertilité, le taux de stérilité, le nombre de panicules, l'indice de récolte et le nombre d'épillets/panicule.

En hivernage (tableau XI), les lignées présentent des différences significatives pour la hauteur, les rapports entre le poids des racines ou des feuilles et celui de la biomasse végétative, l'indice de sénescence, le taux de stérilité ainsi que le cycle à 50 % de floraison. De tous ces caractères, seuls la hauteur et le taux de stérilité présentent des différences significatives dans l'eau douce (2) et dans l'eau salée (3). Cependant, les lignées ne sont pas différentes pour : le nombre de talles, la biomasse à maturité, l'indice de fertilité, le nombre de panicules, l'indice de récolte, le nombre d'épillets par panicule, le poids de 100 grains pleins et le rendement.

La comparaison entre les lignées et IKP 1 (variété source), en contre saison (tableau X), montre des différences pour la hauteur, le cycle et le poids de 100 grains pleins. Seuls les cycles présentent des différences significatives dans l'eau douce (2) (TS1 et TS7 à 50 % de floraison, TS1, TS7 et TS9 à maturité) et dans l'eau salée (3) (TS1 et TS7 à 50 % de floraison et à maturité).

En hivernage (tableau XI), des lignées diffèrent de IKP 1 pour la hauteur, le taux de stérilité et le cycle à 50 % de floraison. La hauteur présente des différences significatives dans l'eau douce (2), pour toutes les lignées sauf TS10 et dans l'eau salée (3), pour TS2, TS4 et TS6. Pour le taux de stérilité, les lignées qui diffèrent de IKP 1 le sont dans l'eau salée (3), il s'agit de TS4, TS11 et TS15.

2.1.2 - Comparaison des lignées avec des témoins d'origines différentes

Nous avons comparé les lignées à différents témoins, dans les deux traitements et les deux saisons.

L'analyse de variance à deux facteurs (entrées et traitements) avec les mêmes variables agromorphologiques (pages 27 et 28), permet de comparer les lignées issues de culture *in vitro* avec des témoins d'origines différentes. Les tableaux XII à XVII donnent les résultats de l'analyse (2 moyennes qui n'ont pas de lettre commune sont différentes à < 0.05).

En contre saison (tableau XII), les caractères relatifs à la croissance végétative qui présentent des différences sont le nombre de talles, la biomasse à maturité et la hauteur. Pour ces caractères, seules les moyennes cumulées (1) présentent des différences significatives. Le rapport du poids des feuilles ou des racines sur celui de la biomasse végétative ne présentent pas de différences pour toutes les entrées. Pour les caractères relatifs au développement (tableau XIII), seuls les cycles présentent des différences significatives dans l'eau douce (2) et dans l'eau salée (3). Le taux de stérilité, ne varie que si l'on considère les moyennes cumulées (1). L'indice de sénescence et l'indice de fertilité ne présentent pas de différences pour toutes les entrées. Pour les caractères relatifs au rendement et à ses composantes (tableau XIV), seul l'indice de récolte présente des différences significatives dans l'eau douce (2) et dans l'eau salée (3). Les autres caractères ne varient que si l'on considère les moyennes cumulées (1)

En hivernage, beaucoup plus de caractères donnent des différences significatives. Tous les caractères de la croissance végétative (tableau XV), donnent des différences significatives. Cependant, seuls le nombre de talles et la hauteur présentent des différences dans l'eau douce (2) et dans l'eau salée (3). Pour ce qui est des caractères du développement (tableau XVI), l'indice de sénescence donne des différences significatives uniquement dans les moyennes cumulées (1), alors que le taux de stérilité et les cycles présentent des différences dans l'eau douce (2) et dans l'eau salée (3). L'indice de fertilité ne présente pas de différences pour les différentes entrées. Pour le rendement et les composantes du

rendement (tableau XVII), le nombre de panicules, l'indice de récolte et le poids de 100 grains pleins donnent des différences significatives dans l'eau douce (2) et dans l'eau salée (3). Le nombre d'épillets par panicule et le rendement présentent des différences uniquement dans leurs moyennes cumulées (1).

Pour utiliser la variation somaclonale à des fins d'amélioration de la résistance au sel, nous avons recherché, les variants qui présentaient des caractéristiques intéressantes aussi bien par rapport à la variété dont elles sont issues, que par rapport à des témoins d'origines différentes. Pour ce faire nous avons comparé les lignées aux témoins, dans les conditions de salinité et en contre saison.

Nous avons ainsi effectué une analyse de variance à un seul facteur (entrées) de tous les caractères agromorphologiques en contre saison et en eau salée. Le tableau XVIII, donne les résultats de l'analyse.

Les lignées et les témoins ne sont pas différents, pour le nombre de talles, le rapport du poids des feuilles ou des racines sur la biomasse végétative, l'indice de sénescence, l'indice de fertilité et le nombre d'épillets par panicule. Les caractères qui donnent des différences significatives sont répertoriés ci-dessous.

- La biomasse à maturité :

- IKP 0 diffère d'une seule lignée TS13,
- IKP 1 ne présente aucune différence avec les lignées,
- IR 31785 a une biomasse plus faible que celle des lignées,
- IR 4630 a une biomasse plus élevée que celle des lignées.

- La hauteur :

- IKP 0 et IR 4630 ont une taille plus élevée que celle des lignées,
- IKP 1 est différente de 7 lignées (TS2, TS3, TS4, TS5, TS6, TS7 et TS11),
- IR 31785 a une taille plus petite que celle des lignées.

- Le taux de stérilité :

IR 31785 a un taux de stérilité plus élevé que celui des lignées ; les autres témoins ne présentent pas de différences avec les lignées.

- Le cycle à 50 % de floraison :

IKP 0 et IR 4630 ont un cycle plus long que celui des lignées,
IKP 1 est différente de TS 1 et TS7,
IR 31785 a un cycle plus court que celui des lignées.

- Le cycle à maturité :

IKP 0 est différente de toutes les lignées sauf TS1,
IKP 1 est différente de TS1 et TS7,
IR 31785 a un cycle plus court que celui des lignées,
IR 4630 a le cycle le plus long.

- Le nombre de panicules

IR 31785 est différente de TS9 ; les autres témoins ne présentent pas de différences avec les lignées.

- L'indice de récolte :

IR 31785 est différente de TS1 et TS5,
IR 4630 a un indice de récolte plus faible que celui des lignées,
IKP 0 et IKP 1 ne présentent pas de différences avec les lignées.

- Le poids de 100 grains pleins :

IR 4630 est différente de TS3 et TS13 ; les autres témoins ne présentent pas de différences avec les lignées.

- Le rendement :

IKP 0 et IR 4630 sont différentes de TS13,

IKP 1 ne présente pas de différence avec les lignées,

IR 31785 a un rendement plus faible que celui des lignées.

Dans l'ensemble, l'étude comparée que nous venons de présenter montre une bonne corrélation entre le rendement et la biomasse à maturité, la hauteur, le taux de stérilité, le cycle à 50 % de floraison.

2.2 - Analyse de la réduction de rendement

Les lignées issues de culture *in vitro* ont été sélectionnées pour la résistance à la salinité. Il est donc important d'étudier le comportement des lignées par rapport à un critère agronomiquement important comme le rendement et particulièrement en condition de salinité. En effet, dans les conditions du Sahel, le rendement est l'un des critères les plus utilisés pour la sélection pour la salinité, les variétés les plus résistantes au sel ayant les rendements les moins affectés.

Nous avons calculé la réduction de rendement due à la présence de sel, pour évaluer l'adaptation des lignées à la salinité et avons classé les entrées suivant l'échelle de Asch et Dingkühn, (1994). L'analyse des tableaux XIX et XX nous permet de distinguer et particulièrement en contre saison (tableau XIX) :

- une lignée résistante (TS1),
- une lignée sensible (TS13),
- quatre lignées moyennement résistantes (TS5, TS7, TS8 et TS12),
- et neuf lignées moyennement sensibles (TS2, TS3, TS4, TS6, TS9, TS10, TS11, TS14 et TS15).

La comparaison des lignées avec IKP 1 (variété source), montre que celle-ci a donné 5 lignées plus résistantes qu'elle (TS1, TS5, TS7, TS8 et TS12), une plus sensible (TS13), les autres lignées se comportant comme elle.

La comparaison des lignées avec les témoins montre que la lignée TS1, est aussi résistante que les témoins résistants (IKP 0 et IR 4630). La lignée TS1, est aussi sensible que le témoin sensible (IR 31785). Quant aux autres lignées, elles sont moins résistantes que les témoins résistants et moins sensibles que le témoin sensible (IR 31785).

En hivernage (tableau XX), l'analyse des résultats fait apparaître des comportements différents avec :

- dix lignées résistantes (TS1, TS2, TS4, TS5, TS6, TS8, TS9, TS10, TS12 et TS13),
- quatre lignées moyennement résistantes (TS3, TS7, TS11 et TS14),
- une lignée moyennement sensible (TS15).

Dans ces conditions, si on compare les lignées avec IKP 1 (variété source), on constate que celle-ci a donné 5 lignées moins résistantes qu'elle (TS3, TS7, TS11, TS14 et TS15). Quant aux autres lignées, elles sont aussi résistantes qu'elle.

Si on compare les lignées aux autres témoins, 10 lignées (TS1, TS2, TS4, TS5, TS6, TS8, TS9, TS10, TS12 et TS13) sont aussi résistantes que les témoins résistants (IKP 0 et IR 4630), 5 sont moins résistantes (TS3, TS7, TS11, TS14 et TS15). Par rapport au témoin sensible IR 31785, les lignées sont toutes plus résistantes.

2.3 - Caractères physiologiques

Afin d'utiliser la variation somaclonale pour l'amélioration de la résistance au sel, nous avons étudié quelques aspects physiologiques de l'adaptation des lignées à la salinité. Nous avons cherché à comprendre comment le sel agit sur ces caractères, s'il existe une variation au niveau de ces caractères par rapport à la culture *in vitro* et si finalement la culture *in vitro* a induit une résistance au sel.

2.3.1 - Analyse de la chlorophylle

Nous avons mesuré la teneur relative en chlorophylles, en contre saison (essai 1), pour vérifier si les lignées sont différentes de la variété source IKP 1, si

elles présentent des différences avec les témoins et comment le traitement salé agit sur ce caractère.

Les analyses de variance (tableau XXI), montrent des différences significatives entre les lignées dans les moyennes cumulées (eau douce + eau salée). Deux moyennes qui n'ont pas de lettre commune sont différentes à $p < 0.05$. Le sel agit de manière significative sur la teneur en chlorophylles pour quelques lignées avec des valeurs plus élevés dans l'eau salée.

2.3.2 - Analyse de la teneur en ions Na

Nous avons cherché à vérifier si la culture *in vitro* a induit des différences dans la capacité des tissus des feuilles à accumuler le Na chez les lignées et chez IKP 1 (variété source), s'il existe des différences entre les lignées et les témoins et comment le traitement salé agit sur la teneur en Na.

2.3.2.1 - Analyse de la teneur en Na des feuilles

Quand on compare les lignées entre elles et avec IKP 1 (variété source), l'analyse de variance (résultat non présenté) montre qu'en contre saison (essai 1), aussi bien qu'en hivernage (essai 2), les lignées ne présentent de différences significatives ni entre elles, ni avec IKP 1.

Le tableau XXII, donne les résultats de la comparaison de la teneur en Na des lignées avec celle des témoins. En contre saison les entrées sont différentes dans leurs moyennes cumulées (1). En hivernage, par contre les entrées présentent des différences significatives dans l'eau salée (3).

L'analyse du tableau XXIII, montre l'effet du traitement salé sur la teneur en Na des feuilles des différentes entrées. Le traitement salé agit de manière significative sur la teneur en Na des feuilles de toutes les entrées, aussi bien en contre saison qu'en hivernage.

Nous avons comparé la teneur en Na des lignées issues de culture *in vitro*, avec celles des témoins dans les conditions les plus difficiles c'est à dire en contre saison et dans l'eau salée. L'analyse de variance (tableau XXIV), montre que les lignées ne présentent de différences décelables ni avec les témoins sensibles ni avec les témoins résistants. En revanche on peut constater que IR 4630, témoin résistant, présente la teneur en Na la plus faible alors que IR 31785 témoin sensible, présente la teneur la plus élevée.

Tableau XXIV : Comparaison de la teneur en Na des feuilles des lignées et des témoins en contre saison (essai 1), et en eau salée.

Entrées	Na
TS1	8.61 ab
TS4	8.10 ab
TS7	8.34 ab
TS9	7.74 ab
TS11	9.21 ab
TS13	9.38 ab
TS14	8.79 ab
TS15	9.30 ab
IKP 0	8.46 ab
IKP 1	8.44 ab
IR 31785	12.34 a
IR 4630	4.55 b

2.3.2.2 - Teneur en Na et rapport K/Na en relation avec la teneur relative en chlorophylles au niveau des feuilles.

Après détermination de la teneur en chlorophylles *in situ*, des feuilles de rang F2 et F3 ont été prélevées pour la mesure des teneurs en Na. Des classes de chlorophylles ont été définies arbitrairement afin de comparer plus aisément les entrées. Nous avons ainsi une teneur moyenne en Na pour toutes les feuilles d'une même classe de chlorophylle.

En eau douce, les teneurs en chlorophylles étant très voisines, trois classes ont été définies :

- une classe, avec une teneur inférieure à 35
- une autre, avec une teneur comprise entre 35 et 40
- et une dernière, avec une teneur supérieure à 40.

En eau salée, les teneurs en chlorophylles présentant des différences plus marquées, six classes ont été définies :

- une classe avec une teneur inférieure à 25
- une autre, avec une teneur comprise entre 25 et 30
- une autre, avec une teneur comprise entre 30 et 35

- une autre, avec une teneur comprise entre 35 et 40
- une autre, avec une teneur comprise entre 40 et 45
- une dernière, avec une teneur supérieure à 45.

Nous avons étudié la relation entre la teneur en chlorophylles et la teneur en Na (ou le rapport K/Na considéré comme indicateur de tolérance au sel).

Nous avons d'abord comparé la variation de la teneur en Na et celle du rapport K/Na en fonction des classes de chlorophylles, des lignées et des témoins, dans les deux saisons (contre saison, essai 1 et hivernage, essai 2) et pour les deux traitements (eau douce et eau salée)

Les figures 3 et 5, montrent que dans l'eau douce, les teneurs en Na sont dans l'ensemble très faibles et peu variables pour toutes les classes de chlorophylles.

Dans l'eau salée, les figures 4 et 6, montrent qu'en contre saison aussi bien qu'en hivernage, les teneurs en chlorophylles et en Na varient en sens inverse.

Le rapport K/Na (tableau XXV) augmente en général avec la teneur en chlorophylles. En comparant les lignées aux témoins, dans les conditions les plus difficiles c'est à dire en contre saison et dans l'eau salée (tableau XXV, contre saison, (2)), on constate que ce rapport est très faible pour toutes les entrées (inférieur à 1) sauf pour IR 4630 à partir des classes de chlorophylles allant de la classe 25 - 30 jusqu'à la classe supérieure à 45.

2.3.2.3 - Teneur en Na au niveau de la plante entière

Nous avons analysé le contenu en Na de feuilles aux stades F1, F2 et F3, ainsi que celui des gaines et des tiges, pour apprécier la distribution de Na dans la plante et en fonction des entrées puis, mesuré la teneur moyenne en Na de la plante entière (partie aérienne).

2.3.2.3.1 - Distribution de Na

La distribution de Na a été étudiée en fonction des lignées et des témoins en contre saison (essai 1) et en hivernage (essai 2), pour les deux traitements (eau douce et eau salée).

Les figures 7 à 10 , montrent que la teneur en Na augmente en fonction de l'âge de la feuille. En outre, la teneur en Na dans les tiges et les gaines est toujours plus élevée que dans les tissus foliaires. Les feuilles âgées comme les tiges et les gaines semblent donc séquestrer le Na.

Nous avons ensuite comparé les rapports K/Na des différents étages de feuilles, des tiges et des gaines, chez les lignées et les témoins.

Les figures 11 à 14, montrent que dans l'ensemble, les premières feuilles ont les rapports K/Na les plus élevés, alors que les tiges et les gaines présentent les rapports les plus faibles, surtout en contre saison.

2.3.2.3.2 – Teneur moyenne en Na au niveau de la plante entière

Quand les lignées sont comparées entre elles et avec IKP 1 (variété source), l'analyse de variance (résultat non présenté) indique qu'en contre saison, aussi bien qu'en hivernage, les lignées ne présentent de différences significatives ni entre elles, ni avec IKP 1.

Quand les lignées sont ensuite comparées aux témoins, en contre saison aussi bien qu'en hivernage, (tableau XXVI, 1), elles présentent des différences significatives pour les deux traitements, aussi bien dans les moyennes cumulées (1) qu'en eau douce (2) et qu'en eau salée (3). Cependant les différences significatives entre les lignées et les témoins ne s'observent qu'en eau salée (3). L'effet du traitement salé sur l'accumulation de Na dans la plante entière (tableau XXVI, 2) permet de souligner des différences significatives pour toutes les entrées dans les deux saisons, sauf pour TS1 en contre saison.

Nous avons comparé les lignées issues de culture *in vitro* aux témoins dans les conditions les plus difficiles c'est à dire en contre saison et en eau salée. Le tableau XXVII donne le résultat de l'analyse de variance. La lignée TS1 se distingue par la teneur en Na la plus faible et IR 31785, témoin sensible, par la teneur la plus forte. La lignée TS1 comme le témoin tolérant IR 4630 se distinguent du témoin sensible par une capacité à exclure le Na. La figure 15 montre la teneur en Na de la plante entière des différentes entrées.

Tableau XXVII : Comparaison de la teneur en Na de la plante entière chez les lignées et les témoins en contre saison et en eau salée.

<u>Entrées</u>	<u>Na</u>
TS1	6.59 c
TS4	11.86 b
TS13	11.25 b
TS15	13.03 b
IKP 0	12.42 b
IKP 1	10.81 b
IR 31785	17.74 a
IR 4630	9.04 bc

Les rapports K/Na chez la plante entière montrent (figure 16), que IR 31785 (témoin sensible), a le rapport le plus bas. Les rapports les plus élevés (> 1), sont observés chez la lignée TS1, et chez IR 4630, témoin tolérant.

2.4 - Description de quelques caractères morphologiques *in vivo*

Les résultats précédents ont montré que les variations étaient plus atténuées en hivernage surtout en ce qui concerne les réductions du rendement. Nous avons de ce fait recherché des caractères morphologiques discriminants pendant la période de maturation des différentes entrées, au cours de l'hivernage.

L'analyse du tableau XXVIII montre que le sel ne modifie pratiquement pas ces caractères. Seuls deux caractères sont affectés, pour quelques lignées, l'acceptabilité phénotypique pour TS12, TS13 et IR 31785, et l'exercion paniculaire pour TS3.

La comparaison des lignées entre elles et avec IKP 1 variété source, dans l'eau douce montre qu'elles sont semblables pour :

- l'angle de la feuille paniculaire,
- la structure de la panicule,
- l'axe de la panicule.

Pour l'acceptabilité phénotypique, TS1, TS12 et TS13 sont différentes des autres lignées. Elles ont une acceptabilité meilleure, égale à 2. Pour le port de la plante, TS1 est différente de toutes les autres de par son port plus compact. Pour l'exercion paniculaire TS1, TS2 et TS7 sont différentes des autres. Pour la sénescence foliaire, toutes les lignées sont semblables, avec une sénescence intermédiaire, sauf dans le cas de TS1 qui manifeste une sénescence plus tardive.

Comparées avec IKP 1, variété source, les seules différences en eau douce entre les lignées sont :

- le port de la plante, avec TS1 à port compact, IKP 1, à port semi-compact,
- la sénescence foliaire, avec TS1 à sénescence tardive, IKP 1 à sénescence intermédiaire
- l'exercion paniculaire, seules TS1, TS2 et TS7 sont semblables à IKP 1.

La comparaison des lignées avec les témoins, dans l'eau salée, montre qu'elles sont semblables aux témoins pour l'angle de la feuille paniculaire, la sénescence foliaire, la structure et l'axe de la panicule. Pour l'acceptabilité phénotypique TS1, contrairement aux autres lignées, est semblable aux témoins résistants IKP 0 et IR 4630. Pour le port de la plante, TS1 présente à la fois un comportement semblable aux témoins résistants IKP 0 et IR 4630 et au témoin sensible IR 31785.

Pour l'exercion paniculaire, toutes les lignées (sauf TS1, TS2 et TS7) sont moyennes comme IR 31785 et meilleures comparées à IKP 0 et IR 4630 (témoins résistants).

La description de la feuille paniculaire (tableau XXIX) montre que le traitement salé réduit la longueur de la feuille des entrées : TS12, TS13, IKP 1, IR 31785, IR 4630. La comparaison des lignées entre elles montre qu'elles ont des longueurs différentes de feuille paniculaire. Par rapport à IKP 1, variété source, dans l'eau douce, la feuille paniculaire est modifiée pour 11 lignées. Par rapport aux témoins, dans l'eau salée, TS1 et TS7 ont la même longueur de feuille que IKP 0, sept enfin (TS1, TS7, TS8, TS9, TS10, TS14 et TS15), ont une feuille plus longue que IR 4630, IKP 1 et IR 31785.

2.5 - Effet des saisons

Les analyses précédentes ont montré que selon la saison, la même entrée pouvait avoir des réponses différentes.

Cela nous a conduit à analyser les caractères agromorphologiques de l'ensemble des cultures pour les deux traitements en fonction des saisons (tableau XXX).

Pour les deux traitements, le nombre de talles, la biomasse à maturité, l'indice de sénescence, la longueur des cycles, le nombre de panicules et le poids de 100 grains pleins sont toujours plus importants en contre saison qu'en hivernage. Par contre l'indice de récolte et le nombre d'épillets par panicule sont plus importants en hivernage. Les caractères qui présentent des différences significatives uniquement dans l'eau douce sont la hauteur, le rapport du poids des feuilles sur la biomasse végétative et le rendement. L'indice de fertilité présente des différences uniquement dans l'eau salée. Enfin le rapport du poids des racines sur la biomasse végétative est plus important en contre saison dans l'eau douce et en hivernage dans l'eau salée ; le taux de stérilité est plus important en contre saison dans l'eau salée, et en hivernage dans l'eau douce.

Afin de comparer les réductions de rendement des entrées par rapport aux saisons, nous les avons classées suivant l'échelle de Asch et Dingkühn (1994). D'après le tableau XXXI les entrées que nous avons étudiées peuvent être réparties en quatre groupes.

- Groupe I : l'effet saisonnier est nul, l'entrée se comporte de la même manière au cours des deux saisons, dans le sens d'une résistance comme dans le sens d'une sensibilité (TS1, TS7, TS15, IKP 0, IR 31785 et IR 4630),
- groupe II, les entrées moyennement sensibles en contre saison deviennent moyennement résistantes (TS3, TS11, TS14) et celles moyennement résistantes deviennent sensibles (TS5, TS8, TS12) en hivernage,
- groupe III, les entrées moyennement sensibles en contre saison deviennent résistantes en hivernage (TS2, TS4, TS6, TS9, TS10 et IKP 1),

- groupe IV, les entrées sensibles en contre saison deviennent résistantes en hivernage (TS13).

Quand on compare la teneur en Na dans les feuilles de l'ensemble des entrées, on constate des valeurs plus élevées en contre saison qu'en hivernage ($p < 0.05$) et un rapport K/Na plus important en hivernage qu'en contre saison. Par contre, si l'on considère la teneur en Na de l'ensemble des parties aériennes on n'observe plus de différences significatives entre les deux saisons (résultat non présenté).

II - COMPORTEMENT DE HUIT ENTREES TESTEES POUR LEUR VALEUR AGRONOMIQUE EN CONTRE SAISON

Après deux saisons de culture (contre saison, essai 1 et hivernage, essai 2) où les quinze lignées sélectionnées *in vitro* et les quatre variétés témoins ont été testées en plein champ, un dernier essai a été conduit la contre saison de l'année suivante (essai 3), pour tester la valeur agronomique de 8 entrées, dont TS1 et TS4 pour le groupe 1, TS13 et TS15 pour le groupe 2 et les quatre variétés témoins. Après une étude des caractères agromorphologiques pour apprécier l'impact de la variation somaclonale, nous avons évalué le carré de rendement (en t/ha) des entrées afin d'identifier les plus performantes.

1 - Caractères agromorphologiques

Parmi les dix caractères étudiés dans cet essai, trois sont relatifs à la croissance végétative (nombre de talles, biomasse à maturité, hauteur), deux sont relatifs au développement (taux de stérilité, cycle à maturité), cinq au rendement et aux composantes du rendement (nombre de panicules, indice de récolte, nombre d'épillets par panicule, poids de 100 grains pleins, rendement).

Nous avons comparé les lignées entre elles et avec IKP 1, variété source, pour évaluer l'impact de la variation somaclonale. Le tableau XXXII donne les résultats de l'analyse de variance.

Tableau XXXII : Comparaison des lignées entre elles et avec IKP 1 en contre saison (essai 3).

Les valeurs représentent les moyennes cumulées (eau douce + eau salée) des caractères agromorphologiques.

2 moyennes qui n'ont pas de lettre commune sont différentes à $p < 0.05$

Les caractères ne présentant aucune différence significative, ne figurent pas sur le tableau (nombre de talles, biomasse à maturité, nombre de panicules, indice de récolte, poids de 100 grains pleins).

	Hauteur	Taux de stérilité	Cycle à maturité	Nombre d'épillets par panicule	Rendement
Entrées					
TS1	80.07b	31.05b	139.00a	104.53a	627.37a
TS4	72.87c	47.59a	139.00a	81.39b	469.60b
TS13	84.64a	38.71ab	130.83b	92.59ab	497.96b
TS15	77.39b	40.44ab	129.50b	104.60a	505.94b
IKP 1	84.85a	31.76b	130.50b	91.57ab	550.33b

Les lignées présentent des différences uniquement dans leurs moyennes cumulées aussi bien entre elles qu'avec IKP 1. Le nombre de talles, la biomasse à maturité, le nombre de panicules, l'indice de récolte, le poids de 100 grains pleins ne présentent pas de différences significatives.

Nous avons ensuite comparé les lignées avec les témoins. Le tableau XXXIII donne les résultats de l'analyse. La biomasse à maturité, la hauteur, le nombre d'épillets par panicule et le rendement ne présentent des différences par rapport aux témoins que dans les moyennes cumulées (1). Cependant le taux de stérilité, le cycle à maturité, l'indice de récolte et le poids de 100 grains pleins présentent des différences significatives pour les deux traitements. Le taux de stérilité et le poids de 100 grains pleins ne présentent de différences qu'en eau salée (3). Le cycle à maturité présente des différences aussi bien en eau douce (2), qu'en eau salée (3). L'indice de récolte présente des différences pour les deux traitements et particulièrement en eau douce (2), pour IR 4630.

Le tableau XXXIV illustre la comparaison des lignées avec les témoins dans les conditions les plus difficiles (en contre saison et dans l'eau salée).

* Les lignées ne sont pas différentes de IKP 0 pour la biomasse à maturité, l'indice de récolte, le poids de 100 grains pleins et le rendement, mais certaines ont une taille plus faible (TS4 et TS15) ou un cycle plus court (TS13 et TS15).

* Par rapport à IKP 1, TS4 a une taille plus faible, TS1 et TS4 ont un cycle plus long.

* Par rapport à IR 31785, l'ensemble des lignées présentent un meilleur comportement pour la biomasse et l'indice de récolte avec une augmentation de rendement dans le cas de TS1. Toutefois, les lignées ont une taille plus grande et un cycle plus long.

* Par rapport à IR 4630, les lignées ont une biomasse et un poids de 100 grains plus faibles. Elles ont un indice de récolte plus élevé. Leur taille est plus faible et leur cycle moins long.

Tableau XXXIV : Comparaison des lignées avec les témoins en contre saison (essai 3), et dans l'eau salée.

2 moyennes qui n'ont pas de lettre commune sont différentes à $p < 0.05$

Les caractères ne présentant aucune différence significative ne figurent pas sur le tableau (nombre de talles, nombre de panicules, nombre d'épillets/panicule, taux de stérilité)

Entrées	Biomasse à maturité	Hauteur	Cycle à maturité	Indice de récolte	Poids de 100 grains pleins	Rendement
TS1	878.18 b	70.98 bc	140.00 b	42.02 a	1.53 b	298.48 a
TS4	636.82 b	61.40 d	140.00 b	32.07 a	1.43 b	128.35 ab
TS13	778.70 b	74.84 bc	132.33 c	39.78 a	1.54 b	206.15 ab
TS15	814.97 b	69.20 c	130.33 c	37.64 a	1.45 b	208.79 ab
IKP 0	926.63 b	76.75 b	137.00 b	39.95 a	1.52 b	312.00 a
IKP 1	903.31 b	75.43 bc	132.00 c	38.25 a	1.37 b	268.54 a
IR 31785	392.30 c	53.59 e	116.00 d	15.34 b	0.98 b	23.23 b
IR 4630	1231.70 a	93.67 a	170.00 a	27.83 a	2.27 a	237.47 a

Le tableau XXXIV montre également que les lignées étudiées, à l'exception de TS1 ont un rendement ne présentant de différences significatives ni avec les témoins résistants ni avec les témoins sensibles. Cependant au cours de l'essai 1, le niveau moyen de rendement de toutes les lignées était bien plus élevé. Nous avons de ce fait comparé les réductions de rendement durant les deux contre saisons.

Comme l'indique le tableau XXXV, les rendements de contre saison des entrées de l'essai 3, sont plus faibles que ceux de l'essai 1 et les réductions dépassent 60 % même pour les témoins résistants. La contre saison I donne des rendements meilleurs que la contre saison II avec des rapports de l'ordre de 5 pour IR31785.

Tableau XXXV : Rendements et réductions de rendement en contre saison I (essai 1), et contre saison II (essai 3).

Entrées	Rendement		Rendement		Réduction de rendement I	Réduction de rendement II
	Contre saison I		Contre saison II			
	eau douce	eau salée	eau douce	eau salée		
TS1	809.40	482.17	956.25	299.15	40.43	68.72
TS4	737.57	331.83	810.85	128.35	55.01	84.17
TS13	742.57	257.09	789.76	206.15	65.38	73.90
TS15	750.41	358.59	803.09	208.79	52.21	74.90
IKP 0	794.88	471.49	903.75	312.00	40.68	65.48
IKP 1	772.11	326.09	832.11	268.54	57.77	67.73
IR 31785	557.52	123.53	707.24	23.23	77.84	96.70
IR 4630	655.10	470.19	740.31	237.47	28.23	67.92

2 - Analyse de rendement

Nous avons calculé le carré de rendement pour estimer la valeur agronomique des entrées et identifier les plus performantes. Le tableau XXXVI donne le résultat du carré de rendement. Il permet d'établir que TS1 et IKP 0 donnent les meilleurs rendements.

Tableau XXXVI : Carré de rendement en tonnes/ha des différentes entrées

Entrées	Carré de rendement
TS1	2.96
TS4	1.28
TS13	2.06
TS15	2.09
IKP 0	3.12
IKP 1	2.69
IR 31785	0.23
IR 4630	2.38

CHAPITRE 4

DISCUSSION

I - COMPORTEMENT GLOBAL SIMULE ET INDIVIDUEL DES DIFFERENTES ENTREES SOUMISES A L'ACTION DU SEL EN CONTRE SAISON (ESSAI 1) ET EN HIVERNAGE (ESSAI 2)

1 - Effet du sel

1.1 - Effet global du sel

En contre saison comme en hivernage, le traitement salé stimule l'apparition des talles, contrairement à ce que l'on peut observer chez le blé (Maas et Grieve, 1990). Il prolonge parallèlement la longueur de la phase végétative, tout en réduisant la production de biomasse aérienne (de 24 % en contre saison et de 15 % en hivernage).

Le traitement salé provoque une augmentation du nombre de panicules. Cependant, en contre saison, l'indice de fertilité qui est le rapport du nombre de panicules sur le nombre de talles, ne présente pas de différences significatives dans les deux traitements (eau douce, eau salée).

Le traitement salé favorise une sénescence foliaire au moment de la floraison du fait de l'allongement de la durée des cycles à 50% de floraison. La mort prématurée des feuilles diminue par conséquent, comme l'ont montré Munns et Termaat (1986), le taux d'assimilats arrivant aux organes en croissance. Cette perturbation dans la redistribution des assimilats pourrait être déterminante dans la baisse de la biomasse.

La réduction de la biomasse végétative est bien corrélée à une baisse de rendement en contre saison comme en hivernage. Cependant, le rendement est affecté de façon plus drastique du fait d'une influence du sel plus marquée pendant le stade reproducteur par rapport au stade végétatif. Cette dernière observation confirme des hypothèses précédemment formulées par Fageria (1985), Maas (1993) et Asch (1995).

Le poids de 100 grains pleins est plus faible en conditions salées du fait que le grain est plus rempli en eau douce et plus particulièrement durant la contre saison. Un tel résultat paraît conforme aux observations de Khatun et *al.* (1995), et Asch et *al.* (1997), suggérant que le sel a un effet négatif sur le remplissage du grain.

La baisse de rendement observé lors de nos essais n'est pas sans précédent mais avec toutefois des niveaux de salinité plus faibles dans nos conditions expérimentales, comparées à celles décrites par Fageria (1985), Flowers et Yeo (1989). Beecher (1991), rapporte une baisse de 25% seulement pour une salinité de 4.5mS/cm en Australie. Il apparaît dès lors un effet du sel plus marqué dans les conditions arides du Sahel que dans des environnements plus humides. En effet de tels écarts pourraient s'expliquer par le rôle important de l'humidité lors du stress salin, souvent considéré comme une sécheresse physiologique. Du reste, beaucoup de plantes tolèrent mieux le stress salin en conditions humides (Fageria, 1985 ; Lauter et Munns, 1987 ; Maas, 1993 ; Asch et *al.*, 1995). Dans notre expérimentation, l'humidité plus forte en hivernage pourrait effectivement expliquer les écarts dans la baisse du rendement entre la contre saison (53%) et l'hivernage (38%). Cependant, la longueur des cycles en contre saison (quatre à cinq semaines de plus qu'en hivernage), mériterait aussi d'être prise en compte pour expliquer ces différences.

1.2 - Effet du sel sur les différentes entrées

Nos résultats montrent que l'effet du sel est variable selon l'entrée et le caractère considérés, dans les deux saisons. Si certains caractères sont affectés pour la plupart ou pour la totalité des entrées (nombre de talles, biomasse à maturité, hauteur, indice de sénescence, cycles, certaines composantes du rendement, rendement), d'autres ne le sont que peu (poids des feuilles sur la biomasse, taux de stérilité), ou pas du tout (poids des racines sur la biomasse, indice de fertilité).

Le nombre de talles, la biomasse, la hauteur, l'indice de sénescence, les cycles à 50 % de floraison et à maturité, le nombre de panicules, l'indice de récolte, le poids de 100 grains pleins et le rendement, sont les caractères qui présentent des différences significatives, les plus nettes pour toutes les entrées. Par contre, le nombre d'épillets par panicule et le taux de stérilité ne sont affectés par le sel que pour quelques entrées (six et cinq respectivement en contre saison, huit et cinq en hivernage). Ces caractères sont des composantes du rendement et devraient être de toute évidence corrélés avec le rendement. On peut noter cependant que les composantes du rendement ne varient pas toujours dans le même sens que le rendement. En effet, dans certains cas où les composantes de rendement ne présentent pas de différences significatives, le rendement présente pour toutes les entrées, en contre saison, des différences significatives. En hivernage 17 entrées sur 19 sont dans ce cas. Ceci pourrait s'expliquer par un nombre de grains dans les épillets plus important et par conséquent, un rendement plus élevé dans l'eau douce. Il en est de même pour le poids de 100 grains pleins au cours du traitement eau douce qui est plus important que celui du traitement eau salée pour la plupart des entrées. Cependant pour certaines entrées (trois en contre saison et une en hivernage), ce paramètre qui ne présente pas de différences significatives entre les deux traitements, semble lié aussi au nombre de grains dans les épillets.

Tous les caractères ne varient pas toujours dans le même sens dans les deux saisons. Les caractères qui s'expriment en hivernage sont plus variés qu'en contre saison. Les lignées présentent aussi des différences individuelles de comportement. Enfin pour le même caractère, la même lignée peut avoir des comportements différents dans les deux saisons du fait d'une forte influence des conditions de l'environnement sur ces caractères.

2 - Impact de la variation somaclonale

2.1 - Caractères agromorphologiques

2.1.1 - Comparaison des lignées issues de culture *in vitro* entre elles et avec IKP 1, la variété source

Tous les caractères qui présentent des différences significatives uniquement dans les moyennes cumulées, montrent des variations entre les lignées mais ne prouvent pas l'existence de la variation somaclonale (les différences pouvant être uniquement dues à l'action du sel).

La comparaison des lignées entre elles, en contre saison, laisse apparaître, une différence significative entre un nombre variable de lignées dans l'eau salée et dans l'eau douce. Dans l'eau salée, les différences significatives peuvent être uniquement dues à l'action du sel. Mais cette action du sel à partir d'un certain seuil pourrait masquer des différences exprimées auparavant. Puisque, le caractère modifié par la culture *in vitro* doit être stable, la variation somaclonale mériterait d'être recherchée dans l'eau douce.

En contre saison, les différences entre les lignées et IKP 1, variété source, reposent sur les cycles (à 50 % de floraison et à maturité). En hivernage, les lignées ne diffèrent de IKP 1, que pour la hauteur.

Il ressort ainsi que les cycles à 50 % de floraison et la hauteur sont, en eau douce, les seuls caractères qui sont modifiés par rapport à IKP 1. Cependant ces caractères ne sont pas exprimés de la même manière en contre saison et en hivernage.

Par ailleurs, en ce qui concerne la hauteur, certaines lignées TS2, TS3, TS5 et TS7 varient de la même manière en contre saison (même si les différences ne s'observent que dans les moyennes cumulées) et en hivernage. Ces lignées sont des R2, selon la classification de Chaleff (1981), en contre saison. Ces R2 ont donné des R3 en hivernage. Il y a eu un cycle d'autofécondation, et les mêmes lignées diffèrent de la même façon par rapport à IKP 1, variété source. Ce caractère varie donc de la même manière d'une génération (R2) à l'autre (R3). Le caractère transmis à la descendance issue de graines varie de la même façon quelle que soit la génération.

Des différences existent entre les lignées d'une part et entre les lignées et IKP 1, variété source, d'autre part. Les différences observées trouvent leur explication dans des modifications apparues suite à la culture *in vitro*. Les modifications liées à la hauteur sont héréditaires et stables. Elles résultent d'une variation somaclonale induite par la culture *in vitro*. Ces résultats sont en conformité avec les conclusions de Breiman et Rotem-Abarbanell (1990), Sun et Zheng (1991), Beloualy et Bouharmont (1991), Bouharmont (1992) qui pensent que la variation somaclonale transmise par voie sexuée à la descendance aboutirait rapidement (au bout d'une ou deux générations) à des lignées stables. Toutefois, la variation somaclonale induite n'est pas très importante dans nos conditions expérimentales, vu le nombre limité de lignées testées et de caractères concernés par cette variation.

Les variations de la hauteur et de la longueur des cycles que nous observons sont en conformité avec d'autres travaux montrant que les différences entre les

variants somaclonaux étaient liées à la taille de la plante, à la précocité et à la fertilité (Bouharmont et Dekeyser, 1989 ; Ogura *et al.*, 1989 ; Zheng *et al.*, 1989 ; Sun et Zheng, 1990 ; Lutts, 1996). Cependant, dans notre étude, les autres caractères tels que le rendement et ses composantes, sujets à des variations déjà signalées par bon nombre d'auteurs (Ryan *et al.*, 1987 ; Larkin *et al.*, 1989 ; Zheng *et al.*, 1989 ; Sun et Zheng, 1990 ; Qureshi *et al.*, 1992), ne donnent de différences ni entre les lignées ni entre elles et IKP 1, variété source.

Nous observons une importante modification de la taille de la plante par rapport à IKP 1 qui est relativement plus grande que la plupart des lignées. Ceci est à rapprocher des résultats obtenus par Lutts (1996). Ce dernier constate que certains caractères sont plus fréquemment modifiés sous l'effet de la variation somaclonale.

2.1.2 - Comparaison des lignées avec des témoins d'origines différentes

Afin d'étudier les performances des lignées issues de culture *in vitro*, nous avons analysé leur comportement en milieu salé, par rapport à des témoins résistants ou sensibles au sel. En effet, Miller *et al.*, (1991), évaluent l'amélioration des lignées issues de culture *in vitro*, en les comparant à des témoins résistants ou sensibles au stress utilisé comme pression de sélection. Les lignées doivent aussi présenter des caractéristiques intéressantes là où les conditions de stress sont les plus sévères (Ashraf, 1994 ; Dingkühn *et al.*, 1992 ; Asch, 1995). Dans les conditions de notre expérimentation, les caractéristiques intéressantes doivent être recherchées dans l'eau salée mais aussi en contre saison. Pendant cette saison, la transpiration est plus importante qu'en hivernage. La forte évaporation provoque une plus grande absorption du sel. Les effets de la salinité sont donc plus marqués pour beaucoup de variétés aussi bien locales qu'internationales durant cette saison (Dingkühn, 1992 ; Dingkühn *et al.*, 1993 ; Asch et Dingkühn, 1994 ; Asch, 1995 ; Asch *et al.*, 1997). Il est clair par conséquent qu'une sélection pour la résistance à la salinité dans le Sahel est plus effective en contre saison.

Si l'on considère la production, on constate que certaines lignées sont comparables (rendement, biomasse, poids de 100 grains pleins) aux témoins résistants, bien adaptés aux conditions du delta, leur production n'étant pas très affectée par le sel. Par ailleurs, comparativement à ces témoins, certaines lignées présentent un indice de récolte plus important. En outre, en ce qui concerne la taille de la plante et la longueur du cycle, les lignées se rapprochent de IR 31785, variété bien adaptée au delta (de faible taille et de cycle court) mais très sensible au sel. En effet, la fréquence des vents très forts provoquent, dans le delta, la verse des

variétés à paille haute. D'autre part, les variétés à cycle long ne sont pas recommandées pour la réussite d'une double culture, l'une des cultures pouvant empiéter sur l'autre. C'est pourquoi des variétés à paille courte et à cycle moyen sont recherchées dans cette zone. De ce point de vue, certaines lignées semblent améliorées, puisqu'elles produisent autant que les témoins résistants, avec une taille moins haute et un cycle plus court.

2.2 - Analyse de la réduction de rendement

De nos résultats il découle qu'en contre saison, les lignées présentent entre elles des classes de réduction différentes. La variété source, IKP 1, également témoin sensible à la salinité (Dekeyser *et al.*, 1988 ; Lutts, 1992) a donné cinq lignées plus résistantes (TS1, TS5, TS7, TS8, et TS12), et une plus sensible (TS13), qu'elle. Par contre, en hivernage, les lignées présentent toujours entre elles et par rapport à IKP 1, des classes de réduction différentes, mais avec une seule lignée sensible, TS15. Les conditions plus douces de l'hivernage atténuent sans nul doute l'effet du sel.

Globalement, dans nos expériences, le traitement salé provoque une réduction de rendement significative, quelle que soit la saison. Des résultats similaires ont été obtenus par Siscar-Lee *et al.* (1990), Dingkuhn *et al.* (1992 et 1993), Qureshi *et al.*, (1992) Stevens et Harvey (1995). Cependant, certaines lignées se sont révélées plus résistantes que IKP 1, variété source. Les différences de comportement des lignées entre elles et avec IKP 1 ne s'expliquent que par les modifications apparues en culture *in vitro*.

IKP 1 (provenant de l'UCL) et IKP 0 (témoin local tolérant) montrent des différences de réduction de rendement. La sensibilité de IKP 1 (Dekeyser *et al.*, 1988 ; Lutts, 1992) est confirmée dans cette analyse, (57.77 % de réduction pour IKP 1 contre 40.68 % pour IKP 0). Les différences entre ces deux entrées appartenant au même cultivar pourraient s'expliquer par l'existence d'une variation intravariétale pour la tolérance au sel (Yeo et Flowers, 1982, 1986 ; Yeo *et al.*, 1988). Les variétés de riz commerciales étant des lignées sélectionnées, il faudrait admettre selon Lutts (1996), que certaines variétés relativement uniformes pour un certain nombre de caractères agronomiquement importants présentent une hétérogénéité pour d'autres caractères non soumis à une pression de sélection.

Par rapport à IKP 1, cinq lignées semblent améliorées. Cependant, la recherche de variants somaclonaux intéressants devrait conduire à des individus plus performants, non seulement par rapport à la variété source mais surtout par

rapport aux témoins d'origines différentes. A cet égard, la lignée TS1 (comparable aux témoins résistants) se révèle particulièrement intéressante.

2.3 - Caractères physiologiques

2.3.1 - Analyse de la chlorophylle

La teneur en chlorophylles en eau salée étant supérieure à celle en eau douce pour sept entrées, le sel n'a donc pas d'effet néfaste sur la chlorophylle.

La comparaison des lignées avec les témoins dans l'eau salée (résultat non présenté), montre qu'il n'y a de différences significatives ni avec les témoins résistants, ni avec les témoins sensibles. Enfin, les variétés résistantes ne présentent pas des quantités de chlorophylles différentes de celles du témoin sensible IR 31785. La teneur en chlorophylles ne constitue donc pas un critère suffisamment discriminant pour des comparaisons entre lignées résistantes et sensibles.

2.3.2 - Analyse de la teneur en ions Na

2.3.2.1 - Analyse de la teneur en Na des feuilles

Le traitement salé agit de manière significative sur la teneur en Na des feuilles aussi bien en contre saison qu'en hivernage. En revanche, il ne ressort aucune différence significative dans la teneur en Na des feuilles entre les lignées ou entre les lignées et IKP 1 (résultat non présenté). Ceci pourrait signifier que la culture *in vitro* n'a pas apporté de modifications sur la capacité des feuilles à accumuler le Na. Même, dans les conditions les plus difficiles, les lignées ne sont différentes ni des témoins sensibles ni des témoins résistants. Les lignées n'ont pas accumulé davantage de Na que les témoins résistants, au niveau de leurs feuilles.

2.3.2.2 - Teneur en Na et rapport K/Na en relation avec la teneur relative en chlorophylles au niveau des feuilles

Notre expérimentation montre que les teneurs en chlorophylles et en Na des feuilles ne varient pas dans le même sens. Plus la teneur en Na des feuilles est élevée, plus la teneur en chlorophylles est faible. Ce résultat est en conformité avec

les travaux de Yeo et Flowers, (1983 ; 1984 a) ; (1985) ; (1986) ; Dingkühn *et al.*, (1992). Cependant Yeo et Flowers (1983 ; 1984 a) observent par la même occasion des symptômes de toxicité sur les feuilles de riz, alors que dans nos conditions les plants ne montrent aucun symptôme de toxicité ou de maladie.

Il ressort de nos analyses que le rapport K/Na est inférieur à 1, dans l'eau salée pour toutes les entrées, en contre saison, sauf pour IR 4630, témoin tolérant. Or, le rapport K/Na des feuilles des plantes tolérantes est généralement plus élevé que celui des plantes sensibles (Gorham *et al.*, 1990 ; Wyn Jones *et al.*, 1984 ; Wyn Jones et Gorham, 1989). Il se trouve que dans notre étude, cette idée n'est vérifiée que si l'on compare IR 4630 le témoin le plus résistant à IR 31785 le témoin le plus sensible.

IR 4630 a une teneur en Na des feuilles dans l'eau salée, plus faible et un rapport K/Na plus élevé que toutes les autres entrées. Mais pour un rapport K/Na donné dans l'eau salée, la teneur en chlorophylles du témoin résistant (IR 4630) n'est pas supérieure à celle du témoin sensible (IR 31785). Ces résultats ne sont pas en conformité avec les travaux de Yeo et Flowers (1983 ; 1984a) ; la chlorophylle dans nos conditions, bien qu'elle augmente en général avec le rapport K/Na, n'est pas différente chez les témoins résistants et sensibles. Ainsi, la relation entre les teneurs en chlorophylles et en Na des feuilles, dans nos conditions, ne peut être considérée comme un critère sûr de tolérance.

En fait, le sel n'a pas eu d'effet négatif sur les teneurs en chlorophylle au cours de notre expérimentation et selon l'hypothèse antérieurement formulée par Sow *et al.*, (1994) le sel n'affecte pas directement l'intégrité structurale de l'appareil photosynthétique mais provoquerait plutôt une sécheresse physiologique comme chez bon nombre de glycophytes qui excluent le Na (Diallo et Queiroz-Claret, 1983).

2.3.2.3 - Teneur en Na au niveau

2.3.2.3.1 - Distribution de Na

Dans nos conditions expérimentales et de manière plus générale, les feuilles les plus âgées ont les plus fortes teneurs en Na (Yeo et Flowers, 1984 a ; 1986 ; Wolf *et al.*, 1991 ; Dingkühn *et al.*, 1992 ; Ashraf et O'Leary, 1994 ; Lutts, 1996). De plus les gaines et les tiges contiennent les taux les plus élevés en Na. En accord avec les conclusions de Slama, (1991) et de Dingkühn *et al.*, (1992), les gaines et

tiges comme les feuilles les plus âgées participent au désailement de la sève et protègent du même coup les jeunes feuilles d'une intoxication par le Na.

Dans l'ensemble, les premières feuilles ont les rapports K/Na les plus élevés et n'ont pratiquement pas de Na. Ce résultat renforce les observations de Yeo et Flowers (1986) ; Dingkuhn *et al.* (1992) ; Dingkuhn *et al.* (1993) qui montrent que ces feuilles ont les niveaux les plus élevés de photosynthèse.

2.3.2.3.2 - Teneur moyenne en Na au niveau de la plante entière

Le traitement salé agit de manière significative sur la teneur en Na de la plante entière aussi bien en contre saison qu'en hivernage. Cependant, les lignées sélectionnées et IKP 1 la variété source ne présentent pas de différences. La culture *in vitro* n'a donc pas induit de modifications dans la capacité de la plante entière à accumuler le Na.

Il ressort de la comparaison des lignées avec les témoins, qu'une seule lignée, TS1, a le contenu en Na au niveau de la plante entière le plus faible, en quoi elle ne diffère pas du témoin résistant IR 4630. Elle a aussi le rapport K/Na le plus élevé. D'une manière générale, les plantes tolérantes au sel ont un rapport K/Na plus élevé que celui de plantes sensibles (Akita et Cabuslay, 1990 ; Lutts, 1996). Cela est en partie justifié dans notre étude puisque TS1, la lignée la plus résistante du point de vue du rendement en contre saison, a aussi le meilleur rapport K/Na, tout comme IR 4630, témoin résistant. Cependant, IKP 0, l'autre témoin résistant ne présente pas un rapport K/Na équivalent à celui de TS1. De ce point de vue le rapport K/Na n'apparaît pas comme un critère suffisamment discriminant, au niveau de la plante entière, dans les conditions du Sahel. Il n'en demeure pas moins que la comparaison des lignées avec les témoins révèle clairement que la lignée TS1 est plus performante que la variété source (IKP 1) et le témoin résistant (IKP 0).

2.4 - Analyse de quelques caractères morphologiques *in vivo*

De nos analyses, il ressort que les lignées sélectionnées ont un petit angle de feuille paniculaire, ce qui constitue, avec un axe de panicule pendant, une très bonne protection contre les oiseaux granivores.

L'acceptabilité phénotypique, le port de la plante et l'exercion paniculaire semblent pour certaines lignées améliorés aussi bien par rapport à IKP 1 que par rapport à tous les témoins. Les variations induites par la cultures *in vitro* sont

particulièrement marquées dans le cas de l'exercition paniculaire conformément à l'hypothèse précédemment formulée par Bouharmont et Dekeyser, (1989).

L'analyse de la longueur de la feuille paniculaire montre des différences car ces feuilles pour la plupart sont plus courtes que celle de la variété source IKP 1. Là encore, la culture *in vitro* a induit des modifications.

Enfin, si l'on considère la sénescence, on peut constater qu'elle est particulièrement tardive chez TS1 ce qui justifie le bon remplissage du grain et partant le meilleur rendement par rapport aux autres lignées.

Cette étude descriptive, bien que réalisée en hivernage uniquement, montre que la culture *in vitro* a apporté des changements dans la morphologie des plantes et de ce point de vue la lignée, TS1, apparaît encore une fois, la plus performante.

2.5 - Effet des saisons

L'analyse des caractères agromorphologiques des entrées montre qu'en eau douce, malgré un indice de sénescence plus élevé ($p < 0.001$) les rendements sont significativement meilleurs ($p < 0.001$). Ceci pourrait s'expliquer par l'allongement des cycles en contre saison ($p < 0.001$).

Dans l'eau salée, les rendements ne diffèrent pas significativement entre les saisons, si l'on considère l'ensemble des entrées. Mais pour un même rendement, la culture en contre saison a duré 27 jours de plus.

L'effet des saisons pour la plupart des entrées se traduit par une réduction de rendement plus nette en contre saison qu'en hivernage. Exceptée TS15 sensible même en hivernage, les dix autres lignées ne sont sensibles qu'en contre saison.

Les entrées TS1 et IKP 0 les plus productives et pour lesquelles l'effet saisonnier est nul peuvent être considérées comme les mieux adaptées aux conditions de l'environnement. IR 4630 variété bien adaptée à la salinité semble moins performante dans les conditions du delta que IKP 0 et TS1. Ses rendements en eau douce, et en hivernage quand l'effet du sel est atténué, sont inférieurs à ceux de TS1 et IKP 0.

Les valeurs de la teneur en Na des feuilles sont plus élevées en contre saison qu'en hivernage, aussi bien en eau douce, qu'en eau salée ($p < 0.05$). La transpiration étant plus importante en contre saison, le sel absorbé s'accumule

d'avantage dans les tissus des feuilles, pendant cette saison (Yeo *et al.*, 1985 ; Yeo et Flowers, 1986 ; Asch, 1995).

L'effet des saisons est significatif sur les caractères aussi bien agromorphologiques que physiologiques mais variable selon les entrées. Il mériterait donc d'être pris en compte dans les programmes d'amélioration de la production dans le Sahel.

Dans l'ensemble, la lignée TS1 semble présenter les meilleures capacités d'adaptation aux conditions de l'environnement dans le Sahel à la fois de par son niveau de rendement par rapport à IR 4630 et sa tolérance au sel par rapport à IKP0.

II - COMPORTEMENT DE HUIT ENTREES TESTEES POUR LEUR VALEUR AGRONOMIQUE EN CONTRE SAISON

Au cours de cette étude sur l'analyse du rendement le comportement des entrées présente des variations importantes par rapport aux essais précédents.

L'analyse du rendement à partir de cet essai mis en place en 1995 montre des valeurs beaucoup plus faibles que celles de la contre saison précédente. Le même phénomène avait été observé préalablement par Dingkühn *et al* pendant la contre saison de 1991 avec plus de 50% de réduction de rendement, mais toujours en conditions d'irrigation et de salinité strictement contrôlées. En outre, cette importante baisse de rendement semble masquer les différences de comportement préalablement observées. Pour expliquer ces résultats apparemment contradictoires, nous avons eu recours à l'analyse des données météorologiques quotidiennes de la station de Ndiaye. C'est ainsi que nous avons pu non seulement confirmer les suggestions de Dingkühn *et al.* (1992) ; Miezán et Gaye (1994) sur l'impact probable des conditions climatiques, mais expliquer l'origine de la baisse de rendement observée. En effet, de toutes les conditions atmosphériques analysées, l'agitation de l'air a été sujette aux plus importantes variations, précisément au cours de la contre saison 1995 et de surcroît lors du passage de la phase végétative à la phase reproductrice (voir annexes). Dans une telle situation l'appel d'eau exercé par les parties aériennes au cours de la transpiration a provoqué en toute vraisemblance une forte accumulation de sel dans les feuilles. En accord avec cette hypothèse, la mesure des teneurs en Na montre que les feuilles récoltées en 1995 sont effectivement plus chargées en Na que celles récoltées en 1994. Ainsi, chez le témoin sensible IR 31785 qui présente les baisses de rendement les plus drastiques (123,53 g/m² en 94 contre 23,23 g/m² en 95) les teneurs en Na passent respectivement de 12,34 mg/g à 43,99 mg/g de matière sèche.

CONCLUSION

Le travail réalisé lors de cette étude entre dans le cadre des programmes d'amélioration de l'adaptation du riz en milieu salé. Des lignées sélectionnées en présence de sel *in vitro*, à partir de cals régénérés par embryogenèse somatique ont été testées à l'échelle du champ. Ces lignées, capables d'accomplir la totalité de leur cycle en présence de sel, ont été comparées à la variété source pour évaluer l'impact de la variation somaclonale mais également à des variétés de référence reconnues pour leur résistance ou leur sensibilité au sel.

Action du sel

En contre saison comme en hivernage le sel provoque une réduction de la biomasse aérienne et un allongement du cycle chez toutes les entrées. La sénescence foliaire plus rapide entraîne une mauvaise redistribution des assimilats et du même coup une baisse de rendement. Le comportement des témoins de référence IR 4630, variété résistante et IR 31785, variété sensible, a permis d'établir qu'en culture de contre saison les limites de tolérance au sel sont plus vite atteintes dans les conditions arides du Sahel que dans les environnements plus humides dans lesquels le riz est habituellement cultivé.

Impact de la variation somaclonale

La variété source, IKP 1, a subi en culture *in vitro* des modifications aussi bien quantitatives que qualitatives. L'existence d'une variation somaclonale est confirmée par le caractère héréditaire des modifications et la stabilité des générations.

L'analyse des caractères exprimés par les lignées issues de IKP 1, a permis de constater que 5 parmi les 15 lignées sont plus résistantes au sel que

la variété source. Toutefois, les discriminations les plus nettes s'observent dans les conditions de culture les moins sévères. En effet, les contraintes du milieu peuvent atténuer voire masquer les différences induites par la culture *in vitro*. En absence de toute contrainte (culture en eau douce et pendant l'hivernage), les lignées se distinguent de la variété source et entre elles pour plusieurs caractères généralement recherchés dans les programmes de sélection : la taille, l'acceptabilité phénotypique, le port de la plante, l'exercion paniculaire.

Variations saisonnières

Le rendement, critère le plus valable pour tout programme d'amélioration, est profondément affecté par le sel en contre saison. En outre, les réductions de rendement sont très différentes d'une lignée à l'autre contrairement aux caractères physiologiques qui ne se sont pas toujours révélés assez discriminants. L'effet saisonnier s'est particulièrement manifesté durant la dernière contre saison du fait d'une vitesse du vent plus importante par rapport à la saison précédente. Les résultats obtenus au cours de l'essai de 1995 confirment le fait que le sel constitue le principal facteur limitant la productivité du riz dans nos conditions expérimentales. Il permettent de souligner également que tout facteur susceptible d'augmenter la transpiration des plantes provoque une accumulation plus importante de sel dans les feuilles et partant une baisse de rendement.

La variation somaclonale a donné des lignées améliorées pour certains caractères par rapport à la variété source (hauteur de la plante, rendement). Mais si l'on considère les témoins de référence IR 4630 variété résistante au sel et IR 31785 variété sensible, seule la lignée TS1 se distingue de toutes les autres pour l'ensemble de ses performances.

Les lignées sélectionnées *in vitro* sont toutes issues de IKP 0 qui est dotée d'une résistance à la salinité supérieure à celle de bon nombre d'autres variétés de riz sélectionnées pour le delta du fleuve Sénégal. Dans notre étude, la variation somaclonale a permis d'induire une réduction de la taille de la plante qui constitue un avantage. Ce caractère n'est pas négligeable dans les conditions du delta, où à cause des vents très forts, les variétés à paille haute sont sujettes à la verse. La variété IR 31785-58-1-2-3-3 bien adaptée aux conditions du Sahel grâce à sa précocité et à sa petite taille, mais extrêmement sensible à la salinité pourrait être améliorée en culture *in vitro*.

La lignée TS1, qui présente les mêmes performances que les témoins résistants (IKP 0 et IR 4630) semble prometteuse pour les conditions du delta. Cette lignée présente les mêmes potentialités que IKP 0, qui avec Jaya,

constituent les deux variétés les plus communément cultivées dans la vallée du fleuve Sénégal pour leurs rendements élevés, et leurs qualités organoleptiques. IKP 0 n'est cependant pas très prisée pour la consommation, à cause de la qualité de son grain (Miezan, 1991). Il importe donc de tester la qualité de grains de TSI et de vérifier les observations de Schaeffer (1982), Larkin et Scowcroft (1983), Larkin *et al.* (1984), Cooper *et al.* (1986), montrant que ce caractère change beaucoup chez les variants somaclonaux.

D'une manière générale, les lignées sont testées en conditions contrôlées (au laboratoire). Elles le sont rarement en milieu semi-contrôlées (au champ), comme dans ce travail. Toutefois, il serait intéressant de les étudier en milieu du champ paysan, sur sols naturels et salés.

Par ailleurs, le problème de la salinisation des sols n'est pas spécifique au seul delta du fleuve Sénégal. En Casamance aussi, la salinité des sols de l'estuaire du fleuve demeure un facteur limitant la production et bien que le riz ne soit cultivé que pour les besoins familiaux, des variétés résistantes au sel pourraient également présenter un intérêt dans ce système de production.

Tableau III : Effet global simulé du sel sur les caractères agromorphologiques de l'ensemble des entrées, en contre saison (essai 1) et en hivernage (essai 2).

** et *** = significatif à $p < 0,01$ et $p < 0,001$.

	Contre saison			Hivernage		
1 - Croissance végétative						
Variables	ED	ES	ES/ED (%)	ED	ES	ES/ED (%)
Biomasse végétative (BV) (gm ⁻²)	336,49***	224.07	66.66	264,24***	205	77.58
Nombre de talles (m ²)	446.76	540,13***	121	356.84	460,76***	129
Biomasse à maturité (gm ⁻²)	1435,94***	1092.38	76.1	1107,17***	943.86	85.3
Hauteur (cm)	85,29***	73.73	86.44	89,87***	76.43	85.04
Feuilles/BV (rapport)	0.31	0,40***		0.37	0,39**	
Racines/BV (rapport)	0.28	0.27		0.24	0,29***	
2 - Développement						
Tissus morts/BV (rapport)	0.04	0,07***		0.021	0,034***	
Indice de sénescence (%)	3.99	7,68***		2.15	3,37***	
Indice de fertilité (%)	90.73	93.56		88,7**	83.03	
Taux de stérilité (%)	22.57	39,18***		28.08	31.82	
Cycle à 50% de floraison (jours)	121	125*		88	91***	
Cycle à maturité (jours)	148***	145		118	118	
3 - Composantes de rendement et rendement						
Nombre de panicules (m ²)	402.31	505,46***	125.6	314.94	382,88***	121.6
Indice de récolte (rapport)	0,56***	0.41		0,58***	0.46	
Nombre d'épillets/panicule	74,38***	48.69		115,72***	79.7	
Pourcentage d'épillets pleins (%)	77,43***	60.82		71.92	68.18	
Poids de 100 grains pleins (g)	3,3***	2.39	72.4	2,3***	1.82	79.1
Rendement (gm ⁻²)	729,9***	345.74	47.36	590,58***	366.13	62

Tableau IV : Effet du sel sur la croissance végétative des différentes entrées en contre saison (essai 1).*, **, *** = significatif respectivement à $p < 0,05$, $0,01$ et $0,001$.

Feuil/biom végétative = poids des feuilles/poids de la biomasse végétative

Rac/biom végétative = poids des racines/poids de la biomasse végétative

ED = eau douce ; ES = eau salée

Entrées	Biomasse végétative		Nombre de talles		Biomasse à maturité		Hauteur		Feuil/biom végétative		Rac/biom végétative	
	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES
TS1	338.30*	258.30	466.11	613.89**	1578.43	1269.10	83.16*	74.71	0.31	0.38	0.26	0.26
TS2	348.57	211.50	429.44	554.44**	1321.01	981.18	78.32*	66.87	0.31	0.42	0.29	0.30
TS3	306.10	255.53	387.78	486.11	1341.69**	994.37	80.83**	68.56	0.33	0.39	0.35	0.24
TS4	276.97	174.33	504.44	540.56	1449.46*	1074.28	82.95**	69.10	0.37	0.48	0.33	0.28
TS5	277.90	254.20	466.67	478.89	1421.12	1030.38	80.45*	68.77	0.35	0.38	0.29	0.26
TS6	366.30	249.00	445.00	563.89*	1332.49*	1079.88	83.57**	69.71	0.30	0.38	0.16	0.25
TS7	354.27*	178.87	426.67	537.78	1232.46*	1026.75	78.73*	68.53	0.33	0.38	0.25	0.33
TS8	336.27	228.00	485.56	546.67	1606.06	1201.03	89.23	80.11	0.33	0.42***	0.27	0.30
TS9	342.73*	225.97	426.11	495.56	1537.38***	1014.37	88.04**	73.52	0.34	0.39	0.28	0.28
TS10	342.63***	213.40	460.56	504.44	1404.14*	1093.29	87.39**	75.66	0.29	0.41*	0.30	0.28
TS11	310.80	241.33	435.56	548.33**	1381.68*	1072.63	83.15**	68.99	0.33	0.39	0.30	0.22
TS12	262.40	235.13	402.22	519.17**	1408.58*	1132.39	84.37**	72.69	0.35	0.40	0.31	0.28
TS13	345.07*	191.57	385.00	491.11**	1440.52*	930.99	88.91**	76.00	0.28	0.40*	0.30*	0.22
TS14	367.67	231.17	460.56	544.44	1541.83*	1077.06	83.77**	69.95	0.32	0.39	0.23	0.23
TS15	354.97**	244.10	408.89	502.78	1427.40	1099.68	84.22*	73.55	0.34	0.38	0.24	0.26
IKP 0	332.43*	238.37	490.00	607.22*	1610.02	1328.82	88.47	84.23	0.29	0.39**	0.29	0.26
IKP 1	456.47*	203.30	475.56	535.00	1485.16	1054.73	88.20*	76.18	0.28	0.49	0.25	0.27
IR 31785	353.47***	188.87	536.67	640.00*	1166.83*	672.22	75.17***	59.30	0.31	0.44 ***	0.29	0.29
IR 4630	319.90	282.97	357.78	552.22**	1598.04	1629.12	111.60*	103.50	0.31	0.33	0.36	0.34

Tableau V : Effet du sel sur la croissance végétative des différentes entrées en hivernage (essai 2).

*, **, *** = significatif respectivement à $p < 0,05$, $0,01$ et $0,001$.

feuil/biom végétative = poids des feuilles/poids de la biomasse végétative

rac/biom végétative = poids des racines/poids de la biomasse végétative

ED = eau douce ; ES = eau salée

Entrées	Biomasse végétative		Nombre de talles		Biomasse à maturité		Hauteur		Feuil/biom végétative		Rac/biom végétative	
	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES
TS1	210.67	192.73	400.56	460.56	1240.32***	911.61	79.94*	73.95	0.42	0.44	0.29	0.31
TS2	283.26*	205.03	359.44	480.00*	1045.08	970.61	87.17***	73.36	0.30	0.37	0.23	0.27
TS3	197.80	152.03	318.33	456.11**	1024.18	841.56	88.65***	73.86	0.38	0.41	0.31	0.35
TS4	194.90	147.17	416.67	638.89*	1063.47	1083.93	85.17***	71.11	0.43	0.46	0.14	0.25*
TS5	282.03	201.60	373.33	466.11*	1129.11*	970.73	85.32**	74.58	0.33	0.40	0.21	0.38
TS6	252.57	228.30	340.56	357.78	1031.83	938.72	88.10**	73.53	0.38	0.39	0.31	0.35
TS7	184.67	141.33	407.78	491.11*	1167.44**	924.07	87.48***	75.19	0.41	0.46	0.24	0.35*
TS8	246.27	190.50	410.56	410.56	1228.26*	1015.38	90.34***	77.91	0.36	0.41	0.28	0.33
TS9	218.93	217.67	318.89	472.22***	1054.38	1006.18	92.21**	76.53	0.40	0.43	0.27	0.24
TS10	287.83	286.00	311.67	392.20***	1108.44*	936.52	97.45**	79.21	0.35	0.38	0.21	0.31
TS11	233.01**	160.70	367.22	445.00*	1062.30	805.40	90.61**	77.56	0.35	0.37	0.25	0.24
TS12	199.27	205.10	351.67	428.33*	1243.15	1022.42	86.56*	75.83	0.40	0.42	0.29	0.29
TS13	233.60	232.87	343.33	645.56*	1131.23	1240.96	91.67*	78.35	0.39	0.38	0.26	0.31
TS14	235.30	226.07	361.67	420.56*	1211.64**	870.90	86.61*	78.08	0.41	0.39	0.18	0.22
TS15	271.67	224.97	320.00	441.67***	1039.28*	828.78	92.2**	78.89	0.36	0.38	0.19	0.21
IKP 0	363.17	277.47	347.22	448.89	1091.76	957.87	95.42*	79.01	0.31	0.33	0.19	0.24
IKP 1	257.63	237.80	371.11	402.22	1185.48*	977.76	100.05***	80.89	0.38	0.36	0.20	0.27
IR 31785	309.23	209.63	401.67	530.56*	947.04	656.16	78.96**	63.63	0.36	0.36	0.28	0.32
IR 4630	216.80	158.23	258.33	366.11*	1031.98	973.81	103.77***	87.53	0.37	0.40	0.26	0.42*

Tableau VI : Effet du sel sur les caractères du développement des différentes entrées en contre saison (essai 1).

*, **, *** = significatif respectivement à $p < 0,05$, $0,01$ et $0,001$.
 ts morts/biom végétative = poids des tissus morts/poids de la biomasse végétative
 sénescence = indice de sénescence
 cycle à floraison = longueur du cycle à 50% de floraison
 ED = eau douce ; ES = eau salée

Entrées	Ts morts/biom végétative		Sénescence		Indice de fertilité		Totaux de stérilité		Cycle à floraison		Cycle à maturité	
	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES
TS1	0.03	0.08	3.36	8.09	95.51	93.87	19.75	29.21	127	132 **	149	155***
TS2	0.05	0.09	5.03	8.80	91.53	92.98	27.99	55.86*	119	124 *	147***	142
TS3	0.05	0.08**	4.66	8.40**	97.24	93.91	28.52	33.81	120	125**	147**	142
TS4	0.03	0.09*	3.02	8.58*	90.42	92.72	33.00	42.03	118	125**	147	144
TS5	0.04	0.07**	3.51	7.40**	87.87	89.83	26.08	37.19	117	121	147**	142
TS6	0.04	0.07*	3.63	7.46	96.06	95.58	26.89	35.73	118	124**	148*	144
TS7	0.05	0.06	5.31	5.82	77.29	94.17	26.97	30.86	123	130**	150	148
TS8	0.04	0.06	3.65	6.48	83.67	92.87	11.21	30.54	122	126**	147*	144
TS9	0.05	0.07	4.95	6.61	97.13	86.00	21.55	42.14	122	126	149*	144
TS10	0.04	0.07*	4.29	7.12*	82.11	97.23	19.05	46.46**	121	121	147***	142
TS11	0.04	0.08**	3.68	8.22*	87.80	96.82*	14.81	28.70	118	124**	145***	141
TS12	0.03	0.07*	3.20	7.22*	95.90	96.31	21.44	44.09*	118	126**	147***	143
TS13	0.05	0.07	4.72	6.55	83.14	94.66	22.73	50.29	121	126*	146***	143
TS14	0.05	0.09	4.58	9.19	91.04	94.64	27.69	34.59	118	124*	147	143
TS15	0.04	0.08	4.05	8.23	97.93	95.48	20.48	33.50	118	122**	147***	141
IKP 0	0.04	0.08	3.60	7.89	94.49	91.60	16.33	30.01*	132	135***	156	157
IKP 1	0.05	0.10*	4.97	9.95*	88.51	91.08	19.01	29.47	118	122*	145	143
IR 31785	0.04	0.09	3.53	8.64	93.86	96.12	32.62	78.44***	110	101***	140**	130
IR 4630	0.02	0.05*	2.16	5.39*	92.54	91.91	13.76	31.57	138	147***	168	175***

Tableau VII : Effet du sel sur les caractères du développement des différentes entrées en hivernage (essai 2).*, **, *** = significatif respectivement à $p < 0,05$, $0,01$ et $0,001$.

ts morts/biom végétative = poids des tissus morts/poids de la biomasse végétative

sénescence = indice de sénescence

cycle à floraison = longueur du cycle à 50% de floraison

ED = eau douce ; ES = eau salée

Entrées	Ts morts/biom végétative		Sénescence		Indice de fertilité		Taux de stérilité		Cycle à floraison		Cycle à maturité	
	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES
TS1	0.03	0.03	2.99	2.94	92.21**	72.92	30.77*	21.59	90	93	119	120
TS2	0.01	0.01	1.34	2.28	85.52	82.63	40.10	32.20	90	92*	118	119
TS3	0.02	0.02	1.64	2.60*	90.96	82.59	28.56	36.03	87	92**	117	118
TS4	0.02	0.02	1.86	1.77	77.92	84.74	32.95	42.99	88	92**	118	116
TS5	0.03	0.04	2.97	4.28	90.06	91.97	38.45	33.30	88	91**	118	118
TS6	0.02	0.05*	2.89	5.36	89.00	80.94	27.97	33.06	88	91***	118	118
TS7	0.03	0.05	3.58	5.02	85.86	85.40	22.36	28.56**	89	92*	120	119
TS8	0.01	0.03*	1.45	3.32*	81.33	91.41	25.81	22.93	91	91	120	118
TS9	0.01	0.02	1.27	2.13	96.00*	86.07	25.41	24.72	91	94*	120	119
TS10	0.01	0.03	1.19	2.90*	92.69	73.52	21.22	25.03	89	90	118	117
TS11	0.02	0.03	1.91	2.60	86.26	82.61	29.70	39.63	88	90	118	117
TS12	0.03	0.04	2.87	4.50	94.24	80.40	29.70	23.40	86	91*	118	118
TS13	0.02	0.04	2.48	3.72	85.81	87.25	29.16	37.37	87	89*	118	118
TS14	0.02	0.03	2.10	2.91	90.14	79.06	42.35	32.75	89	91*	118	117
TS15	0.03	0.05	3.36	5.01	94.70	80.24	26.54	40.54**	88	91**	118	117
IKP 0	0.02	0.03	1.93	2.84	95.13	84.39	15.82	24.52	91	92	120	120
IKP 1	0.02	0.03	2.29	3.59	84.37	82.71	26.58*	17.89	88	92**	118	118
IR 31785	0.01	0.03	1.42	3.06	83.33	82.08	27.83	61.62	77	77	110	109
IR 4630	0.01	0.03	1.39	3.21	89.92	86.74	12.29	26.37*	95	97*	122	128**

Tableau VIII : Effet du sel sur les composantes du rendement et sur le rendement des différentes entrées en contre saison (essai 1).

*, **, *** = significatif respectivement à $p < 0,05$, $0,01$ et $0,001$.

% d'épillets pleins = pourcentage d'épillets pleins

ED = eau douce ; ES = eau salée

Entrées	Nombre de panicules		Indice de récolte		Nombre d'épillets/panicule		% d'épillets pleins		Poids 100 grains pleins		Rendement	
	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES
TS1	444.44	576.11**	56.01**	45.35	59.37	45.78	80.25	70.79	3.80*	2.71	809.40*	482.17
TS2	393.89	515.00*	57.72***	40.73	66.71	57.14	72.01*	44.14	3.22**	2.24	604.01***	282.41
TS3	376.67	455.56*	58.33***	39.33	77.13***	44.90	71.48	66.19	3.35***	2.13	692.31***	288.22
TS4	452.22	503.89	58.60**	40.68	79.87	48.86	67.00	57.97	3.25**	2.38	737.57**	331.83
TS5	405.00	426.67	58.66**	45.00	84.59	62.91	73.92	62.81	2.95*	2.25	741.91*	366.47
TS6	426.67	539.44*	57.13***	42.40	71.47**	42.10	73.11	64.27	3.40**	2.32	755.37***	334.96
TS7	336.11	508.89	53.60**	41.69	86.81	39.60	73.03	69.14	3.21*	2.53	596.80**	340.36
TS8	403.33	507.22*	57.05**	43.95	69.65	48.76	88.79	69.46	3.42**	2.46	845.46*	423.94
TS9	412.78	425.56	57.44**	43.71	75.06	64.57	78.45	57.86	3.27*	2.36	793.96***	347.84
TS10	373.33	491.11*	56.95***	40.19	73.87	55.13	80.95**	53.54	3.28**	2.20	722.83***	316.86
TS11	382.22	531.11**	57.46***	42.58	76.64**	39.08	85.19	71.30	2.99*	2.36	736.05**	341.52
TS12	385.00	500.00***	56.19**	43.31	73.17**	56.07	78.56*	55.91	3.26***	2.35	719.50**	364.82
TS13	318.89	463.89	56.71***	37.41	104.09	57.90	77.27	49.71	3.12*	2.06	742.57**	257.09
TS14	416.67	515.56*	57.52**	42.52	87.79**	44.77	72.31	65.41	3.22**	2.26	840.34**	338.70
TS15	400.00	478.33*	57.94***	42.57	83.41	45.10	79.52	66.50	3.00	2.54	750.41*	358.59
IKP 0	462.78	556.11*	54.06**	43.15	53.74*	42.50	83.67**	69.99	3.84**	2.86	794.88**	471.49
IKP 1	420.56	486.67	56.51***	39.51	79.12	42.63	80.99	70.53	3.00	2.26	772.11**	326.09
IR 31785	504.44	615.00*	57.81***	36.46	57.94	42.05	67.38***	21.56	2.88	2.28	557.52**	123.53
IR 4630	328.89	507.78**	44.01**	34.09	52.92	45.32	86.24	68.43	4.41*	3.07	655.10*	470.19

Tableau IX : Effet du sel sur les composantes du rendement et sur le rendement des différentes entrées en hivernage (essai 2).

*, **, *** = significatif respectivement à $p < 0,05$, $0,01$ et $0,001$;

% d'épillets pleins = pourcentage d'épillets pleins ; ED = eau douce ; ES = eau salée

Entrées	Nombre de panicules		Indice de récolte		Nombre d'épillets/panicule		% d'épillets pleins		Poids 100 grains pleins		Rendement	
	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES
TS1	368.89	336.67	56.14	50.41	110.07	84.56	69.23	78.41*	2.25*	1.88	633.63*	407.37
TS2	305.56	397.78	59.57***	44.25	135.72**	75.08	59.9	67.80	2.31***	1.77	570.78***	352.31
TS3	289.44	372.78*	60.00***	43.18	124.92	75.35	71.44	63.97	2.23***	1.64	575.69**	292.69
TS4	326.67	540.00*	59.79**	41.37	117.66	67.34	67.05	57.01	2.32***	1.85	585.09	402.10
TS5	336.67	428.89	56.53**	48.85	132.78	76.46	61.55	66.70	2.15*	1.95	576.10**	422.27
TS6	303.33	291.67	58.79**	44.31	114.69	106.04	72.03	66.94	2.26***	1.77	564.50*	360.38
TS7	349.44	419.44*	62.40**	47.31	112.00*	71.76	77.64**	71.44	2.28*	1.89	688.89***	400.93
TS8	331.11	376.11	57.47	52.53	112.54*	87.85	74.19	77.07	2.28***	1.79	629.05***	451.00
TS9	306.11	406.11**	58.57***	45.74	104.27*	69.80	74.59	75.28	2.36**	1.81	558.63**	385.69
TS10	288.89	290.00	61.75**	47.27	120.97	100.20	78.78	74.97	2.37**	1.83	652.91***	386.79
TS11	316.67	365.56*	57.49*	42.24	110.13	73.23	70.30	60.37	2.17**	1.80	534.20*	286.69
TS12	331.11	342.78	57.70***	46.20	128.20**	87.43	70.30	76.60	2.19**	1.75	654.68*	397.96
TS13	295.00	562.78	56.85***	46.53	128.35*	83.67	70.84	62.63	2.18***	1.71	577.46	505.69
TS14	326.11	330.00	56.57**	47.17	143.17	88.98	57.65	67.25	2.34***	1.81	604.71**	349.86
TS15	303.33	355.83	58.95***	36.47	111.97*	67.18	73.46**	59.46	2.27***	1.81	564.49***	248.69
IKP 0	330.00	376.11*	62.21*	51.29	95.54	81.95	84.18	75.48	2.46***	1.76	650.64**	406.62
IKP 1	312.78	337.78	59.83***	48.91	120.14	92.21	73.42	82.11*	2.29**	1.65	630.21***	398.40
IR 31785	331.11	427.78	57.86**	45.17	86.92	65.75	72.17	38.38	2.37	1.92	486.37*	181.96
IR 4630	231.67	316.67**	51.60*	37.60	88.67**	59.54	87.71**	73.63	2.68***	2.30	483.09**	319.23

Tableau X : comparaison des lignées entre elles et avec IKP 1, en contre saison (essai 1)
2 moyennes qui ont la même lettre ne sont pas différentes à $p < 0,05$

(1) = moyenne cumulée eau douce + eau salée ; (2) = moyenne en eau douce ; (3) = moyenne en eau salée.

Les caractères ne présentant aucune différence significative ne figurent pas sur le tableau (nombre de talles, biomasse à maturité, rapport entre les feuilles ou les racines et la biomasse végétative, indice de sénescence, indice de fertilité, taux de stérilité, nombre de panicules, indice de récolte, nombre d'épillets/panicule).

Entrées	Hauteur (1)	Cycle à 50 % de floraison (1)	Cycle à 50 % de floraison (2)	Cycle à 50 % de floraison (3)	Cycle à maturité (1)	Cycle à maturité (2)	Cycle à maturité (3)	Poids de 100 grains pleins (1)	Rendement (1)
TS1	78,93 abcd	129,17 a	126,67 b	131,67 a	152,00 a	149,33 bc	154,67 a	3,25 a	645,79 a
TS2	72,60 d	121,50 cdefg	118,67 fghi	124,33 bcde	144,50 cde	147,00 bcde	142,00 gh	2,73 ab	443,21 c
TS3	74,70 cd	122,67 cdef	120,33 efghi	125,00 bcd	144,33 cde	147,00 bcde	141,67 gh	2,73 ab	490,27 abc
TS4	76,02 bcd	122,17 defg	117,67 hi	124,67 bcde	145,50 cde	147,00 bcde	144,00 efgh	2,82 ab	534,71 abc
TS5	74,61 cd	118,83 g	116,67 i	121,00 defgh	144,33 cde	147,00 bcde	141,67 gh	2,60 b	554,19 abc
TS6	76,64 bcd	121,00 efg	118,00 ghi	124,00 bcde	145,83 cd	148,00 bcd	143,67 efgh	2,86 ab	545,17 abc
TS7	73,63 d	126,17 b	122,67 bcdef	129,67 a	149,00 b	150,00 b	148,00 bcd	2,87 ab	468,58 bc
TS8	84,67 a	124,00 c	122,33 cdefg	125,67 bc	145,67 cd	147,00 bcde	144,33 defgh	2,94 ab	634,70 ab
TS9	80,78 abc	123,83 cd	122,00 cdefgh	125,67 bc	146,67 c	149,00 bc	144,33 defgh	2,82 ab	570,90 abc
TS10	81,53 ab	121,17 defg	121,00 defgh	121,33 cdefgh	144,50 cde	147,00 bcde	142,00 gh	2,74 ab	519,85 abc
TS11	76,07 bcd	120,67 efg	118,00 ghi	123,67 bcde	143,00 e	145,00 defg	141,00 h	2,67 b	538,79 abc
TS12	78,53 abcd	121,67 cdefg	117,67 hi	125,67 bc	145,07 cde	147,00 bcde	143,33 efgh	2,80 ab	542,16 abc
TS13	82,45 ab	123,17 cde	120,67 defghi	125,67 bc	144,50 cde	146,00 cdef	143,00 fgh	2,59 b	499,83 abc
TS14	76,86 bcd	120,67 efg	117,67 hi	123,67 bcde	145,00 cde	147,00 bcde	143,00 fgh	2,74 ab	589,52 abc
TS15	78,89 abcd	119,83 fg	118,00 ghi	121,67 cdefgh	144,00 de	147,00 bcde	141,00 h	2,77 ab	554,50 abc
IKP 1	82,19 ab	120,00 fg	118,00 ghi	122,00 cdefgh	144,17 cde	145,00 defg	143,33 efgh	2,63 b	549,10 abc

Tableau XI : Comparaison des lignées entre elles et avec IKP 1, en hivernage (essai 2)
2 moyennes qui ont la même lettre ne sont pas différentes à $p < 0,05$

(1) = moyenne cumulée eau douce + eau salée ; (2) = moyenne en eau douce ; (3) = moyenne en eau salée.

Les caractères ne présentant aucune différence significative ne figurent pas sur le tableau

(nombre de talles, biomasse à maturité, indice de fertilité, nombre de panicules, indice de récolte, nombre d'épillets/panicule, poids de 100 grains pleins, rendement)

Entrées	Racines / Biomasse végétative (1)	Feuilles/ Biomasse végétative (1)	Hauteur (1)	Hauteur (2)	Hauteur (3)	Indice de sénescence (1)	Taux de stérilité (1)	Taux de stérilité (2)	Taux de stérilité (3)	Cycle à 50 % de floraison
TS1	0,30 ab	0,43 ab	76,94 g	79,94 efg	73,95 fgh	2,97 abcd	26,18 abcde	30,77 abcd	21,59 cd	91,67 ab
TS2	0,25 ab	0,34 c	80,27 defg	87,17 bc	73,36 gh	1,81 cd	36,15 abc	40,10 abc	32,20 abcd	91,00 abc
TS3	0,33 a	0,39 abc	81,25 cdefg	88,65 bc	73,86 fgh	2,12 cd	32,30 abcde	28,56 abcd	36,03 abcd	89,50 cde
TS4	0,20 b	0,44 a	78,14 fg	85,17 cde	71,11 h	1,81 cd	37,97 a	32,95 abcd	42,99 a	90,33 bcd
TS5	0,30 ab	0,37 abc	79,95 efg	85,32 cde	74,58 fgh	3,63 abc	35,87 abc	38,45 abc	33,30 abcd	89,67 cde
TS6	0,33 a	0,38 abc	80,77 defg	88,01 bc	73,53 gh	4,13 ab	30,51 abcde	27,97 abcd	33,06 abcd	89,67 cde
TS7	0,29 ab	0,43 a	81,33 cdefg	87,48 bc	75,19 fgh	4,30 a	25,46 bcde	22,36 bcd	28,56abcd	90,67 abc
TS8	0,31 ab	0,39 abc	84,12 bcde	90,34 bc	77,91 fgh	2,38 bcd	24,37 cde	25,81abcd	22,93 bcd	91,17 bcd
TS9	0,25 ab	0,42 ab	84,37 cde	92,21 b	76,53 fgh	1,70 d	25,07 cde	25,41 abcd	24,72 abcd	92,33 a
TS10	0,26 ab	0,37 abc	88,33 ab	97,45 a	79,21 fg	2,05 cd	23,12 de	21,22 cd	25,03 abcd	89,50 cde
TS11	0,25 ab	0,36 bc	84,08 bcde	90,61 bc	77,56 fgh	2,26 cd	34,67 abcd	29,70 abcd	39,63 abc	89,17 cde
TS12	0,29 ab	0,41 ab	81,18 cdefg	86,56 bcd	75,81 fgh	3,69 abc	26,54 abcde	29,69 abcd	23,40 abcd	88,50 de
TS13	0,28 ab	0,38 abc	85,01 bcd	91,67 bc	78,35 fg	3,10 abcd	33,26 abcde	29,16 abcd	37,37 abcd	87,83 e
TS14	0,20 b	0,40 abc	82,34 cdef	86,61 bcd	78,08 fg	2,51 abcd	37,55 ab	42,35 ab	32,75 abcd	89,83 bcd
TS15	0,20 b	0,37 abcd	85,59 bc	92,28 b	78,89 fg	4,18 ab	33,54 abcde	26,54 abcd	40,54 abc	89,67 cde
IKP 1	0,23 ab	0,37 abc	90,47 a	100,05 a	80,89 def	2,94 abcd	22,23 e	26,58 abcd	17,89 d	90,00 bcd

Tableau XII : Comparaison des caractères de la croissance végétative entre les lignées et des témoins d'origines différentes, en contre saison (essai 1)

(1) = moyenne cumulée eau douce + eau salée
 2 moyennes qui n'ont pas de lettre commune sont différentes à $p < 0,05$
 Les caractères ne présentant aucune différence significative ne figurent pas sur le tableau
 (rapports du poids des feuilles et des racines sur la biomasse végétative)

Entrées	Nombre de talles (1)	Biomasse à maturité (1)	Hauteur(1)
TS1	540,00 ab	1423,77 abc	78,93 cdefg
TS2	491,95 ab	1151,10 bc	72,60 g
TS3	436,94 b	1168,03 bc	74,70 fg
TS4	522,50 ab	1261,87 bc	76,02 efg
TS5	472,78 b	1225,75 bc	74,61 fg
TS6	504,44 ab	1288,68 bc	76,64 defg
TS7	482,22 b	1129,61 bc	73,63 g
TS8	516,11 ab	1403,54 abc	84,67 bc
TS9	460,83 b	1275,87 bc	80,78 bcdef
TS10	482,50 b	1248,68 bc	81,53 bcde
TS11	491,94 ab	1227,15 bc	76,07 efg
TS12	460,70 b	1270,48 bc	78,53 defg
TS13	438,06 b	1185,76 bc	82,45 bc
TS14	502,50 ab	1309,44 bc	76,86 defg
TS15	455,83 b	1263,54 bc	78,89 cdefg
IKP 0	548,56 ab	1469,42 ab	86,35 b
IKP 1	505,28 ab	1269,94 bc	82,19 bcde
IR 31785	588,33 a	919,53 d	67,23 h
IR 4630	455,00 b	1610,08 a	107,55 a

Tableau XIII : Comparaison des caractères du développement entre les lignées et des témoins d'origines différentes en contre saison (essai 1).

(1) = moyenne cumulée eau douce + eau salée ; (2) = moyenne eau douce ; (3) = moyenne eau salée

2 moyennes qui n'ont pas de lettre commune sont différentes à $p < 0,05$

Les caractères ne présentant aucune différence significative ne figurent pas sur le tableau
(indice de sénescence, indice de fertilité)

Entrées	Taux de stérilité (1)	Cycle à 50 % de floraison (1)	Cycle à 50 % de floraison (2)	Cycle à 50 % de floraison (3)	Cycle à maturité (1)	Cycle à maturité (2)	Cycle à maturité (3)
TS1	24,48 b	129,17 c	126,67 e	131,67 d	159,00 c	149,33 de	154,67 c
TS2	41,93 b	121,50 fg	118,67 jkl	124,33 efghi	144,50 efg	147,00 defg	142,00 ijk
TS3	31,17 b	122,67 ef	120,33 ijkl	125,00 efg	144,33 efg	147,00 defg	141,67 ijk
TS4	37,51 b	121,17 fgh	117,67 kl	124,67 efgh	145,50 ef	147,00 defg	144,00 ghij
TS5	31,64 b	118,83 h	116,67 l	121,00 ghijk	144,33 efg	147,00 defg	141,67 ijk
TS6	31,30 b	121,00 fgh	118,00 kl	124,00 efghi	145,83ef	148,00def	143,67 ghij
TS7	28,92 b	126,17 d	122,67 fghi	129,67 d	149,00 d	150,00 d	148,00 def
TS8	20,87 b	124,00 e	122,33 fghij	125,67 ef	145,67 ef	147,00 defg	144,33 fghij
TS9	31,85 b	123,43 e	122,00 fghij	125,67 ef	146,67 e	149,00 de	144,33 fghij
TS10	32,75 b	121,17 fgh	121,00 ghijk	121,33 ghijk	144,50 efg	147,00 defg	142,00 ijk
TS11	21,76 b	120,83 fgh	118,00 kl	123,67 efghi	143,00 g	145,00 fghi	141,00 jk
TS12	32,76 b	121,67 fg	117,67 kl	125,67 ef	145,17 efg	147,00 defg	143,33 ghijk
TS13	36,51 b	123,17 ef	120,67 hijk	125,67 ef	144,50 efg	146,00 efgh	143,00 hijk
TS14	31,14 b	120,67 fgh	117,67 kl	123,67 efghi	145,00 efg	147,00 defg	143,00 hijk
TS15	26,99 b	119,83 gh	118,00 kl	121,67 fghijk	144,00 fg	147,00 defg	141,00 jk
IKP 0	23,18 b	133,67 b	132,00 d	135,33 c	156,50 b	156,00 c	157,00 c
IKP 1	24,24 b	120,00 gh	118,00 kl	122,00 fghij	144,17 efg	145,00 fghi	143,33 ghijk
IR 31785	55,53 a	105,50 i	110,33 m	100,67 n	135,17 h	140,00 k	130,33 l
IR 4630	22,66 b	142,67 a	138,33 b	147,00 a	171,50 a	168,00 b	175,00 a

Tableau XIV : Comparaison des composantes de rendement et du rendement entre les lignées et des témoins d'origines différentes, en contre saison (essai 1)

(1) = moyenne cumulée eau douce + eau salée ; (2) = moyenne eau douce ; (3) = moyenne eau salée
2 moyennes qui n'ont pas de lettre commune sont différentes à $p < 0,05$

Entrées (1)	Nombre de panicules (1)	Indice de récolte (1)	Indice de récolte (2)	Indice de récolte (3)	Nombre d'épillets par panicule (1)	Poids de 100 grains pleins (1)	Rendement (1)
TS1	510,28 ab	50,68 ab	56,01 a	45,35 b	52,58 ab	3,25 bc	645,79 a
TS2	454,44 bc	49,23 ab	57,72 a	40,73 bcd	61,93 ab	2,73 cd	443,21 b
TS3	416,11 bc	48,83 ab	58,33 a	39,33 bcd	61,01 ab	2,73 cd	490,27 ab
TS4	478,06 abc	49,64 ab	58,60 a	40,68 bcd	64,37 ab	2,82 cd	534,71 ab
TS5	415,84 bc	51,83 a	58,66 a	45,00 b	73,75 ab	2,60 d	554,19 ab
TS6	483,05 abc	49,77 ab	57,13 a	42,40 bc	56,79 ab	2,86 cd	545,17 ab
TS7	422,50 bc	47,64 ab	53,60 a	41,69 bcd	63,20 ab	2,87 cd	468,58 b
TS8	455,28 bc	50,50 ab	57,05 a	43,95 b	59,24 ab	2,94 cd	634,70 a
TS9	419,17 bc	50,57 ab	57,44 a	43,71 b	69,82 ab	2,82 cd	570,90 ab
TS10	432,22 bc	48,57 ab	56,95 a	40,19 bcd	64,50 ab	2,74 cd	519,85 ab
TS11	456,67 bc	50,02 ab	57,46 a	42,58 bc	57,86 ab	2,67 cd	538,79 ab
TS12	442,50 bc	49,75 ab	56,19 a	43,31 bc	64,62 ab	2,80 cd	542,16 ab
TS13	391,39 c	47,06 b	56,71 a	37,41 cd	80,99 a	2,59 cd	499,83 ab
TS14	466,11 abc	50,02 ab	57,52 a	42,52 bc	66,28 ab	2,74 cd	589,52 ab
TS15	439,17 bc	50,26 ab	57,94 a	42,57 bc	64,17 ab	2,77 cd	554,50 ab
IKP 0	509,44 ab	48,61 ab	54,06 a	43,15 bc	48,12 b	3,35 b	633,19 a
IKP 1	453,61 bc	48,01 ab	56,51 a	39,51 bcd	60,88 ab	2,63 d	549,10 ab
IR 31785	559,12 a	47,14 b	57,81 a	36,46 d	50,00 ab	2,58 d	340,52 c
IR 4630	418,33 bc	37,38 c	44,01 b	34,09 e	49,12 b	3,74 a	562,64 ab

Tableau XV : Comparaison des caractères de la croissance végétative entre les lignées et des témoins d'origines différentes, en hivernage (essai 2)

(1) = moyenne cumulée eau douce + eau salée ; (2) = moyenne eau douce ; (3) = moyenne eau salée
2 moyennes qui n'ont pas de lettre commune sont différentes à $p < 0,05$

Entrées	Nombre de talles (1)	Nombre de talles (2)	Nombre de talles (3)	Biomasse à maturité (1)	Hauteur (1)	Hauteur (2)	Hauteur (3)	Feuilles/ Biomasse végétative (1)	Racines/ Biomasse végétative (1)
TS1	450,56 bcd	400,56 bcdef	460,56 bcde	1075,96 a	76,94 g	79,94 gh	73,95 hi	0,43 ab	0,30 ab
TS2	419,72 bcd	359,44 cdefg	480,00 bcd	1007,84 ab	80,27 efg	87,17 ef	73,36hi	0,34 de	0,25 ab
TS3	387,22 cde	318,33 efg	456,11 bcdef	932,87 ab	81,25 defg	88,65 e	73,86 hi	0,39 abcd	0,33 a
TS4	527,78 a	416,67 bcdef	638,89 a	1073,70 a	78,14 fg	85,17 efg	71,11 j	0,44 a	0,20 b
TS5	419,72 bcd	373,33 cdefg	466,11 bcd	1049,92 ab	79,95 efg	85,32 efg	74,58 hi	0,37 abcd	0,30 ab
TS6	349,17 de	340,56 defg	357,78 cdefg	985,27 ab	80,77 defg	88,10 e	73,53 hi	0,38 abcd	0,33 a
TS7	449,44 bc	407,78 bcdef	491,11 bc	1045,76 ab	81,33 defg	87,48 ef	75,19 hi	0,43 a	0,29 ab
TS8	410,56 cd	410,56 bcdef	410,56 bcdefg	1121,82 ab	84,12 cde	90,34 de	77,91 hi	0,39 abcd	0,31 ab
TS9	395,56 cde	318,89 efg	472,22 bcd	1030,28 ab	84,37 cde	92,21 cde	76,53 hi	0,42 abc	0,25 ab
TS10	353,61 de	311,67 fg	392,20 bcdef	1022,48 ab	88,33 bc	97,45 bc	79,21 gh	0,37 abcde	0,26 ab
TS11	406,11 cd	367,22 cdefg	445,00 bcdef	933,45 ab	84,08 cde	90,61 de	77,56 hi	0,36 cde	0,25 ab
TS12	390,00 cde	351,67 cdefg	428,33 bcdef	1132,79 a	81,18 defg	86,56 ef	75,83 hi	0,41 abc	0,29 ab
TS13	494,44 ab	343,33 defg	645,56 a	1186,10 ab	85,01 cde	91,67 cde	78,35 ghi	0,38 abcd	0,28 ab
TS14	391,11 cde	361,67 cdefg	420,56 bcdef	1041,27 ab	82,34 def	86,61 ef	78,08 ghi	0,40 abcd	0,20 b
TS15	380,83 cde	320,00 efg	441,67 bcdef	934,08 ab	85,59 cd	92,20 cde	78,89 gh	0,37 abcde	0,20 b
IKP 0	398,06 cde	347,22 cdefg	448,89 bcdef	1024,82 ab	87,21 bc	95,42 bcd	79,01 gh	0,32 e	0,21 b
IKP 1	386,67 cde	371,11 cdefg	402,22 bcdef	1081,32 ab	90,47 b	100,05 ab	80,89 fgh	0,37 abcde	0,23 ab
IR 31785	466,11 ab	401,67 bcdef	530,56 b	801,60 b	71,30 h	78,96 gh	63,63 j	0,36 bcde	0,30 ab
IR 4630	312,22 e	258,33 g	366,11 cdefg	1002,90 ab	95,65 a	103,77 a	87,53 ef	0,39 abcd	0,34 a

Tableau XVI : Comparaison des caractères du développement entre les lignées et des témoins d'origines différentes en hivernage (essai 2)

(1) = moyenne cumulée eau douce + eau salée ; (2) = moyenne eau douce ; (3) = moyenne eau salée

2 moyennes qui n'ont pas de lettre commune sont différentes à $p < 0,05$

Les caractères ne présentant aucune différence significative ne figurent pas sur le tableau (indice de fertilité)

Entrées	Indice de sénescence (1)	Taux de stérilité (1)	Taux de stérilité (2)	Taux de stérilité (3)	Cycle à 50% de floraison (1)	Cycle à 50% de floraison (2)	Cycle à 50% de floraison (3)	Cycle à maturité (1)	Cycle à maturité (2)	Cycle à maturité (3)
TS1	2,97 abc	26,18 bc	30,77 bc	21,59 bc	91,67 bc	90,00 efghi	93,33 bcd	119,50 bc	118,67 bc	120,33 bc
TS2	1,81 c	36,15 abc	40,10 b	32,20 bc	91,00 bcde	89,67 efghi	92,33 cde	118,33 bc	117,67 c	119,00 bc
TS3	2,12 c	32,30 abc	28,56 bc	36,03 bc	89,50 def	87,33 ijk	91,67 cdef	117,67 bc	117,33 c	118,00 c
TS4	1,81 c	37,97 ab	32,95 bc	42,99 b	90,33 cdef	88,33 ghijk	92,33 cde	117,33 c	118,33 c	116,33 c
TS5	3,63 abc	35,87 abc	38,45 bc	33,30 bc	89,67 def	88,00 hijk	91,33 cdefg	118,33 bc	118,33 c	118,33 c
TS6	4,13 ab	30,51 abc	27,97 bc	33,06 bc	89,67 def	88,00 hijk	91,33 cdefg	117,83 bc	118,00 c	117,67 c
TS7	4,30 a	25,46 bc	22,36 bc	28,56 bc	90,67 bcde	89,33 efghij	92,00 cdef	119,17 bc	119,67 bc	118,67 bc
TS8	2,38 bc	24,37 bc	25,81 bc	22,93 bc	91,17 bcd	91,00 cdefgh	91,33 cdefg	118,83 bc	119,67 bc	118,00 c
TS9	1,70 c	25,07 bc	25,41 bc	24,72 bc	92,33 b	91,00 cdefgh	93,67 bc	119,33 bc	120,00 bc	118,67 bc
TS10	2,05 c	23,12 bc	21,22 bc	25,03 bc	89,50 def	88,67 ghijk	90,33 efgh	117,67 bc	118,33 c	117,00 c
TS11	2,26 bc	34,67 abc	29,70 bc	39,63 b	89,17 efg	88,33 ghijk	90,00 efghi	117,50 bc	118,00 c	117,00 c
TS12	3,69 abc	26,54 bc	29,70 bc	23,40 bc	88,50 fg	86,33 k	90,67 defgh	117,83 bc	117,67 c	118,00 c
TS13	3,10 abc	33,26 abc	29,16 bc	37,37 bc	87,83 g	86,67 jk	89,00 fghijk	118,17 bc	118,33 c	118,00 c
TS14	2,51 abc	37,55 ab	42,35 b	32,75 bc	89,83 def	88,67 ghijk	91,00 cdefgh	117,50 bc	117,67 c	117,33 c
TS15	4,18 ab	33,54 abc	26,54 bc	40,54 b	89,67 def	88,33 ghijk	91,00 cdefgh	117,50 bc	118,33 c	116,67 c
IKP 0	2,38 bc	20,17 c	15,82 bc	24,52 bc	91,67 bc	91,33 cdefg	92,00 cdef	120,00 b	120,33 bc	119,67 bc
IKP 1	2,94 abc	22,23 bc	26,58 bc	17,89 bc	90,00 cdef	88,00 hijk	92,00 cdef	118,17 bc	118,00 c	118,33 c
IR 31785	2,24 bc	44,72 a	27,83 bc	61,62 a	77,33 h	77,33 l	77,33 l	109,67 d	110,00 d	109,33 d
IR 4630	2,30 bc	19,33 c	12,29 c	26,37 bc	96,00 a	95,00 b	97,00 a	124,83 a	122,00 b	127,67 a

Tableau XVII : Comparaison des composantes de rendement et du rendement entre les lignées et des témoins d'origines différentes, en hivernage (essai 2)

(1) = moyenne cumulée eau douce + eau salée ; (2) = moyenne eau douce ; (3) = moyenne eau salée
2 moyennes qui n'ont pas de lettre commune sont différentes à $p < 0,05$

Entrée	Nombre de panicules (1)	Nombre de panicules (2)	Nombre de panicules (3)	Indice de récolte (1)	Indice de récolte (2)	Indice de récolte (3)	Nombre d'épillets par panicule (1)	Poids de 100 grains pleins (1)	Poids de 100 grains pleins (2)	Poids de 100 grains pleins (3)	Rendement (1)
TS1	352,78 abc	368,89 bc	336,67 bc	53,28 abc	56,14 abcd	50,41 cdefg	97,32 abc	2,05 bc	2,25 bc	1,88 de	520,50 a
TS2	351,67 abc	305,56 bc	397,78 b	51,91 abc	59,57 ab	44,25 efghi	105,40 ab	2,04 bc	2,31 bc	1,77 de	461,54 a
TS3	331,11 bc	289,44 bc	372,78 bc	51,59 abc	60,00 ab	43,18 fghij	100,14 abc	1,94 c	2,23 bc	1,64 e	434,19 ab
TS4	433,33 a	326,67 bc	540,00 a	50,58 bc	59,79 ab	41,37 hij	92,33 abc	2,09 bc	2,32 bc	1,85 de	493,59 a
TS5	382,78 ab	336,67 bc	428,89 b	52,69 abc	56,53 abcd	48,85 defgh	104,62 ab	2,05 bc	2,15 c	1,95 d	499,19 a
TS6	297,50 bc	303,33 bc	291,67 bc	51,52 abc	58,79 abc	44,31 efghi	110,37 a	2,02 bc	2,26 bc	1,77 de	462,44 a
TS7	384,44 ab	349,44 bc	419,44 b	54,85 ab	62,40 a	47,31 efgh	91,90 abc	2,09 bc	2,28 bc	1,89 de	544,91 a
TS8	353,61 abc	331,11 bc	376,11 bc	55,00 ab	57,47 abc	52,53 bcde	100,19 abc	2,04 bc	2,28 bc	1,79 de	540,03 a
TS9	356,11 abc	306,11 bc	406,11 b	52,15 abc	58,57 abc	45,74 efgh	87,04 abc	2,09 bc	2,36 bc	1,813 de	472,16 a
TS10	289,45 bc	288,89 bc	290,00 bc	54,51 ab	61,75 a	47,27 efgh	110,58 a	2,10 bc	2,37 bc	1,827 de	519,85 a
TS11	341,11 abc	316,67 bc	365,56 bc	49,87 bc	57,49 abc	42,24 ghij	91,68 abc	1,98 bc	2,17 bc	1,797 de	410,44 ab
TS12	336,95 abc	331,11 bc	342,78 bc	51,95 abc	57,70 abc	46,20 efgh	107,83 a	1,97 bc	2,19 bc	1,753 de	526,32 a
TS13	428,89 a	295,00 bc	562,78 a	51,69 abc	56,85 abc	46,53 efgh	106,13 ab	1,94 bc	2,18 bc	1,71 de	541,57 a
TS14	328,05 bc	326,11 bc	330,00 bc	51,87 abc	56,57 abcd	47,17 efgh	116,07 a	2,08 bc	2,34 bc	1,807 de	477,28 a
TS15	329,58 bc	303,33 bc	355,83 bc	47,71 cd	58,95 ab	36,47 j	89,57 abc	2,04 bc	2,27 bc	1,81 de	406,59 ab
IKP 0	353,06 abc	330,00 bc	376,11 bc	56,75 a	62,21 a	51,29 bcdef	88,74 abc	2,11 bc	2,46 b	1,763 de	528,63 a
IKP 1	325,28 bc	312,78 bc	337,78 bc	54,37 ab	59,83 ab	48,91 defgh	106,17 ab	1,97 bc	2,29 bc	1,65 e	514,30 a
IR 317	379,44 ab	331,11 bc	427,78 b	51,53 abc	57,86 abc	45,17 efgh	76,33 bc	2,14 b	2,37 bc	1,92 de	334,17 b
IR 463	274,17 c	231,67 c	316,67 bc	44,60 d	51,60 bcdef	37,60 ij	74,10 c	2,49 a	2,68 a	2,30 bc	401,16 ab

Tableau XVIII : Comparaison de l'ensemble des caractères agromorphologiques des lignées avec celui de témoins d'origines différentes en contre saison et en eau salée.

2 moyennes qui n'ont pas de lettre commune sont différentes à $p < 0,05$

Les caractères ne présentant aucune différence significative ne figurent pas sur le tableau (nombre de talles rapport du poids de feuilles ou des racines sur la biomasse végétative, indice de sénescence, indice de fertilité, nombre d'épillets/panicule)

Entrées	Biomasse à maturité	Hauteur	Taux de stérilité	Cycle à 50% de floraison	Cycle à maturité	Nombre de panicules	Indice de récolte	Poids de 100 grains pleins	Rendement
TS1	1269,10 bc	74,71 cde	29,41 b	131,67 c	154,67 b	576,11 ab	45,35 a	2,70 ab	482,17 a
TS2	981,18 bc	66,87 f	55,86 b	124,33 d	142,00 d	515,00 ab	40,73 ab	2,24 ab	282,41 bc
TS3	994,37 bc	68,56 ef	33,81 b	125,00 d	141,67 d	455,56 ab	39,33 ab	2,13 b	288,22 bc
TS4	1074,28 bc	69,10 ef	42,03 b	124,67 d	144,00 d	503,89 ab	40,68 ab	2,38 ab	331,84 abc
TS5	1030,38 bc	68,77 ef	37,19 b	121,00 d	141,67 d	426,67 b	45,00 a	2,25 ab	366,47 abc
TS6	1079,88 bc	69,71 ef	35,73 b	124,00 d	143,67 d	539,44 ab	42,40 ab	2,31 ab	334,96 abc
TS7	1026,75 bc	68,53 ef	30,86 b	129,67 c	148,00 c	508,89 ab	41,68 ab	2,53 ab	340,36 abc
TS8	1201,03 bc	80,11 c	30,53 b	125,67 d	144,33 cd	507,22 ab	43,95 ab	2,46 ab	423,94 abc
TS9	1014,37 bc	73,52 def	42,14 b	125,67 d	144,33 cd	425,55 b	43,71 ab	2,36 ab	347,85 abc
TS10	1093,22 bc	75,66 cd	46,46 b	121,33 d	142,00 d	491,11 ab	40,19 ab	2,20 ab	316,86 abc
TS11	1072,63 bc	68,99 ef	28,70 b	123,67 d	141,00 d	531,11 ab	42,58 ab	2,36 ab	341,52 abc
TS12	1132,39 bc	72,69 def	44,09 b	125,67 d	143,33 d	500,00 ab	43,31 ab	2,35 ab	364,82 abc
TS13	930,99 c	76,00 cd	50,30 b	125,67 d	143,00 d	463,89 ab	37,41 ab	2,06 b	257,09 c
TS14	1077,06 bc	69,95 def	34,59 b	123,67 d	143,00 d	515,55 ab	42,52 ab	2,26 ab	338,70 abc
TS15	1099,68 bc	73,55 def	33,50 b	121,67 d	141,00 d	478,34 ab	42,57 ab	2,54 ab	358,59 abc
IKP 0	1328,82 b	84,23 b	30,02 b	135,33 b	157,00 b	556,11 ab	43,15 ab	2,86 ab	471,49 ab
IKP 1	1054,73 bc	76,18 cd	29,47 b	122,00 d	143,33 d	486,66 ab	39,51 ab	2,26 ab	326,09 abc
IR 31785	672,22 d	59,30 g	78,44 a	100,67 e	130,33 e	615,00 a	36,46 b	2,28 ab	123,53 d
IR 4630	1622,12 a	103,50 a	31,57 b	147,00 a	175,00 a	507,78 ab	30,75 c	3,07 a	470,19 ab

Tableau XIX : Rendements et réduction de rendement en contre saison (essai 1)

R = résistant ; MR = moyennement résistant ; MS = moyennement sensible

S = sensible

Entrées	Rendement ED (g/m ²)	Rendement ES (g/m ²)	Réduction de rendement 100 - ES/ED*100	Classement
TS1	809.40	482.17	40.43	R
TS2	604.01	282.41	53.24	MS
TS3	692.31	288.22	58.37	MS
TS4	737.57	331.83	55.01	MS
TS5	741.91	366.47	50.60	MR
TS6	755.37	334.96	55.66	MS
TS7	596.80	340.36	42.97	MR
TS8	845.46	423.94	49.86	MR
TS9	793.96	347.84	56.19	MS
TS10	722.83	316.86	56.16	MS
TS11	736.05	341.52	53.60	MS
TS12	719.50	364.82	49.30	MR
TS13	742.57	257.09	65.38	S
TS14	840.34	338.70	59.69	MS
TS15	750.41	358.59	52.21	MS
IKP 0	794.88	471.49	40.68	R
IKP 1	772.11	326.09	57.77	MS
IR 31785	557.52	123.53	77.84	S
IR 4630	655.10	470.19	28.23	R

Tableau XX : Rendements et réduction de rendement en hivernage (essai 2)

R = résistant ; MR = moyennement résistant ; MS = moyennement sensible ; S = sensible

Entrées	Rendement ED (g/m ²)	Rendement ES (g/m ²)	Réduction de rendement 100 - ES/ED*100	Classement
TS1	633.63	407.37	35.71	R
TS2	570.78	352.31	38.28	R
TS3	575.69	292.69	49.16	MR
TS4	585.09	402.10	31.28	R
TS5	576.10	422.27	26.70	R
TS6	564.50	360.38	36.16	R
TS7	688.89	400.93	41.80	MR
TS8	629.05	451.00	28.30	R
TS9	558.63	385.69	30.96	R
TS10	652.91	386.79	40.76	R
TS11	534.20	286.69	46.33	MR
TS12	654.68	397.96	39.21	R
TS13	577.46	505.69	12.43	R
TS14	604.71	349.86	42.14	MR
TS15	564.49	248.69	55.94	MS
IKP 0	650.64	406.62	37.50	R
IKP 1	630.21	398.40	36.78	R
IR 31785	486.37	181.96	62.59	S
IR 4630	483.09	319.23	33.92	R

Tableau XXI : Comparaison de la teneur en chlorophylles (moyenne cumulée eau douce + eau salée) entre les lignées et IKP 1(I), entre les lignées et les témoins (II), et analyse de l'effet du sel sur la teneur en chlorophylles (III) des différentes entrées, en contre saison (essai 1)

2 moyennes qui n'ont pas de lettre commune sont différentes à $p < 0,05$

et ** = significatif respectivement à $p < 0,05$ et $0,01$

Entrées	Chlorophylles (I)	Entrées	Chlorophylles (II)	Teneur en chlorophylles (III)	
				eau douce	eau salée
TS1	38,00 bc	TS1	38,00 abc	37.58	38.42
TS2	39,23 abc	TS2	39,23 ab	36.60	41.85
TS3	40,49 ab	TS3	40,49 ab	36.92	44,07**
TS4	38,89 abc	TS4	38,89 abc	36.75	41,02*
TS5	40,80 ab	TS5	40,80 ab	38.18	43,43**
TS6	40,96 ab	TS6	40,96 ab	39.65	42.27
TS7	39,30 abc	TS7	39,30 abc	37.35	41.25
TS8	41,21 ab	TS8	41,21 ab	39.35	43.07
TS9	40,77 ab	TS9	40,77 ab	40.25	41.29
TS10	41,29 ab	TS10	41,29 ab	39.99	42.58
TS11	43,09 a	TS11	43,09 a	40.91	45,26*
TS12	41,15 ab	TS12	41,15 ab	38.94	43,37*
TS13	39,72 abc	TS13	39,72 abc	38.22	41.23
TS14	42,06 ab	TS14	42,06 a	40.30	43.83
TS15	41,92 ab	TS15	41,92 a	42.06	41.79
IKP 1	36,58 c	IKP 0	39,76 abc	40.63	38.88
		IKP 1	36,58 bc	32.48	40,68*
		IR 31785	35,56 c	31.82	39,31*
		IR 4630	41,58 ab	39.13	44.02

**Tableau XXII : Comparaison de la teneur en Na des feuilles des lignées
et des témoins en contre saison (essai 1) et en hivernage (essai 2)**

(1) = moyenne cumulée eau douce + eau salée ; (2) = moyenne en eau douce ; (3) = moyenne en eau salée

2 moyennes qui n'ont pas de lettre commune sont différentes à $p < 0,05$

Entrées	Na en contre saison (1)	Na en hivernage (1)	Na en hivernage (2)	Na en hivernage (3)
TS1	5,46 b	2,74 bc	0,69 d	4,79 c
TS4	4,91 bc	3,60 b	0,93 d	6,26 bc
TS7	5,09 bc	2,91 bc	0,63 d	5,18 bc
TS9	4,70 bc	2,95 bc	0,63 d	5,26 bc
TS11	5,54 b	3,24 b	0,56 d	5,93 bc
TS13	5,39 b	2,57 bc	0,76 d	4,38 c
TS14	5,71 b	4,07 b	1,18 d	6,96 b
TS15	5,55 b	4,04 b	1,12 d	6,95 b
IKP 0	5,00 b	0,76 d	0,28 d	1,23 d
IKP 1	4,65 bc	2,67 bc	0,84 d	4,50 c
IR 31785	8,47 a	9,92 a	2,26 d	17,28 a
IR 4630	2,69 c	1,59 cd	0,55 d	2,62 d

Tableau XXIII : Analyse de l'effet du traitement salé sur la teneur en Na des feuilles des lignées et des témoins en contre saison (essai 1) et en hivernage (essai 2)

* , ** et *** = significatif respectivement à $p < 0,05$, 0,01 et 0,001

Entrées	Na en contre saison		Na en hivernage	
	eau douce	eau salée	eau douce	eau salée
TS1	2.32	8,61***	0.69	4,79**
TS4	1.71	8,10*	0.93	6,26**
TS7	1.84	8,34***	0.63	5,18**
TS9	1.65	7,74*	0.63	5,26***
TS11	1.88	9,21*	0.56	5,93***
TS13	1.39	9,38***	0.76	4,38*
TS14	2.63	8,79***	1.18	6,96***
TS15	1.80	9,30***	1.12	6,95**
IKP 0	1.54	8,46***	0.28	1,23***
IKP 1	0.87	8,44***	0.84	4,50**
IR 31785	4.59	12,34*	2.56	17,28***
IR 4630	0.82	4,55*	0.55	2,62*

Tableau XXV : Rapports K/Na en fonction des différentes classes de chlorophylles en contre saison (essai 1) et en hivernage (essai 2) en eau douce (1) et en eau salée (2)

Contre saison												
Classes de chlorophylles (1)	TS1	TS4	TS7	TS9	TS11	TS13	TS14	TS15	IKP 0	IKP 1	IR 31785	IR 4630
< 35	2.56	4.04	3.25	2.94	2.24	3.91	2.73	4.02	2.12	9.33	0.62	11.10
35-40	3.99	5.08	3.46	4.75	4.27	4.50	3.45	3.58	1.87	10.03	0.81	11.30
> 40	3.50	4.51	1.96	7.07	5.12	5.55	2.62	5.34	2.37	8.62	1.29	11.37
Classes de chlorophylles (2)												
< 25	0.32	0.31	0.49	0.35	0.25	0.25	0.20	0.24	0.38	0.44	0.14	0.75
25-30	0.32	0.62	0.75	0.53	0.41	0.35	0.43	0.43	0.65	0.47	0.16	1.57
30-35	0.44	0.74	0.55	0.46	0.48	0.35	0.68	0.38	0.84	0.51	0.29	2.38
35-40	0.34	0.64	0.54	0.51	0.43	0.32	0.61	0.55	0.59	0.83	0.17	1.75
40-45	0.36	0.66	0.66	0.44	0.42	0.56	0.62	0.65	0.64	0.61	0.55	2.32
> 45	0.50	0.70	0.74	0.56	0.56	0.41	0.38	0.57	0.82	0.80	0.34	3.19
Hivernage												
Classes de chlorophylles (1)	TS1	TS4	TS7	TS9	TS11	TS13	TS14	TS15	IKP 0	IKP 1	IR 31785	IR 4630
< 35	15.58	10.84	25.53	25.53	24.85	15.17	10.00	10.39	17.64	12.41	4.39	23.78
35-40	16.53	16.82	24.07	24.07	58.80	22.18	13.07	10.78	22.34	14.63	4.37	26.75
> 40	15.57	13.89	18.13	18.13	42.34	23.52	15.04	11.23	23.99	14.96	4.65	24.81
Classes de chlorophylles (2)												
< 25	1.22	1.11	1.04	1.09	0.76	1.74	0.94	1.15	2.79	1.30	0.18	2.13
25-30	1.57	1.52	2.37	2.37	1.47	1.84	0.78	1.15	3.02	1.68	0.22	3.91
30-35	1.67	1.36	1.97	1.97	1.62	2.04	1.60	1.27	6.58	2.13	0.23	5.18
35-40	1.86	1.24	1.51	1.51	2.23	2.07	2.18	1.30	4.26	2.53	0.37	5.20
40-45	2.40	1.07	2.24	2.24	2.63	2.18	1.82	1.20	2.92	3.12	0.40	5.96
> 45	2.12	1.39	3.15	3.15	3.15	2.90	1.37	1.16	2.85	2.42	0.30	6.22

Tableau XXVI : Comparaison de la teneur en Na de la plante entière des lignées avec celle des témoins (I) et analyse de l'effet du traitement salé sur cette teneur en Na (II), en contre saison (essai 1) et en hivernage (essai 2)

1-(1) = moyenne cumulée eau douce + eau salée ; (2) = moyenne en eau douce(3) = moyenne en eau salée

2 moyennes qui n'ont pas de lettre commune sont différentes à $p < 0,05$

** et *** = significatif respectivement à $p < 0,01$ et $0,001$

	Contre saison I			Contre saison II	
	Na (1)	Na (2)	Na (3)	eau douce	eau salée
TS1	6,10 b	5,61 e	6,59 de	5.61	6.59
TS4	6,71 b	4,83 e	11,86 bc	4.83	11,86**
TS13	7,67 b	4,09 e	11,25 bc	4.09	11,25**
TS15	8,71 b	4,39 e	13,03 b	4.39	13,03**
IKP 0	8,72 b	5,03 e	12,42 bc	5.03	12,42**
IKP 1	7,64 b	4,46 e	10,81 bc	4.46	10,81***
IR 31785	12,18 a	6,63 de	17,74 a	6.63	17,74***
IR 4630	6,71 b	4,38 e	9,04 cd	4.38	9,04***
				Hivernage II	
	Hivernage I				
TS1	7,80 bc	5,23 d	10,37 bc	5.23	10,37**
TS4	7,80 bc	4,54 d	11,05 b	4.54	11,05***
TS13	7,44 bc	4,92 d	9,97 bc	4.92	9,97**
TS15	8,21 b	5,40 d	11,03 b	5.40	11,03***
IKP 0	7,44 bc	4,78 d	10,10 bc	4.78	10,10***
IKP 1	6,72 c	4,59 d	8,85 c	4.59	8,85**
IR 31785	9,95 a	6,04 d	13,85 a	6.04	13,85***
IR 4630	7,39 bc	5,18 d	9,60 bc	5.18	9,6***

Tableau XXVIII : Variations morphologiques au cours de l'hivernage (essai 2)
Quand les deux répétitions n'ont pas la même valeur, les deux chiffres sont reportés.
 ED = eau douce ; ES = eau salée

Entrées	Acceptabilité phénotypique		Port de la plante		Angle de la feuille paniculaire		Sénescence foliaire		Structure de la panicule		Exsertion paniculaire		Axe de la panicule	
	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES	ED	ES
TS1	1 à 2	2	1	1	1	1	1	1 à 2	1	1	3	3	2	2
TS2	3	3	2	2	1	1	2	2	1	1	3	3	2	2
TS3	3	3	2	2	1	1	2	2	1	1	2	3	2	2
TS4	3	3	2	2	1	1	2	2	1	1 à 2	2	2 à 3	2	1 à 2
TS5	3	3	2	2	1	1	2	2	1	1	1 à 2	2 à 3	2	2
TS6	3	3	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2
TS7	2 à 3	3	2	2	1	1	2	2	1	1	3	3	2	2
TS8	3	3	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1 à 2	2	2
TS9	3	3	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2 à 3	2	2
TS10	3	3	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2
TS11	2 à 3	3	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2
TS12	2	3	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2
TS13	2	3	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1 à 2	2	2
TS14	3	3	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2
TS15	3	3	2	2 à 3	1	1	2	2	1	1	2	2 à 3	2	2
IKP 0	2	2	1	1	1	1	1	1 à 2	1	1	3	3	2	2
IKP 1	2 à 3	3	2	2	1	1	2	2 à 3	1	1	3	3	2	2
IR 31785	3	4	1	1	1	1	2	2 à 3	1	1	2	2	2	2
IR 4630	2	2	1 à 2	1	1	1	2	2	1	1	3	2 à 3	2	2

Tableau XXIX : Evolution de la feuille paniculaire, au cours de l'hivernage (essai 2).

ENTREES	EAU DOUCE	EAU SALEE
TS1	feuille assez longue, érigée	feuille assez longue, érigée
TS2	feuille courte, érigée	feuille courte, érigée
TS3	feuille courte, érigée	feuille courte, érigée
TS4	feuille courte, érigée	feuille courte, érigée
TS5	feuille courte, érigée	feuille courte, érigée
TS6	feuille courte, érigée	feuille courte, érigée
TS7	feuille assez longue, érigée	feuille assez longue, érigée
TS8	feuille moyenne, érigée	feuille moyenne, érigée
TS9	feuille moyenne, érigée	feuille moyenne, érigée
TS10	feuille moyenne, érigée	feuille moyenne, érigée
TS11	feuille courte, érigée	feuille courte, érigée
TS12	feuille assez longue, érigée	feuille courte, érigée
TS13	feuille assez longue, érigée	feuille courte, érigée
TS14	feuille moyenne, érigée	feuille moyenne, érigée
TS15	feuille moyenne, érigée	feuille moyenne, érigée
IKP 0	feuille assez longue, érigée	feuille assez longue, érigée
IKP 1	feuille assez longue, érigée	feuille courte, érigée
IR 31785	feuille moyenne, érigée	feuille courte, érigée
IR 4630	feuille moyenne, érigée	feuille courte, érigée

Tableau XXX : Effet des saisons sur les caractères agromorphologiques de l'ensemble des entrées, en contre saison (essai 1), et en hivernage (essai 2) et dans les deux traitements, eau douce (ED) et eau salée (ES)

*, ** et *** = significatif respectivement à $p < 0,05$, $0,01$ et $0,001$

1 - Croissance végétative

Caractères agromorphologiques	Contre saison		Hivernage	
	ED	ED	ES	ES
Nombre de talles (m ²)	446,76***	356.84	540,13***	460.76
Biomasse à maturité (gm ⁻²)	1435,94***	1107.17	1092,38***	943.86
Hauteur (cm)	85.29	89,87***	73.73	76.43
Feuilles/BV (rapport)	0.31	0,37***	0.40	0.39
Racines/BV (rapport)	0,28*	0.24	0.27	0,29*

2 - Développement

Indice de sénescence (%)	3,99***	2.15	7,68**	3.37
Indice de fertilité (%)	90.73	88.70	93,56***	83.03
Taux de stérilité (%)	22.57	28,08**	39,18**	31.82
Cycle à 50% de floraison (jours)	121***	88	125***	91
Cycle à maturité (jours)	148***	118	145***	118

3 - Composantes de rendement et rendement

Nombre de panicules (m ²)	402,31***	314.94	505,46***	382.88
Indice de récolte (rapport)	56.3	58,42***	41.29	45,62**
Nombre d'épillets/panicule	74.38	115,72***	48.69	79,70***
Poids de 100 grains pleins (g)	3,30***	2.30	2,39***	1.82
Rendement (gm ⁻²)	729,90***	590.58	345.74	366.13

Tableau XXXI : Réductions de rendement des entrées en fonction des saisons, contre saison (essai 1) et hivernage (essai 2)

R = résistant ; S = sensible ; MR = moyennement résistant ; MS = moyennement sensible

Entrées	Réduction de rendement		Classement		Groupe
	contre saison	hivernage	Contre saison	Hivernage	
TS1	40.43	35.71	R	R	I
TS2	53.24	38.28	MS	R	III
TS3	58.37	49.16	MS	MR	II
TS4	55.01	31.28	MS	R	III
TS5	50.60	26.70	MR	R	II
TS6	55.66	36.16	MS	R	III
TS7	42.97	41.80	MR	MR	I
TS8	49.86	28.30	MR	R	II
TS9	56.19	30.96	MS	R	III
TS10	56.16	40.76	MS	R	III
TS11	53.60	46.33	MS	MR	II
TS12	49.30	39.21	MR	R	II
TS13	65.38	12.43	S	R	IV
TS14	59.69	42.14	MS	MR	II
TS15	52.21	55.94	MS	MS	I
IKP 0	40.68	37.50	R	R	I
IKP 1	57.77	36.78	MS	R	III
IR 31785	77.84	62.59	S	S	I
IR 4630	28.23	33.92	R	R	I

Tableau XXXIII : Comparaison des lignées avec les témoins en contre saison (essai 3)
2 moyennes qui ont la même lettre ne sont pas différentes à $p < 0,05$

2 = moyenne cumulée eau douce + eau salée ; (2) = moyenne en eau douce ; (3) = moyenne en eau salée.

Les caractères ne présentant aucune différence significative, ne figurent pas sur le tableau (nombre de talles, nombre de panicules)

Entrées	Biomasse à maturité (1)	Hauteur (1)	Taux de stérilité (1)	Taux de stérilité (2)	Taux de stérilité (3)	Cycle à maturité (1)	Cycle à maturité (2)	Cycle à maturité (3)
TS1	1275,18 b	80,07 c	31,05 cd	18,53 e	43,57 cd	139,00 b	138,00 cd	140,00 c
TS4	1043,41 b	72,87 d	47,59 ab	25,93 de	69,26 b	139,00 b	138,00 cd	140,00 c
TS13	1114,67 b	84,64 b	78,71 bc	19,79 de	57,63 bc	130,83 c	129,33 f	132,33 e
TS15	1119,55 b	77,39 c	40,44 bc	21,52 de	59,36 bc	129,50 c	128,67 f	130,33 ef
IKP 0	1234,64 b	85,90 b	20,65 d	9,37 e	31,93 de	138,00 b	139,00 cd	137,00 d
IKP 1	1191,26 b	84,85 b	31,76 cd	19,81 de	43,71 cd	130,50 c	129,00 cd	132,00 e
IR 31785	844,85 c	65,19 e	56,14 a	25,71 de	86,57 a	116,00 d	116,00 g	116,00 g
IR 4630	1568,40 a	106,26 a	43,45 bc	27,13 de	59,77 bc	161,00 a	152,00 b	170,00 a

Entrées	Indice de récolte (1)	Indice de récolte (2)	Indice de récolte (3)	Nombre d'épillets par panicule (1)	Poids de 100 grains pleins (1)	Poids de 100 grains pleins (2)	Poids de 100 grains pleins (3)	Rendement (1)
TS1	52,17 a	62,32 a	42,02 b	104,53 a	2,01 b	2,42 a	1,53 b	627,37 a
TS4	46,82 a	61,57 a	32,07 bc	81,39 b	1,92 b	2,41 a	1,43 b	469,60 c
TS13	49,94 a	60,11 a	39,78 b	92,59 ab	1,87 b	2,20 a	1,54 b	497,96 bc
TS15	50,08 a	62,51 a	37,64 b	104,60 a	1,83 b	2,20 a	1,45 b	505,94 bc
IKP 0	50,81 a	61,66 a	39,95 b	80,22 b	1,98 b	2,43 a	1,52 b	607,87 ab
IKP 1	49,30 a	60,36 a	38,25 b	91,87 ab	1,82 b	2,27 a	1,37 b	550,53 abc
IR 31785	38,51 b	61,69 a	15,34 d	59,15 c	1,65 b	2,33 a	0,98 c	365,24 d
IR 4630	35,34 b	42,86 b	27,83 c	77,03 b	2,50 a	2,72 a	2,27 a	488,89 bc

Figure 1 : Plan de l'essai salinité

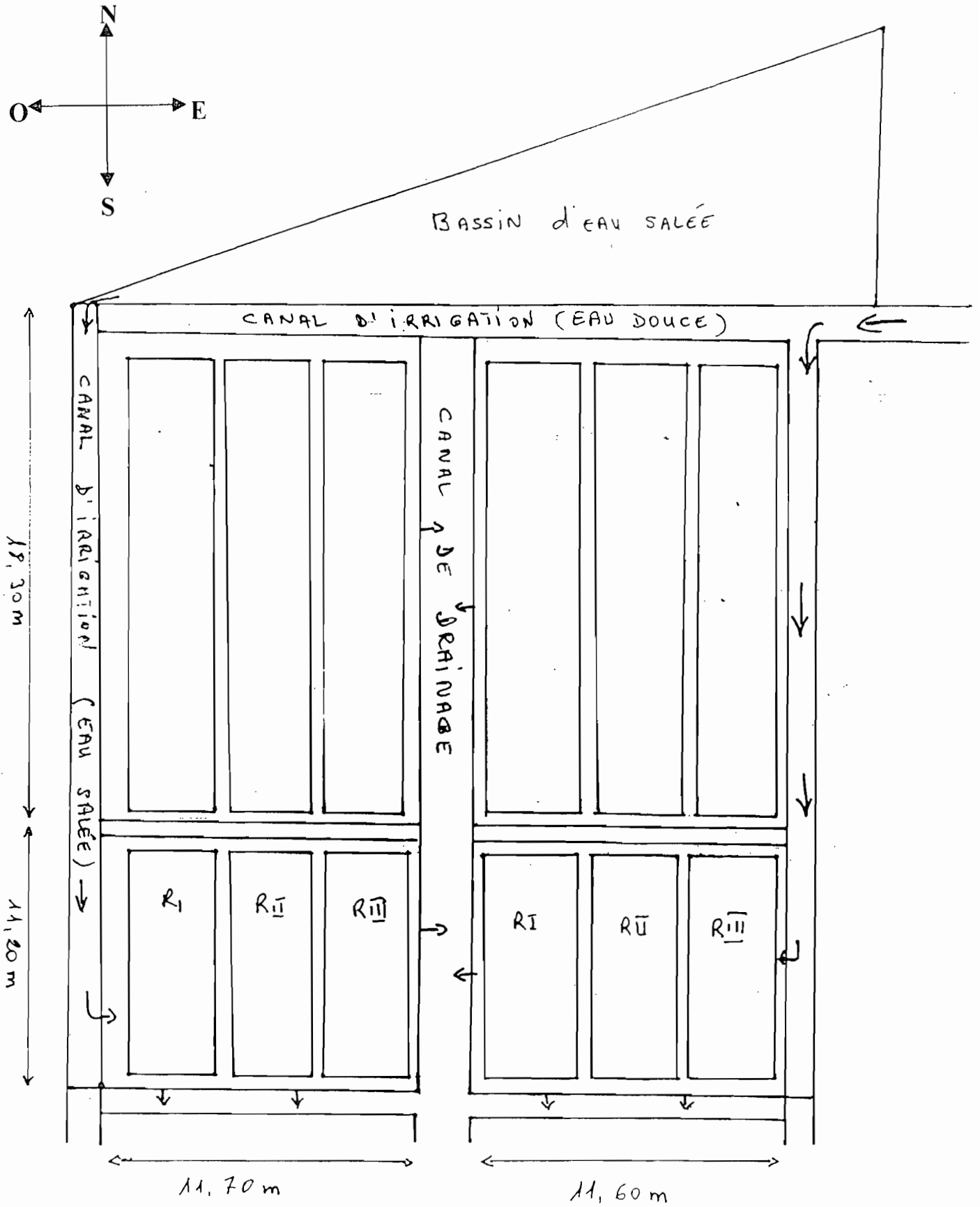


Figure 2 : Ecart à la moyenne du rendement des différentes entrées en contre saison (essai 1)

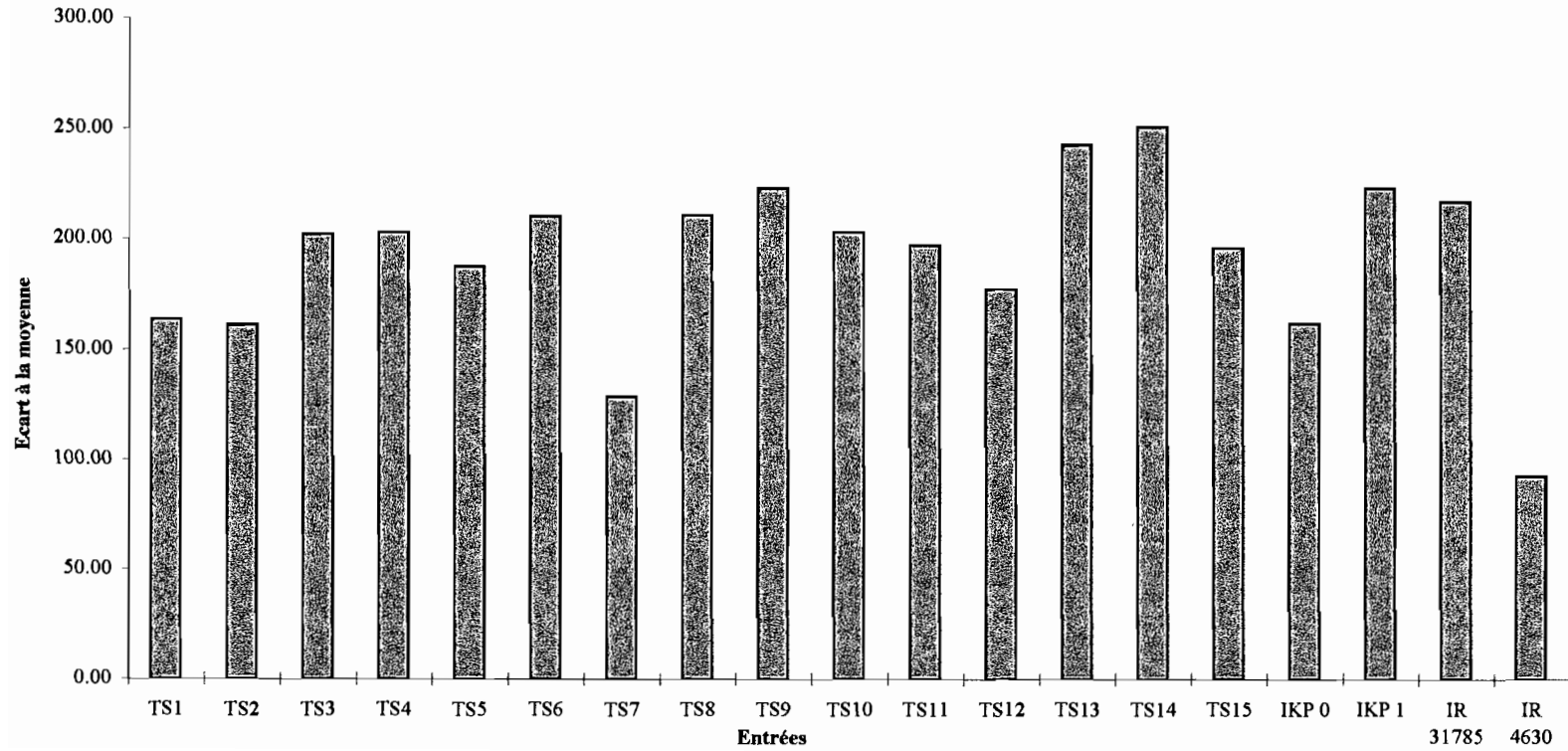


Figure 3 : Teneur en Na des feuilles des différentes entrées en fonction de la teneur en chlorophylles, en contre saison (essai 1) et en eau douce

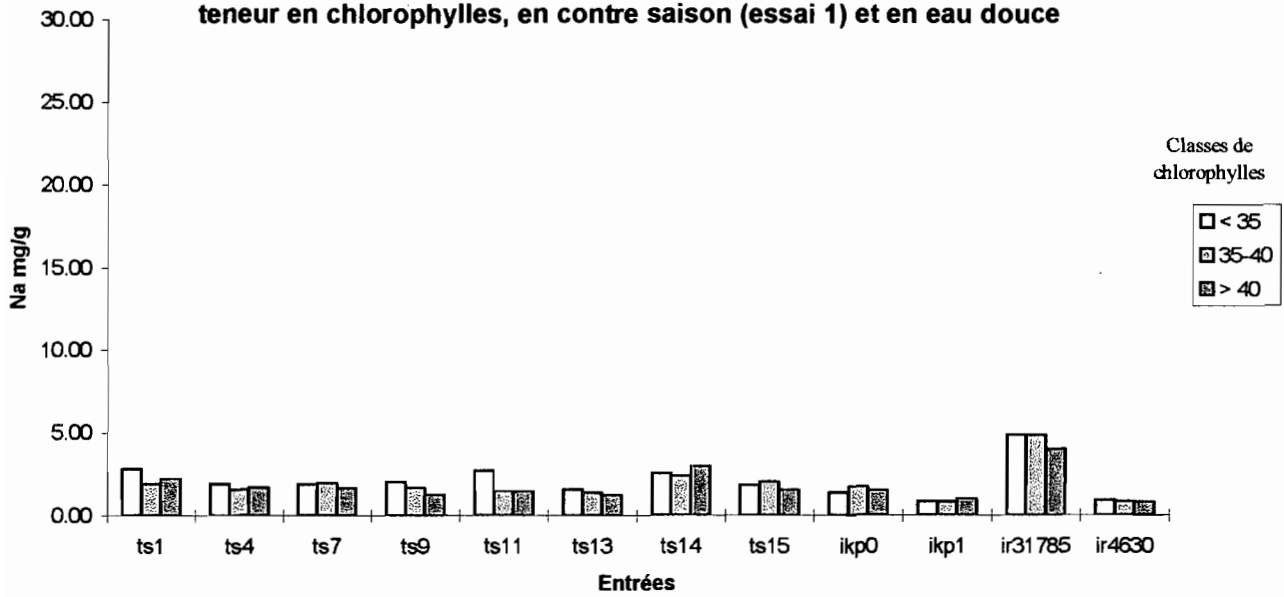


Figure 4 : Teneur en Na des feuilles des différentes entrées en fonction de la teneur en chlorophylles, en contre saison (essai 1) et en eau salée

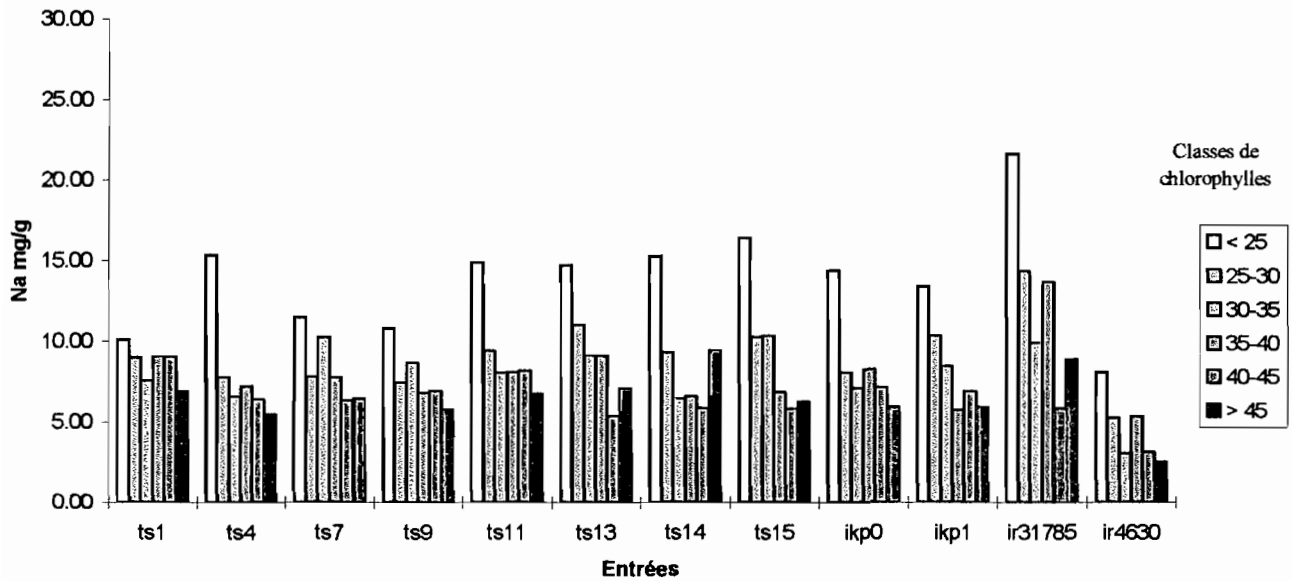


Figure 5 : Teneur en Na des feuilles des différentes entrées en fonction de la teneur en chlorophylles, en hivernage (essai 2) et en eau douce

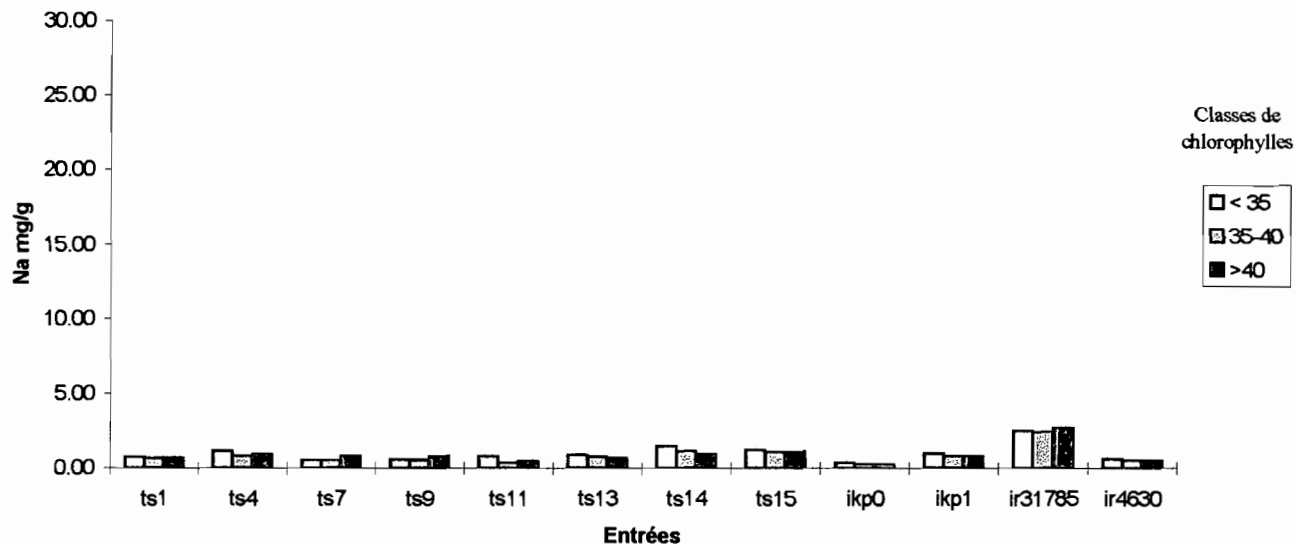


Figure 6 : Teneur en Na des feuilles des différentes entrées en fonction de la teneur en chlorophylles, en hivernage (essai 2) et en eau salée.

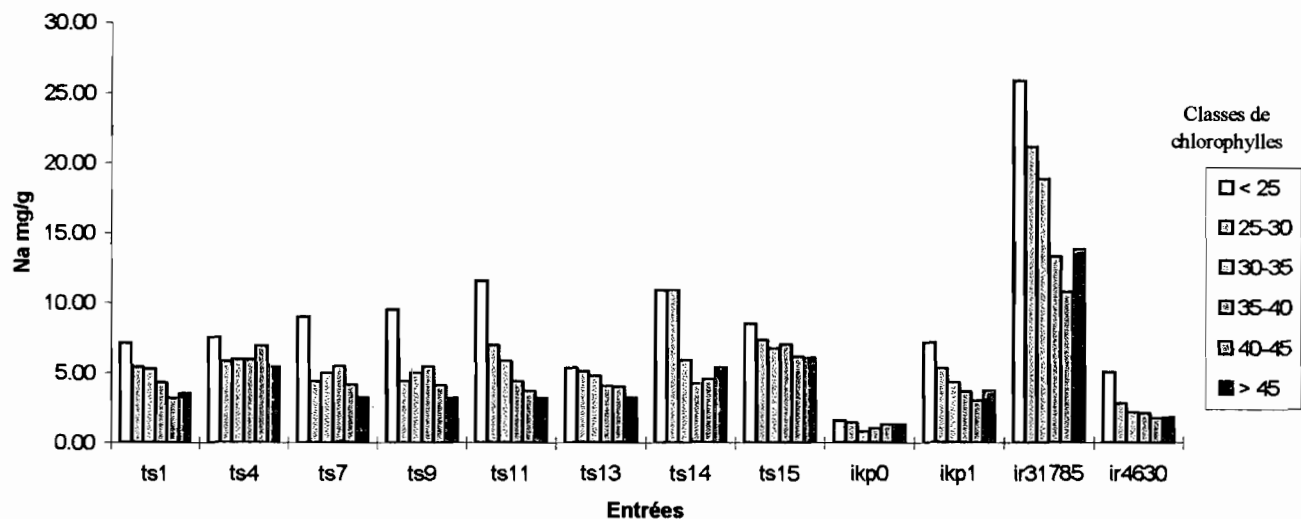


Figure 7 : Teneur en Na des différents étages de feuilles, des tiges et des gaines, en contre saison (essai 1), et en eau douce

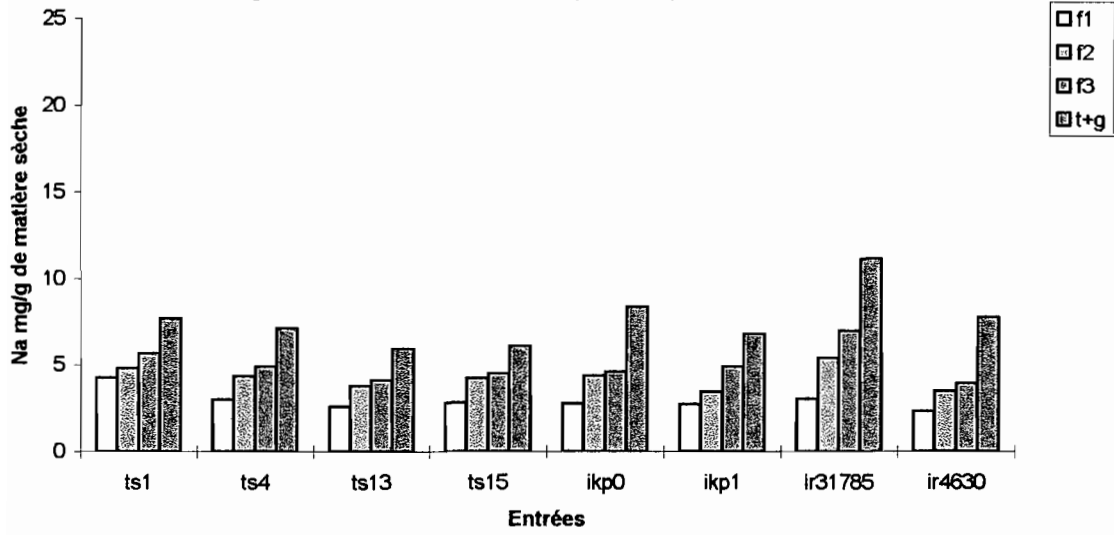


Figure 8 : Teneur en Na des différents étages de feuilles, des tiges et des gaines, en contre saison (essai 1), et en eau salée

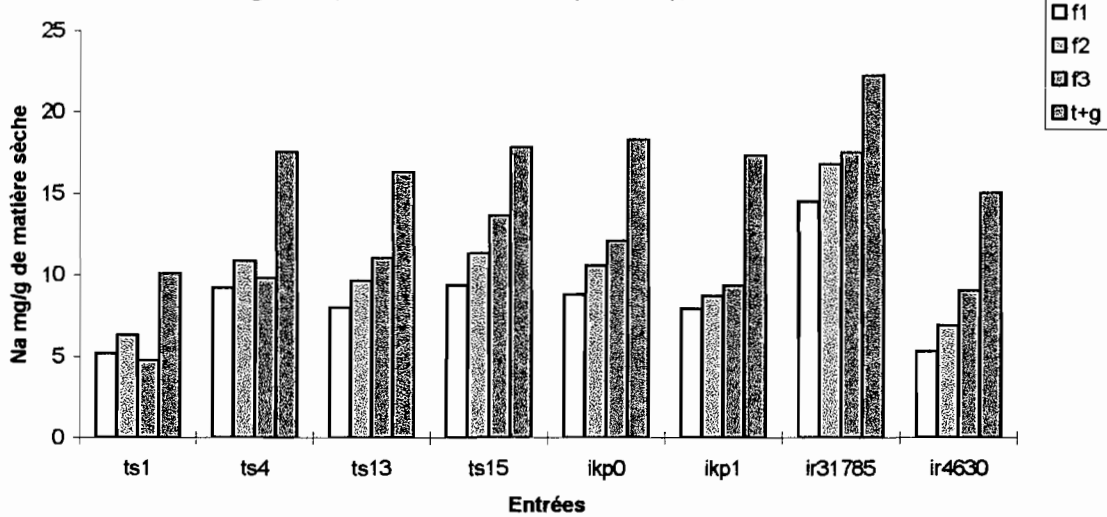


Figure 9 : Teneur en Na des différents étages de feuilles, des tiges et des gaines, en hivernage (essai 2), et en eau douce

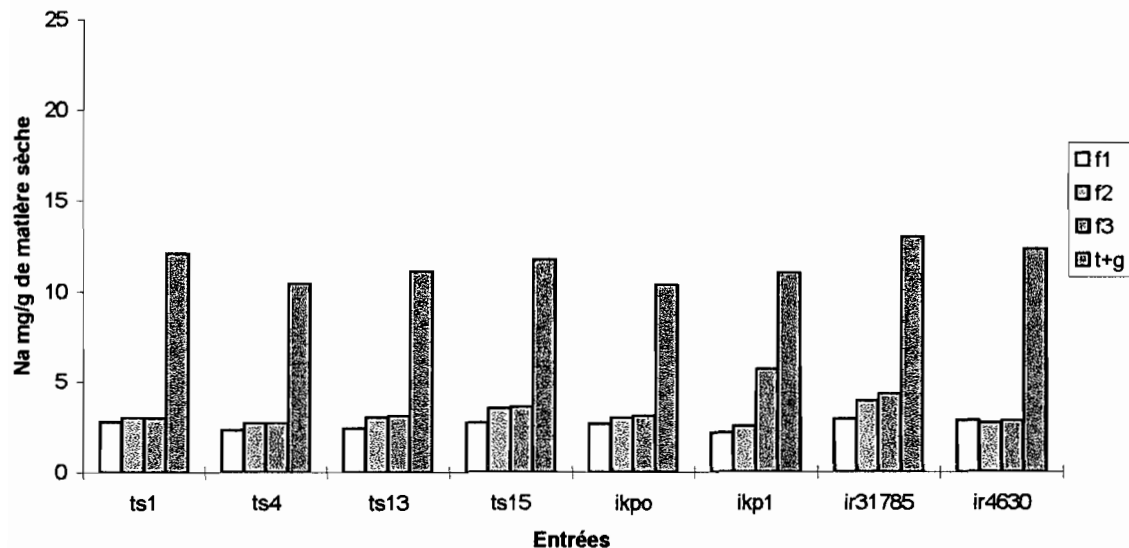


Figure 10 : Teneur en Na des différents étages de feuilles, des tiges et des gaines en hivernage (essai 2), et en eau salée

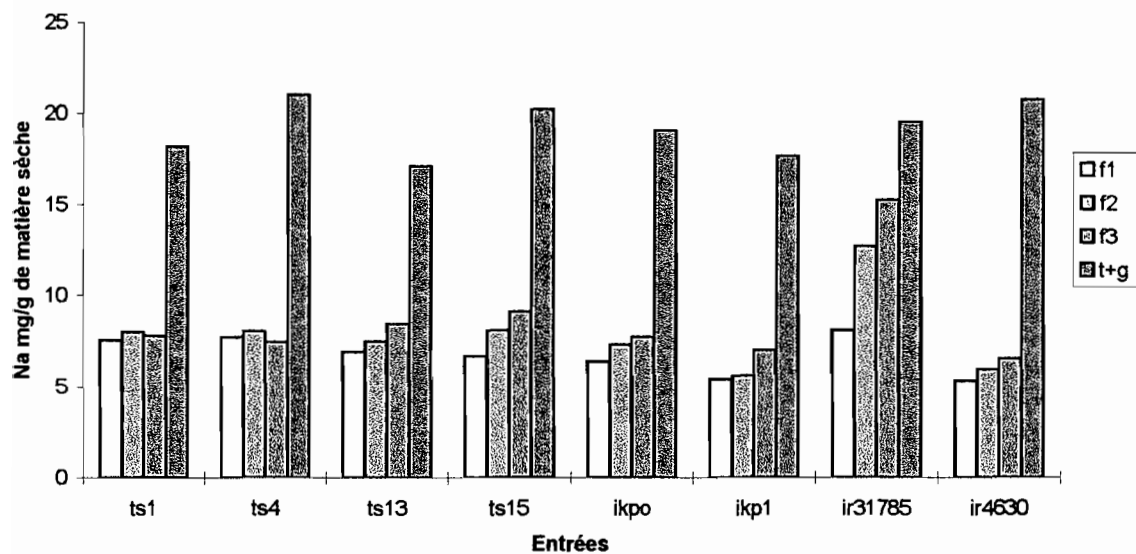


Figure 11: Rapport K/Na des différents étages de feuilles, des tiges et des gaines, en contre saison (essai 1) et en eau douce

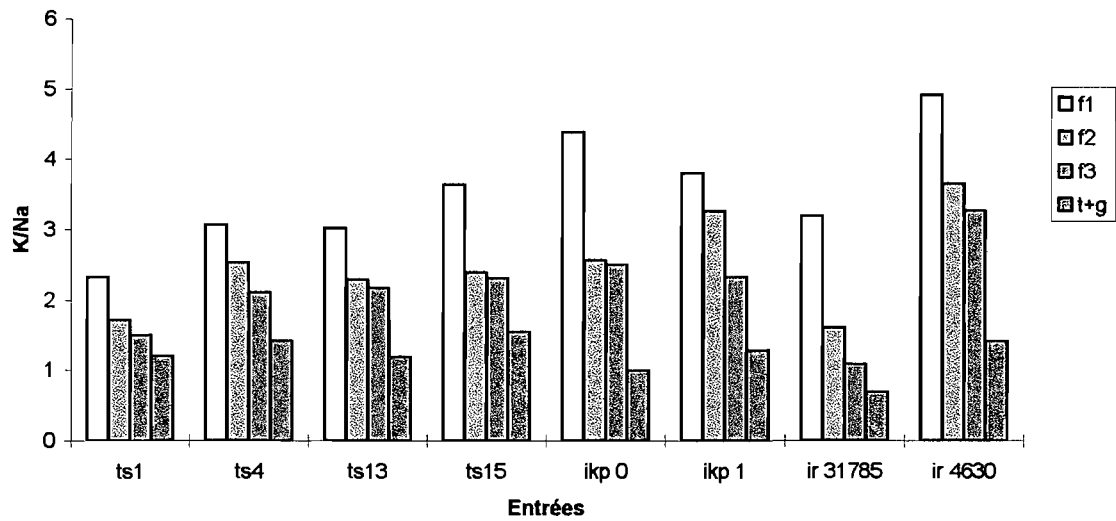


Figure 12: Rapport K/Na des différents étages de feuilles, des tiges et des gaines, en contre saison (essai 1), et en eau salée

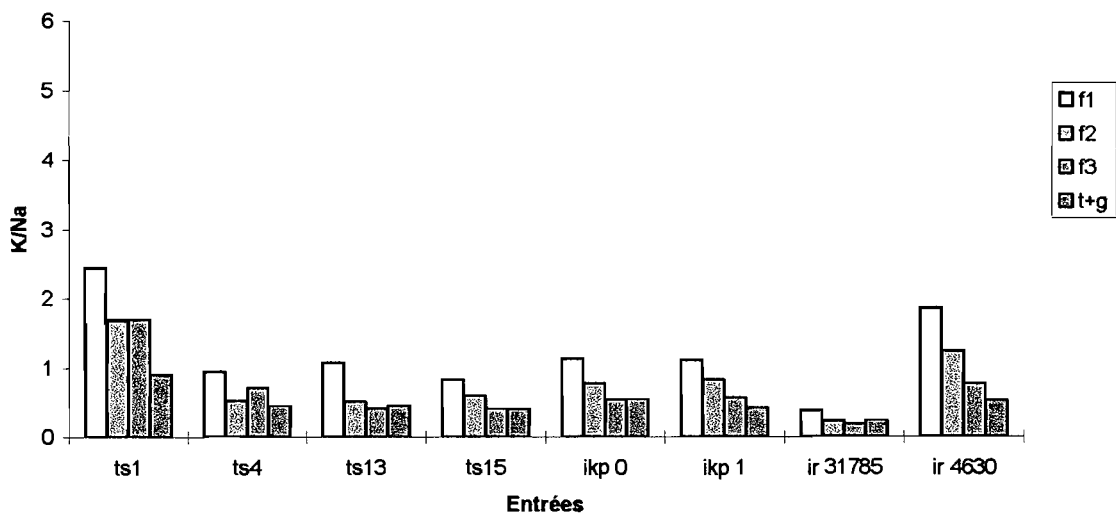


Figure 13 : Rapport K/Na des différents étages de feuilles, des tiges et des gaines, en hivernage (essai 2) et en eau douce

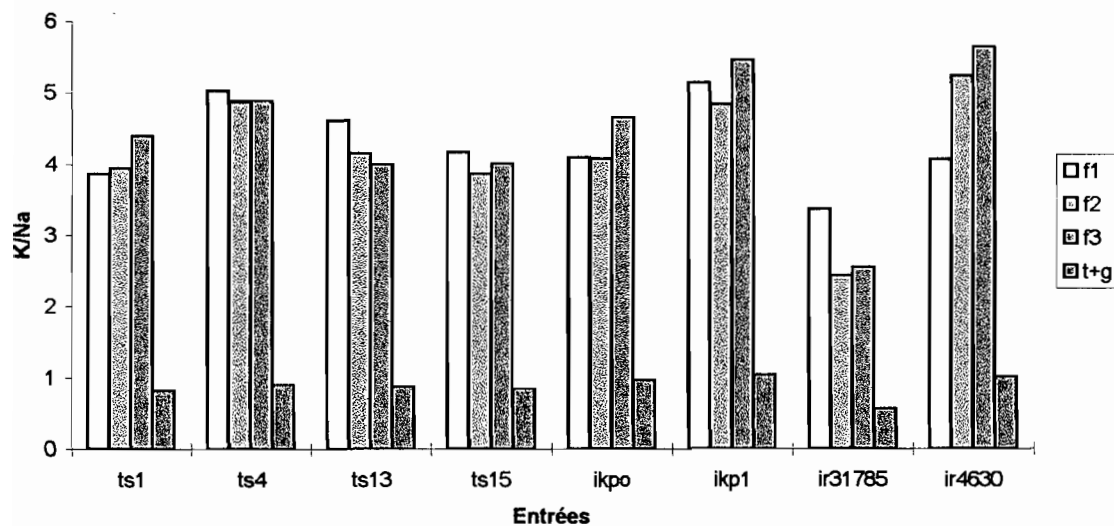


Figure 14 : Rapport K/Na des différents étages de feuilles, des tiges et des gaines, en hivernage (essai 2), et en eau salée

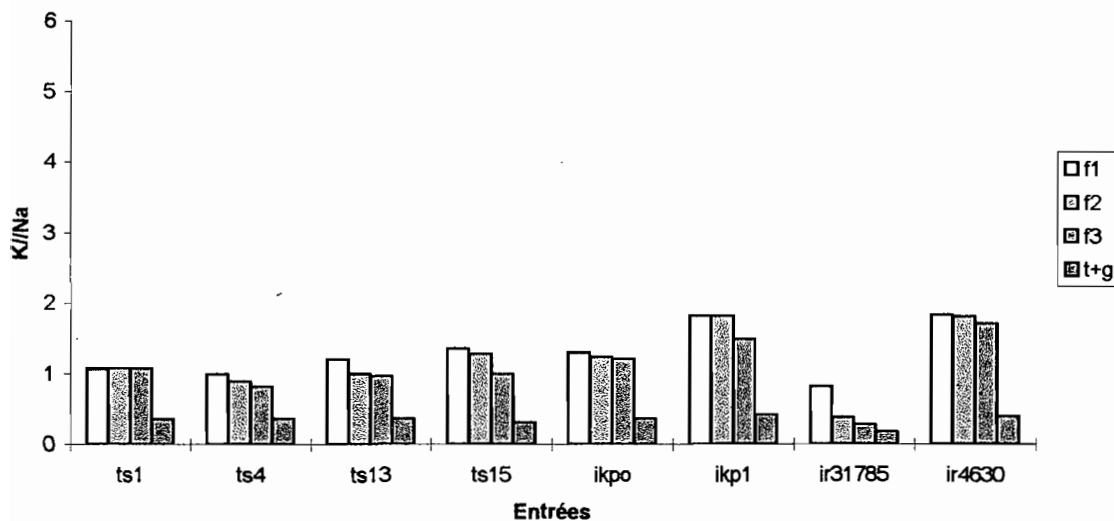


Figure 15 : Teneur en Na de la plante entière, en contre saison (essai 1), et en eau salée.

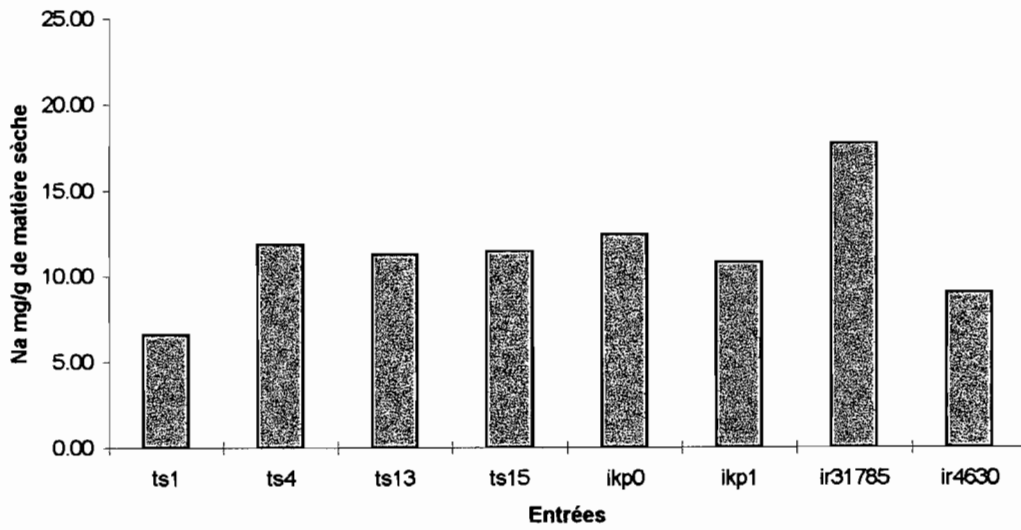
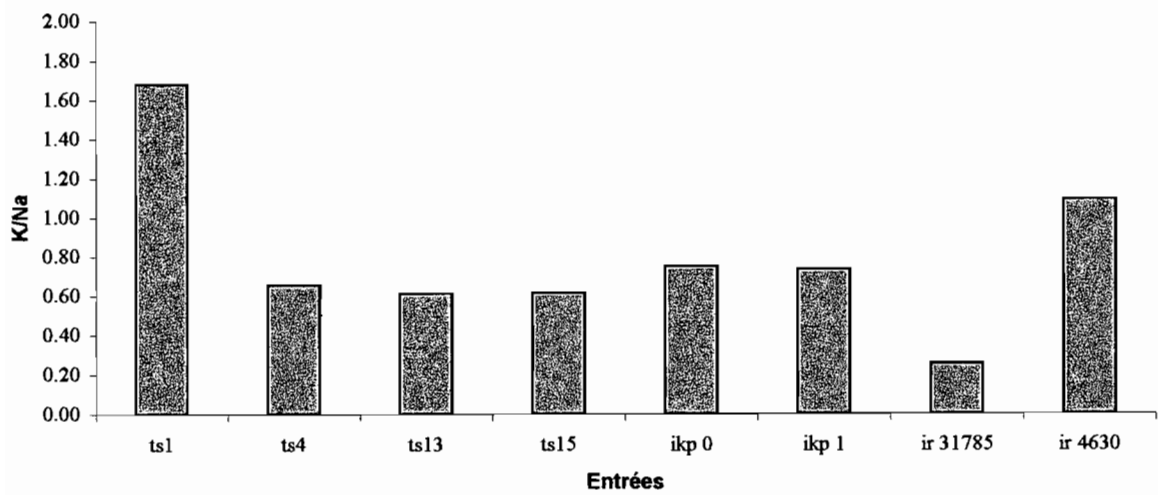


Figure 16 : Rapport K/Na de la plante entière en contre saison (essai 1), et en eau salée



ANNEXES

Méthodes de calcul des variables

Biomasse végétative (g/m^2) = Poids (tiges + feuilles + tissus morts)/ m^2

Feuilles/biomasse végétative = Poids des feuilles/Biomasse végétative

Racines/biomasse végétative = Poids des racines/Biomasse végétative

Tissus morts/biomasse végétative = Poids des tissus morts/Biomasse végétative

Biomasse à maturité (g/m^2) = Poids (pailles + panicules)/ m^2

Nombre de talles = Nombre de talles/ m^2

Nombre de panicules = Nombre de panicules/ m^2

Rendement (g/m^2) = Poids des grains pleins/ m^2

Indice de sénescence = Poids des tissus morts/Biomasse végétative*100

Indice de fertilité = Nombre de panicules/Nombre de talles*100

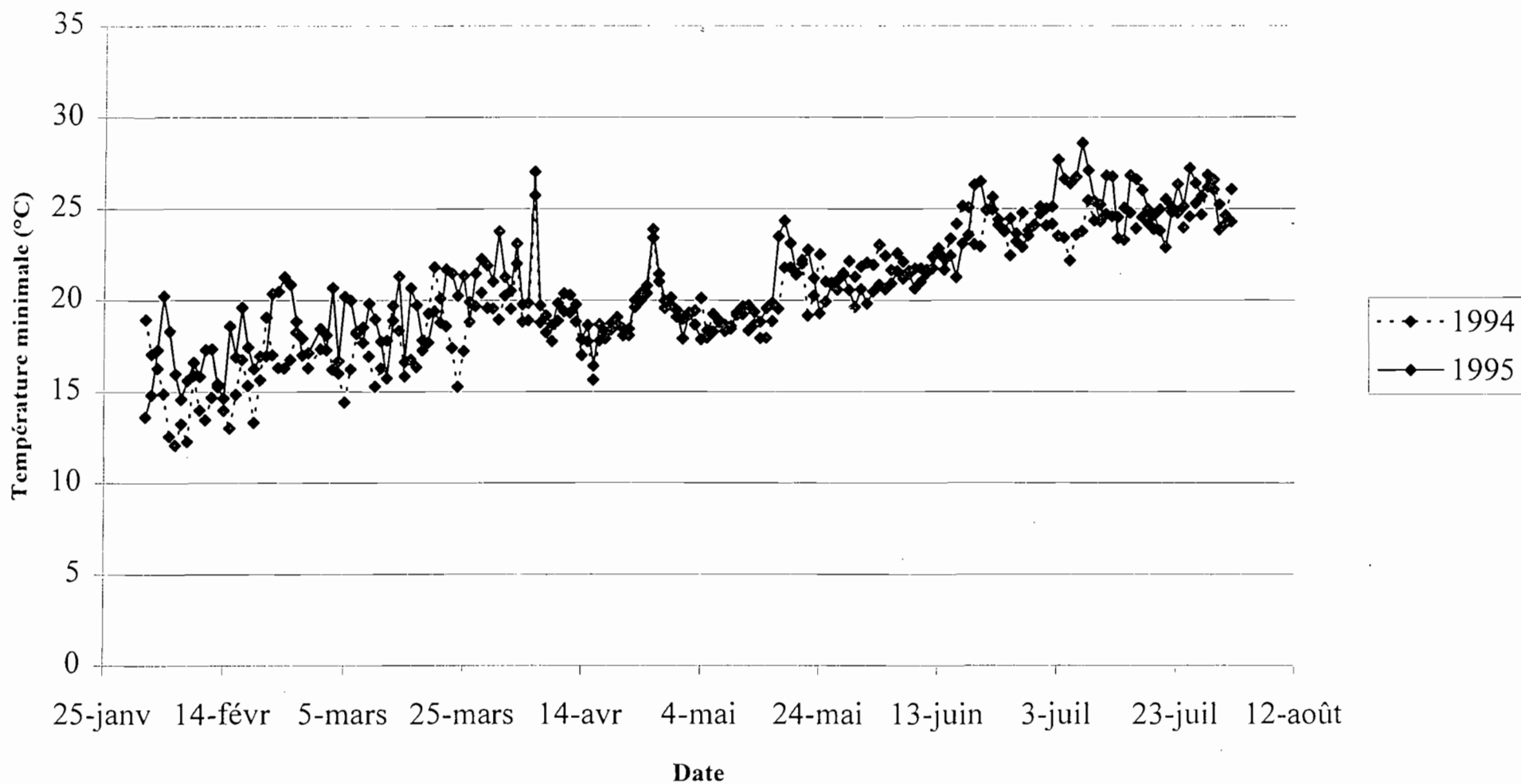
Taux de stérilité = Nombre d'épillets vides/Nombre d'épillets total*100

Indice de récolte = Poids des panicules/Biomasse à maturité

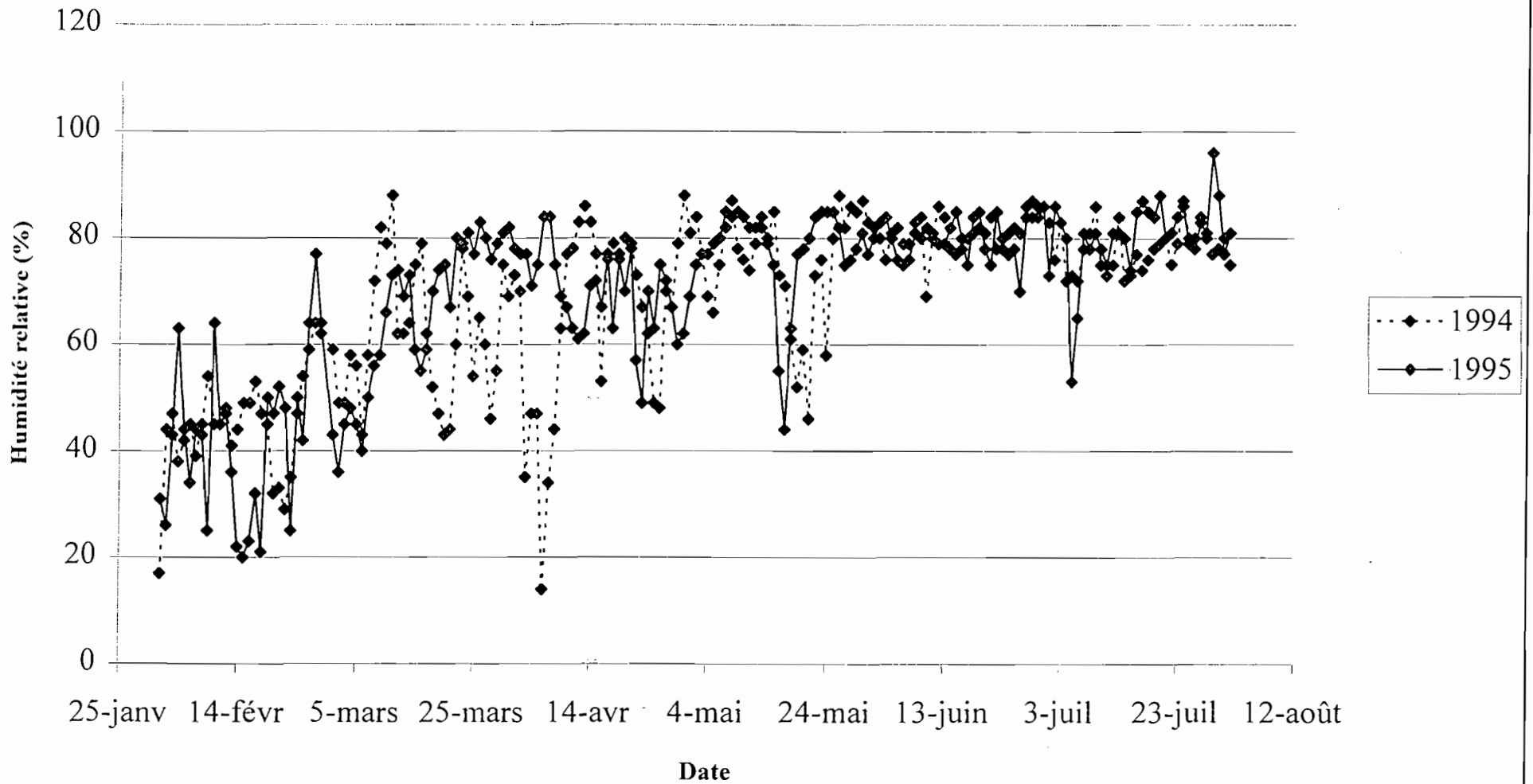
Nombre d'épillets par panicule = Nombre d'épillets total/Nombre de panicules

% d'épillets pleins = Nombre d'épillets pleins/Nombre d'épillets total

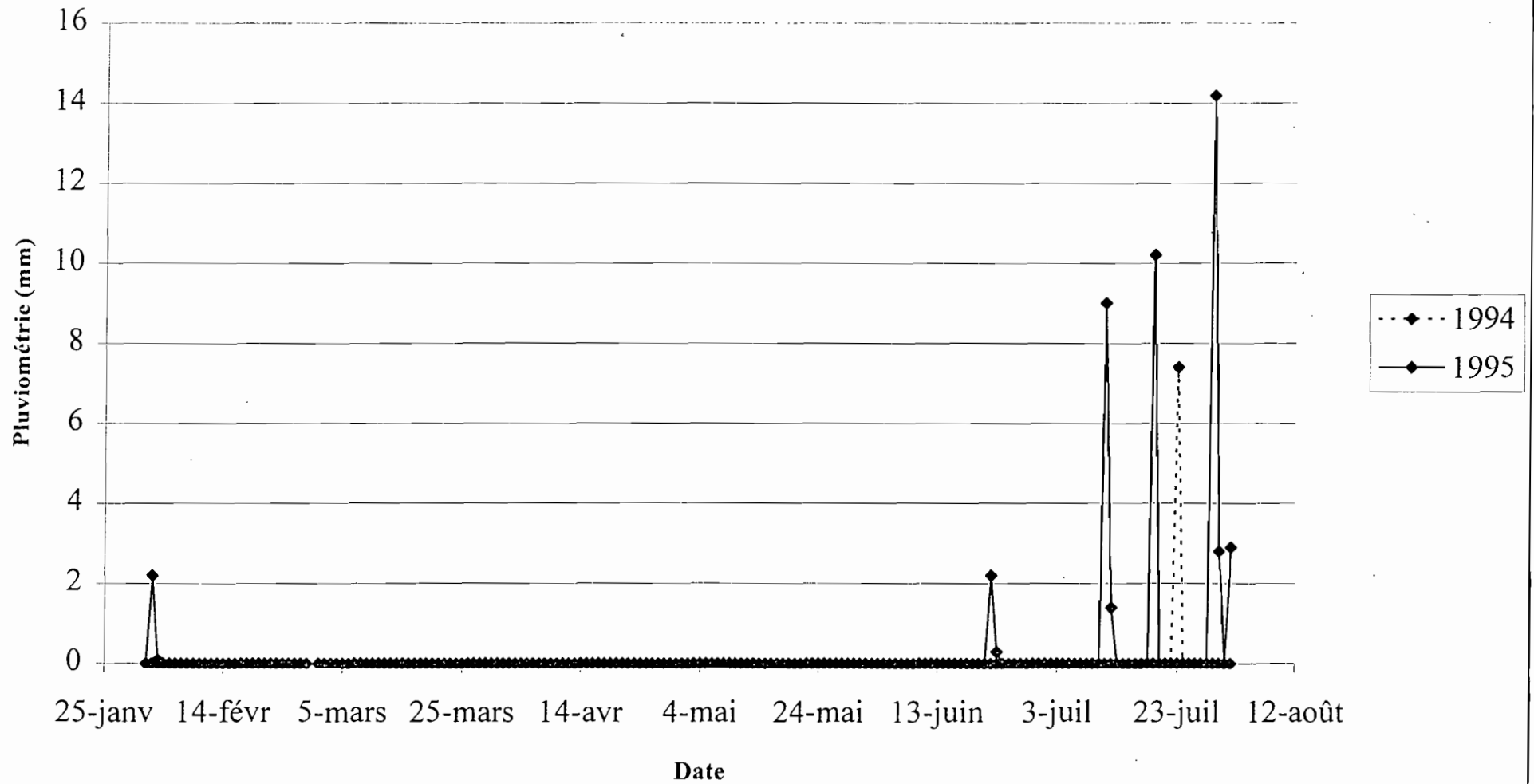
Evolution comparée des températures minimales (1994 - 1995)



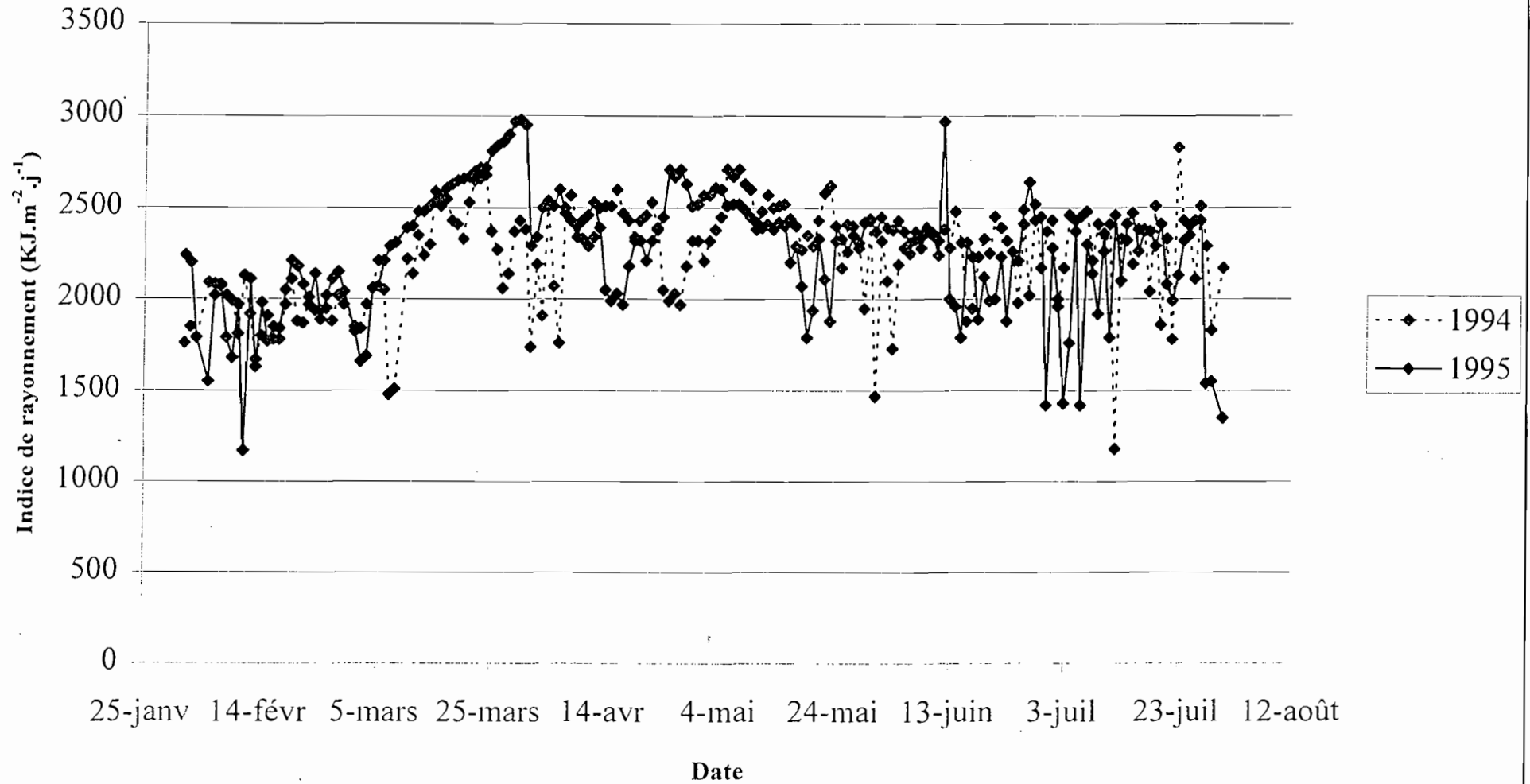
Evolution comparée de l'humidité relative (1994 - 1995)



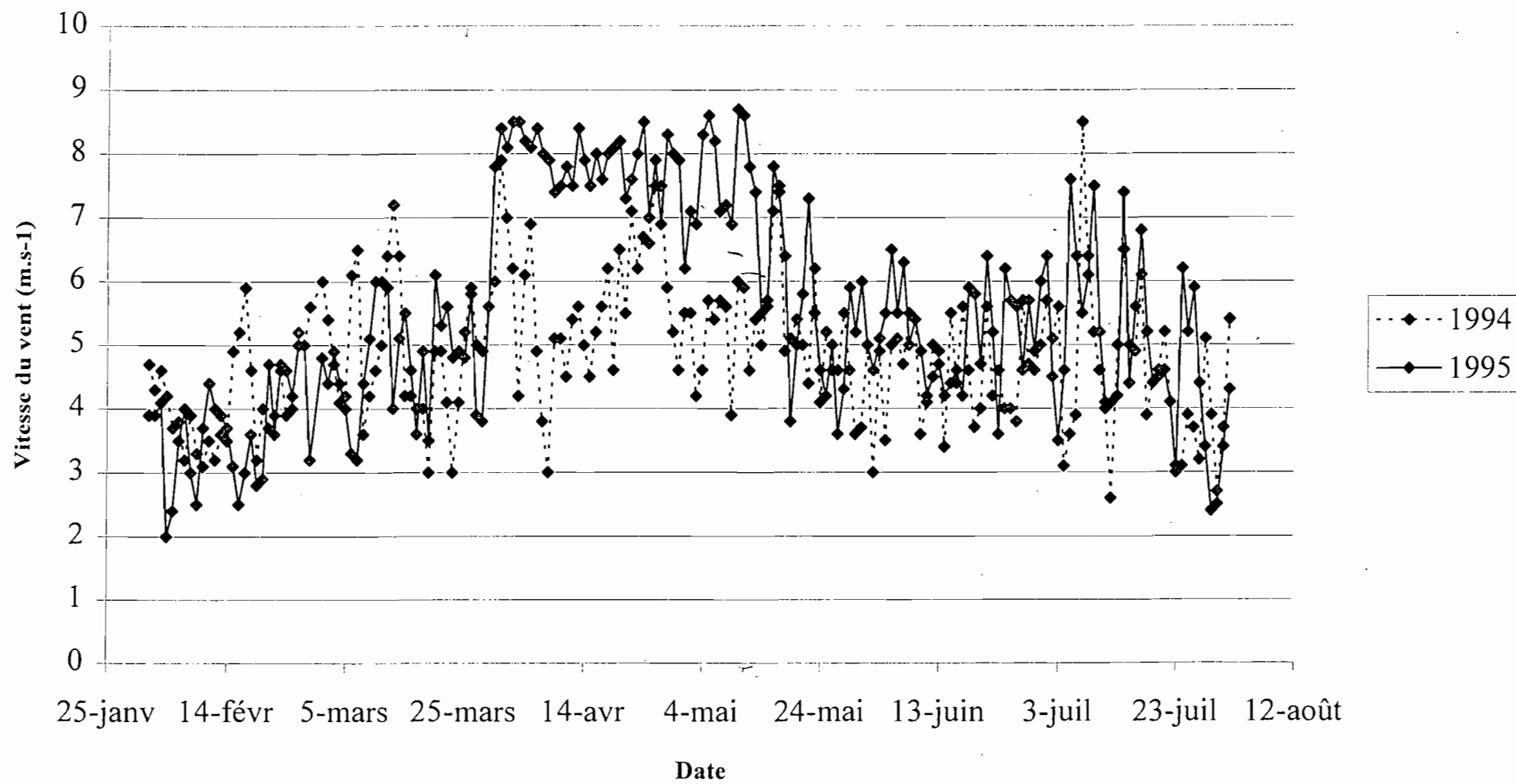
Evolution comparée de la pluviométrie (1994 - 1995)



Evolution comparée de l'indice de rayonnement (1994 - 1995)



Evolution comparée de la vitesse du vent (1994 - 1995)



REFERENCES

- * **ABDULLAH R., COCKING E. C. and THOMPSON J. A.,** 1986. Efficient plant regeneration from rice protoplasts through somatic embryogenesis. Biotechnology, Vol. 4 : 1087-1990.
- * **ABE T. and FUTSUHARA Y.,** 1989. Selection of higher regenerative callus and change in isozyme pattern in rice (*Oryza sativa* L.). Theor. Appl. Genet., 78 : 648-652.
- * **ADKINS S.W., KUNANUVATCHAIDACH R. and GODWIN R.G.,** 1995. Somaclonal variation in rice-drought tolerance and other agronomic characters. Aust. J. Bot., 43 : 201-209.
- * **ADRAO** (Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest), 1993. Rapport annuel, 118 pages.
- * **AKBAR M.,** 1986. Breeding for salinity tolerance in rice. In: Salt-affected soils of Pakistan, India and Thailand. IRRI, Los Baños. Philippines. pp : 39-63.
- * **AKITA S. and CABUSLAY G. S.,** 1990. Physiological basis of differential response to salinity in rice cultivars. Plant and Soil, 123 : 277-294.
- * **ANGLADETTE A.,** 1996. Le riz. Maisonneuve et Larose, Paris, 930 pages.
- * **ASCH F.,** 1995. Effets de l'humidité de l'air sur la transpiration chez des variétés de riz soumises à un stress de salinité. Rapport annuel ADRAO. 134 pages.
- * **ASCH F.,** 1995. Salinity effects on rice in the Sahel. International Training Course on Rice Production in the Sahel. 15-26 Mai : 9 pages.
- * **ASCH F.,** 1995. Physiological characterization of selection criteria for variety tolerance to salinity in sahelian irrigated rice. Rapport ADRAO. 7 pages.

- * **ASCH F. et DINGKUHN M.**, 1994. Effets de la saison sur la réponse variétale à la salinité du sol. Rapport annuel ADRAO. 126 pages.
- * **ASCH F., DINGKUHN M. and DÖRFFLING K.**, 1997. Physiological stresses of irrigated rice caused by soil salinity in the Sahel. In : Irrigated rice in the Sahel. Prospects for sustainable development. 487 pages.
- * **ASCH F., DÖRFFLING K and DINGKUHN M.**, 1995. Response of rice varieties to soil salinity and air humidity : a possible involvement of root-borne ABA. Plant and soil 177 : 11-19.
- * **ASCH F., WITTSTOCK C. et AUDEBERT A.**, 1995. Un filtre racinaire variétal limite l'absorption du sodium par le riz. Rapport annuel ADRAO. 134 pages.
- * **ASHRAF M.**, 1994. Breeding for salinity tolerance. Critical Reviews in Plant Sciences. 13 (1) : 17-42.
- * **ASHRAF M. and O'LEARY J. W.**, 1994. Does pattern of ion accumulation vary in alfalfa at different growth stage. Journal of Plant Nutrition, 17 (8) : 1443-1461.
- * **ASHRAF M. and WAHEED A.**, 1993. Responses of some genetically diverse lines of chick pea (*Cicer arietinum* L.) to salt. Plant and Soil 154 : 257-266.
- * **ASLAM M., QURESHI R. H. and AHMED N.**, 1993. A rapid screening technique for salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). Plant and Soil, 150 : 99-107.
- * **ASLAM M., QURESHI R. H. and AHMED N.**, 1993. Mecanisms of salinity tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). LIETH H. and Al MASOOM (eds: Towards the rational use of high salinity tolerant plants). Vol. 2 : 135-138.
- * **ASLAM M., QURESHI R. H., AHMED N. and MUHAMMED S.**, 1988. Response of rice to salinity shocks at various growth stages and types of salinity in the rooting medium. Pak. J. Agri. Sci., 25 : 199-205.
- * **ASLAM M., QURESHI R. H., AHMED N. and MUHAMMED S.**, 1989. salinity tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). Morphological studies. Pak. J. Agri. Sci., 26 : 92-98.
- * **AWADA S., CAMPBELL W. F., DUDLEY L. M., JURINAK J. J and KHAN M. A.**, 1995. Interactive effects of sodium chloride, sodium sulfate, calcium sulfate,

and calcium chloride on snapbean growth, photosynthesis and ion uptake. Journal of Plant Nutrition, 18 (5), 889-900.

* **BAJAJ Y.P.S.**, 1991. Somoclonal variation. Origin induction, cryopreservation and amplifications in plant breeding. In : BAJAJ Y.P.S. (Ed.). Biotechnology in Agriculture and Forestry 14 : 3-47.

* **BAJAJ Y.P.S. and BIDANI M.**, 1980. Differentiation of genetically variable plants from embryo-derived callus cultures of rice. In: Tissue Culture Laboratory, Panjab Agricultural University, Ludhiana, India : 290-294.

* **BEECHER H. G.**, 1991. Effect of saline water on rice yield and soil properties in the Murrumbidgee Valley. Australian Journal of Experimental Agriculture, 31 : 819-823.

* **BELIERES J. F., CAMARA S. et TOURE E. H. A.**, 1995. Diversité et devenir des résultats technico-économiques de la production rizicole irriguée des exploitations agricoles du delta du fleuve Sénégal. In : Irrigated rice in the Sahel. Prospects for sustainable development. 487 pages.

* **BELOUALY N. and BOUHARMONT J.**, 1991. NaCl-tolerant plants of *Poncirus trifoliata* regenerated from tolerant cell lines. Theor. Appl. Genet., 83 : 509-514.

* **BERTIN P.**, 1995. Utilisation de la variation somaclonale pour l'amélioration de la tolérance aux basses températures chez le riz (*Oryza sativa* L.). Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, Louvain-La-neuve, Belgique. 193 pages.

* **BERTRAND R., KEITA B., NDIAYE M. K. et VELDKAMP W. J.** 1995. La dégradation des sols irrigués en Afrique de l'Ouest. In : Irrigated rice in the Sahel : Prospects for sustainable development. 487 pages.

* **BINET P.**, 1980. Rapport Table Ronde : La Salinité. Phytotron, Gif sur Yvette, 2-3 Juin : 15 pages.

* **BINZEL M. I. and REUVENY M.**, 1994. Cellular mechanisms of salt tolerance in plant cells. Horticultural Reviews. Vol. 16 : 33-69.

* **BOUHARMONT J.**, 1981. Amélioration des plantes. Louvain-la-Neuve, Université Catholique de Louvain. Unité de Cytogénétique, 230 pages.

* **BOUHARMONT J.**, 1984. Algues et Bryophytes. Louvain-la-Neuve, Université Catholique de Louvain. Faculté des Sciences, 217 pages.

- * **BOUHARMONT J.**, 1992. Sélection *in vitro* pour la tolérance à la salinité. Conférence de Bari. 9 pages.
- * **BOUHARMONT J., BELOUALY N. and VAN SINT JAN V.**, 1990. Improvement of salt tolerance in plant by *in vitro* selection at the cellular level. International Conference on High Salinity-Tolerant Plants in Arid Regions, Al Ain, Abu Dhaby.
- * **BOUHARMONT J. and DEKEYSER A.**, 1989. *In vitro* selection for cold and salt tolerance. In Rice. 307-313.
- * **BREIMAN A., FELSENBURG T. and GALUN E.**, 1989. Is Nor region variability in wheat invariably caused by tissue culture ? Theor. Appl. Genet., 77 : 809-814.
- * **BREIMAN A. and ROTEM-ABARBANELL D.**, 1990. Somaclonal variation in Barley (*Hordeum vulgare* L.). Biotechnology in Agriculture and Forestry. Vol. 11 : 353-375.
- * **BREIMAN A., ROTEM-ABARBANELL D., KARP A., and SHASKIN H.**, 1987. Heritable somaclonal variation in wild barley (*Hordeum spontaneum*). Theor. Appl. Genet., 74 : 104-112.
- * **BROWN P. T. H.**, 1989. DNA methylation in plants and its role in tissue culture. Genome, 31 : 717-729.
- * **BUIATTI M.**, 1989. Use of cell and tissue cultures for mutation breeding. Vörr. Pflanzenzüchtung, 16 : 179-200.
- * **CABUSLAY G. S. and AKITA S.**, 1986. Physiology of varietal response to salinity. I. Effect of nutrient concentration and pH on salt tolerance. Japan J. Crop Sci., 55 : 26-27.
- * **CERDA A., PRADINES J., BOTELLA M. A. and MARTINEZ V.**, 1995. Effect of potassium on growth, water relations and the inorganic and organic solute contents for two maize cultivars grown under saline conditions. Journal of Plant Nutrition, 18 (4), 839-851.
- * **CHALEFF R. S.**, 1981. Genetics of higher plants: Application of cell culture. Cambridge University Press. Cambridge. U. K. 184 pages.

- * **CHALEFF R. S.**, 1983. Isolation of agronomically useful mutants from plant cell cultures. Science, 219 : 676-682.
- * **CHANDLER S. F. and VASIL I. K.**, 1984. Optimisation of plant regeneration from long-term embryogenic callus cultures of *Pennisetum purpureum* Shum. (Napier grass). J. Plant Physiol., Vol. 117 : pp. 147-156.
- * **CHOWDHURY M. K. U. and VASIL I.K.**, 1993. Molecular analysis of plants regenerated from embryogenic cultures of hybrid sugarcane cultivars (*Saccharum sp.*). Theor. Appl. Genet., 86 : 181-188.
- * **CHOWDHURY M. K. U., VASIL V. and VASIL I.K.**, 1994. Molecular analysis of plants regenerated from embryogenic cultures of wheat (*Triticum aestivum* L.). Theor. Appl. Genet., 87 : 821-828.
- * **COOPER D.B., SEARS R.G., LOOKHART G.L. and JONES B. L.** 1986. Heritable somaclonal variation in gliadin proteins of wheat plants derived from immature embryo callus culture. Theor. Appl. Genet., 71 : 784 - 790.
- * **C.P.S.P.**, 1992. Rapport annuel, Caisse de Péréquation et de Stabilisation des Prix. Dakar Sénégal.
- * **CUARTERO J., YEO A. R. and FLOWERS T. J.**, 1992. Selection of donors for salt-tolerance in tomato using physiological traits. New Phytol., 121 : 63-69.
- * **DAVIES P. A., PALOTTA M. A., RYAN S. A., SCOWCROFT R. W. and LARKIN P. J.**, 1986. Somaclonal variation in wheat: genetic and cytogenetic characterization of alcohol dehydrogenase 1 mutant. Theor. Appl. Genet., 72 : 644-653.
- * **DE BUYSER J., HARTMAN C., HENRY Y. and RODE A.**, 1988. Variations in long-term wheat somatic tissue culture. Can. J. Bot. Vol. 66 : 1891-1895.
- * **DEKEYSER A., BOUHARMONT J. et HORVAT F.**, 1988. Amélioration et sélection du riz par les cultures *in vitro* et l'hybridation interspécifique. Rapport final du programme STD 119A-CEE : 69 p.
- * **DEMARLY Y.**, 1986. Experimental and theoretical approach of *in vitro* variations. In Semal J. (ed) CEC, Symp. Somaclonal variation and crop improvement. Gembloux, Belgique : 84-99.

- * **DIALLO N., QUEROZ-CLARET C.**, 1983. Effet du chlorure de sodium sur le métabolisme carboné de *Cakile maritima* et *Kalanchoe blassfeldiana*. Physiol. vég. 21 (4), 621-632.
- * **DINGKUHN M.**, 1991. Bases physiologiques et écologiques du cycle de culture des variétés de riz dans le Sahel. Rapport annuel ADRAO. 115 pages.
- * **DINGKUHN M.**, 1992. Contraintes de rendement dans un périmètre irrigué du Sahel. Rapport annuel ADRAO. 68 pages.
- * **DINGKUHN M., ASCH F. et MIEZAN K.**, 1992. Tolérance des variétés de riz irrigué à la salinité dans le Sahel. Rapport annuel ADRAO. 68 pages.
- * **DINGKUHN M. et MIEZAN K.**, 1991. Identification des mécanismes régissant la tolérance à la température. Rapport annuel ADRAO. 115 pages.
- * **DINGKUHN M. and MIEZAN K.**, 1991. Temperature-related problems in Sahel irrigated rice. Progress in Physiological Research and Breeding with Emphasis on the Sahel Environment. West Africa Rice Development Association. 173 pages.
- * **DINGKUHN M., MIEZAN K. et ASCH F.**, 1993. I. Mise au point de variétés à haut rendement mieux adaptées au Sahel. Rapport annuel ADRAO. 118 pages.
- * **EARLE E. D. and KUEHNLE A. R.**, 1990. Somaclonal variation in maize. Biotechnology in Agriculture and Technology. Vol. 11, 327-351.
- * **ERDEI L., TRIVEDI S., TAKEDA K. and MATSUMOTO H.**, 1990. Effects of osmotic and salt stresses on the accumulation of polyamines in leaf segments from wheat varieties differing in salt and drought tolerance. J. Plant Physiol. Vol. 137. pp. 165-168.
- * **EVANS D. A.**, 1989. Somaclonal variation. Genetic basis and breeding applications. Trends in Genetics, Vol 5, N° 2 : 46-50.
- * **EVANS D. A. and SHARP W. R.**, 1986. Applications of somaclonal variation. Biotechnology 4 : 528-532.
- * **EVANS D. A., SHARP W. R. and MEDINA-FILHO H. P.**, 1984. Somaclonal and gametoclonal variation. Amer. J. Bot., 71 (6) : 759-774.
- * **EVRARD C.**, 1989. Systématique des angiospermes. Cours de première licence en sciences botaniques. Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, 143 pages.

- * **FAGERIA N. K.**, 1985. Salt tolerance of rice cultivars. Plant and Soil, 88 : 237-243.
- * **F.A.O.** (Food and Agriculture Organization), 1985. Annuaire de la production 1984. Vol 38.
- * **FLOWERS T. J., TROKE P. F. and YEO A. R.**, 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. Ann. Rev. Plant. Physiol., 28 : 89-121.
- * **FLOWERS T. J., LACHNO D.R., FLOWERS S. A. and YEO A. R.**, 1985. Some effects of sodium chloride on cells of rice cultured *in vitro*. Plant Sci., 39 : 205-211.
- * **FLOWERS T. J and YEO A. R.**, 1989. Effect of salinity on plant growth and crop yield. In : Biochemical and Physiological Mechanisms Associated with Environmental Stress Tolerance in Plants. Ed. J. Cherry. Berlin : Springer Verlag.
- * **FORSTER B. P., PHILLIPS M. S., MILLER T.E., BAIRD E. and POWELL W.**, 1990. Chromosome location of genes controlling tolerance to salt (NaCl) and vigour in *Hordeum vulgare* and *H. chilense*. Heredity, 65 : 99-107.
- * **FURMANOWA M., OLEDZKA H. and SOWINSKA D.**, 1984. Regeneration of plants by embryogenesis with callus cultures of *Carum carvi* L. J. Plant Physiol., Vol. 115. pp. 209-210.
- * **GALIBA G., KERTESZ Z., SUTKA J. and SAGI L.**, 1985. Differences in somaclonal variation in three winter wheat / *Triticum aestivum* L. / varieties. Cereal Research Communications. Vol. 13 N°. 4 : 343-350.
- * **GLENN E.P., WATSON M.C., O'LEARY J. W. and AXELSON R.D.**, 1992. Comparison of salt tolerance and osmotic adjustment of low-sodium and high-sodium subspecies of the C4 halophyte, *Atriplex canescens*. Plant, Cell and Environment, 15, 711-718.
- * **GOLDSTEIN C. S. and KRONSTAD W. E.**, 1986. Tissue culture and plant regeneration from immature embryo explants of barley, *Hordeum vulgare*. Theor. Appl. Genet., 71 : 631-636.
- * **GOUET J.P. et PHILLIPEAN O.**, 1992. Analyse de variance. Comment interpréter les résultats ? Collection Stat. ITCF. Institut Techniques des Céréales et des Fourrages - 47 pages.

- * **GORHAM J., WYN JONES R.G. and BRISTOL A.**, 1990. Partial characterization of the trait for enhanced K⁺-Na⁺ discrimination in the D genome of wheat. Planta, 180 : 590-597.
- * **GRAY D. J. and CONGER B. V.**, 1985. Time-lapse light photomicrography and scanning electron microscopy of somatic embryo ontogeny from cultured leaves of *Dactylis glomerata* (Gramineae). Trans. Am. Microsc. Soc., 104 (4) : 395-399.
- * **GREENWAY H. and MUNNS R.**, 1980. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. Ann. Rev. Plant Physiol. 31: 149-190.
- * **GUENZI A. C., MORNHINWEG D. W. and JOHNSON B. B.**, 1992. Genetic analysis of a grass dwarf mutation induced by wheat callus culture. Theor. Appl. Genet., 84 : 952-957.
- * **HASEGAWA P. M., BRESSAN R. R. and HANDA S.**, 1986. Cellular mechanisms of salinity tolerance. Hort. Science, 216 : 1317-1324.
- * **HENKE RE. R., MANSUR M.A. and CONSTANTIN M.J.**, 1978. Organogenesis and plant formation from organ- and seedling-derived calli of rice (*Oryza sativa* L.). Physiol. Plant., 44 : 11-14.
- * **HUKE R.**, 1976. Geography and climate of rice. In : Climate and Rice. 31-47.
- * **JANARDHAN REDDY P. and VAYDYANATH K.**, 1985. *In vitro* selection for salt tolerance in "Basmati rice". India. J. Plant Physiol., vol XXVIII, n° 1 : 88-91.
- * **JONES M. P. et ADESINA A. A.**, 1991. Criblage de variétés de riz pluvial dans des systèmes à faible et haut niveaux d'intrants. Rapport annuel ADRAO. 114 pages.
- * **JONES T. J. and ROST T. L.**, 1989. The developmental anatomy and ultrastructure of somatic embryos of rice (*Oryza sativa* L.) scutellum epithelial cells. Bot. Gaz., 150 (1) : 41-49.
- * **KALAJI M. H. and PIETKIEWICZ S.**, 1993. Salinity effects on plant growth and other physiological processes. Acta Physiologiae Plantarum. Vol. 15. N° 2 : 89-124.
- * **KANNAN S. and RAMANI S.**, 1987. Effects of ammonium sulfate on NaCl uptake by rice cultivars differing in salt tolerance: experiments with soil and solution culture. Journal of Plant Nutrition, 10 : 1795-1804.

- * **KARIM M. A., UTSUNOMIYA N. and SHIGENAGA S.**, 1992. Effect of sodium chloride on germination and growth of hexaploid triticale at early seedling stage. Jpn. J. Crop Sci., 61 (2) : 279-284.
- * **KARP A., WU Q. S., STEELE S.H. and JONES M. G. K.**, 1987. Chromosome variation in dividing protoplasts and cell suspensions of wheat. Theor. Appl. Genet., 74 : 140-146.
- * **KHATUN S., RIZZO C.A. and FLOWERS T.J.**, 1995. Genotypic variation in the effect of salinity on fertility in rice. Plant and soil, 173 (2) 239-250.
- * **KONGS A. and VERLE P.**, 1995. Human health and irrigated rice in the Sahel : experients in Richard-Toll, Sénégal. In : Irrigated rice in the Sahel. Prospects for sustainable development. 487 pages.
- * **KRISHNARAJ S. and SREERANGASAMY S.R.**, 1993. *in vitro* salt tolerance screening in long-term anther cultures of rice (*Oryza sativa* L.) Variety IR 50. J. Plant Physiol., Vol. 142 : 754-758.
- * **LACROIX A.**, 1993. Caractérisation de lignées de riz (*Oryza sativa* L. cv I Kong Pao) sélectionnées *in vitro* pour leur tolérance à la salinité : accumulation des éléments minéraux, teneurs et fluorescence de la chlorophylle. Mémoire de Licence. Louvain-la-Neuve, Université Catholique de Louvain. Unité de Cytogénétique, 87 pages.
- * **LARKIN P.J., BANKS P.M., BHATI R., BRETTELL R.I.S., DAVIES P.A., RYAN S. A., SCOWCROFT W.R., SPINDLER L.H. and TANNER G.H.**, 1989. From somatic variation to variant plants: mecanisms and applications. Genome, 31 : 705-711.
- * **LARKIN P. J., RYAN S.A., BRETTEL R.I.S. and SCOWCROFT W.R.**, 1984. Heritable somaclonal variation in wheat. Theor. Appl. Genet. 67 : 443 - 445.
- * **LARKIN P.J. and SCOWCROFT W.R.**, 1981. Somaclonal variation : a novel source of variability from cell cultures for plant improvement. Theor. Appl. Genet., 60 : 197-214.
- * **LARKIN P.J. and SCOWCROFT W.R.**, 1983. Somaclonal variation and eyespot toxin tolerance in sugarcane. Plant Cell Tissue Organ Cult. 2 : 111-121.
- * **LAUTER D. J. and MUNNS D. N.**, 1987. salt sensitivity of chickpea during vegetative growth and at different humidities. Aust. J. Plant Physiol. 14, 171-180.

- * **LE BRUSQ J. Y.**, 1980. Etude pédologique des cuvettes de la vallée du Lamprusar, (région du fleuve Sénégal). Rapport ORSTOM. Dakar, Sénégal. 114p.
- * **LEE M. and PHILLIPS R.L.**, 1988. The chromosomal basis of somaclonal variation. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 39 : 413-437.
- * **LE HOUEROU H. N.**, 1989. The grazing land ecosystems of the African Sahel. Ecological studies 75, Springer Verlag, Paris : 282 p.
- * **LESSANI H. and MARSCHNER H.**, 1978. Relation between salt tolerance and long-distance transport of sodium chloride in various crop species. Aust. J. Plant Physiol. 5 : 27-38.
- * **LEVIGNERON A., LOPEZ F., VANSUYT G., BERTHOMIEU P., FOURCROY P. et CASSE-DELBART F.** 1995. Les plantes face au stress salin. Cahiers Agricultures, 4 : 263-273.
- * **LEVITT J.**, 1980. Responses of plant to environmental stresses. vol. II, Water, radiation, salt and other stresses. Levitt J. (ed), Academic Press. New York, 606 pages.
- * **LI H. M. and CHEN Y.**, 1987. Selection of cadmium tolerant mutants from rice anther culture. Acta Genet. Sin., 14 : 42-48.
- * **LIU J.R. and CANTLIFFE D. J.**, 1984. Somatic embryogenesis and plant regeneration in tissue cultures of sweet potato (*Ipomea batatas* Poir.). Plant Cell Reports, 3 : 112-115.
- * **LOUANT B. P.**, 1986. Ecophysiologie des cultures tropicales. Louvain-la-Neuve, Université Catholique de Louvain. Faculté des Sciences Agronomiques.
- * **LOYER J.Y.**, 1989. Les sols salés de la basse vallée du fleuve Sénégal. Caractérisation Distribution et Evaluation sous cultures. Rapport ORSTOM. 133 p.
- * **LU C.H., CHANDLER S.F. and VASIL I.K.**, 1984. Somatic embryogenesis and plant regeneration from cultured immature embryos of Rye (*Secale cereale* L.). J. Plant Physiol. Vol. 115. pp. 237-244.
- * **LUTTS S.**, 1992. Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez *Oryza sativa* L. Variation somaclonale et stratégies d'amélioration. Epreuve de confirmation de thèse, Université Catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgique.

- * **LUTTS S.**, 1996. Etude des mécanismes de résistance à la salinité chez le riz (*Oryza sativa* L.). variation somaclonale et stratégie d'améliorations par utilisation des cultures *in vitro*. Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgique. 381 pages.
- * **MAAS E. V.**, 1993. Plant growth response to salt stress. H. LIETH and A. AL MASOOM (eds) : Towards the Rational Use of High Salinity Tolerant Plant, vol 1 : 279-291.
- * **MAAS E. V. and GRIEVE C. M.**, 1990. Spike and leaf development in salt-stressed wheat. Crop Sci. 30 : 1309-1313.
- * **MAGNUSSON I. and BORNMAN C. H.**, 1985. Anatomical observations on somatic embryogenesis from scutellar tissues of immature zygotic embryos of *Triticum aestivum*. Physiol. Plant. 63 : 137-145.
- * **MALIGA P.**, 1984. Isolation and characterization of mutants in plant cell culture. Ann. Rev. Plant Physiol. 35 : 519-542.
- * **MBODJ Y.**, 1989. La lutte intégrée contre les maladies du riz en Casamance, au Sénégal. Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgique. 238 pages.
- * **MIEZAN K.** 1991. I. Pépinières d'observation des rendements en contre-saison chaude. II. Essais de rendement avancés en hivernage. Rapport annuel ADRAO. 115 pages.
- * **MIEZAN K.** 1992. Advanced yield trials for the wet season. Rapport annuel ADRAO. 64 pages.
- * **MIEZAN K. et GAYE S.**, 1992. Inventaire. Description et système d'évaluation des observations. Rapport interne, ADRAO Sahel, 10 pages.
- * **MIEZAN K. et GAYE S.**, 1994. Identification de nouvelles variétés à rendement élevé et stable pour la contre saison chaude. Rapport annuel ADRAO. 126 pages.
- * **MILLER D. R., WASKOM R.M., BRICK M.A., and CHAPMAN P.L.**, 1991. Transferring *in vitro* technology to the field. Biotechnology, vol. 9 : 143-146.
- * **MOMONOKI Y. S., KATO S. and KAMIMURA H.**, 1994. Studies on the mechanism of salt tolerance in *Salicornia europaea* L. II. High osmosis of epidermal cells in stem. Jpn. J. Crop Sci., 63 (4) : 650-656.

- * **MUNNS R. and TERMAAT A.**, 1986. Whole plant responses to salinity. Aust.J. Plant Physiol. 13 : 143-160.
- * **NABORS M.W. and DYKES T.A.**, 1985. Tissue culture of cereals cultivars with increased salt, drought and acid tolerance. In: Biotechnology in International Agriculture Research. International Rice Research Institute, Los Baños. 121-138.
- * **NABORS M. W., GIBBS S. E., BERNSTEIN C. S. and MEIS M. E.**, 1980. NaCl-tolerant tobacco plants from cultured cells. Z. Pflanzenphysiol. Bd, 97 : 13-17.
- * **NABORS M. W., HEYSER J. W., DYKES T. A. and DeMOTT K. J.**, 1983. Long-duration, high-frequency plant regeneration from cereal tissue culture. Planta 157 : 385-391.
- * **NDIAYE J. P.**, 1987. Fertilité et fertilisation des sols de rizières dans la vallée du fleuve Sénégal. ISRA. DRPV, St Louis, Sénégal.
- * **NOVAK F. J., DOLEZELOVA M., NESTICKY M. and PIOVARCI A.**, 1983. Somatic embryogenesis and plant regeneration in *Zea mays* L. Maydica XXVIII : 381-390.
- * **NYANTENG V. K.**, 1987. Rice in West Africa: Consumption, imports and production with projections to the year 2000. West African Rice Development Association (WARDA). 40 p.
- * **OGURA H., KYOZUKA J., HAYASHI Y. and SHIMAMOTO K.**, 1989. Field performance of protoplast-derived rice plants and their offspring. Proc. of the 6th Internat. Congr. of SABRAO, 575-578
- * **OMIELAN J. A., EPSTEIN E. and DVORAK J.**, 1991. Salt tolerance and ionic relations of wheat as affected by individual chromosomes of salt-tolerant *Lophopyrum elongatum*. Génome, 34 : 961-974.
- * **ORTON T. J.**, 1980. comparison of salt tolerance between *Hordeum vulgare* and *H. jubatum* in whole plants and callus cultures. Z. Pflanzenphysiol. Bd. 98. S. 105-118.
- * **PONNAMPERUMA F. N.**, 1984. Role of cultivar tolerance in increasing rice production in saline lands. In: Salinity Tolerance in Plants. Strategies for Crop Improvement. STAPLES R. C. and TOENNISSEN G. H., (eds). WILEY international, New York : 255-271.

- * **QURESHI J. A., HUCL P. and KARTHA K. K.**, 1992. Is somaclonal variation a reliable tool for spring wheat improvement ? Euphytica 60 : 221-228.
- * **RADOJEVIC L.**, 1985. Tissue culture of Maize *Zea mays* « Cudu ». I. Somatic embryogenesis in the callus tissue. J. Plant Physiol. Vol. 119 : pp. 435-441.
- * **RAINS D. W.**, 1972. Salt transport by plants in relation to salinity. Ann. Rev. Plant Physiol., 23 : 367-388.
- * **RICHARDS R. A.**, 1983. Should selection for yield in saline regions be made on saline or non-saline soils ? Euphytica, 32 : 431-438.
- * **ROWLAND G. G., McHUGHEN A. and McONIE.**, 1988. Field evaluation on nonsaline soils of a somaclonal variant of McGREGOR flax selected for salt tolerance *in vitro*. Can. J. Plant Sci., 68 : 345-349.
- * **RUS-ALVAREZ A., BOURGEAIS-CHAILLOU P. et GUERRIER G.**, 1993. Aspects génotypiques et cellulaires des mécanismes de la tolérance au NaCl chez le genre *Lycopersicon*. Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse, 129, 43-49.
- * **RYAN S. A., LARKIN P. J. and ELLISON F. W.**, 1987. Somaclonal variation in some agronomic and quality characters in wheat. Theor. Appl. Genet., 74 : 77-82.
- * **SALLY H.**, 1995. Performance assesement of rice irrigation in the Sahel : major indicators and preliminary results from Burkina faso and Niger. In : Irrigated rice in the Sahel. Prospects for sustainable development. 487 pages.
- * **SCHACHTMAN D. P., MUNNS R. and WHITECROSS M. I.**, 1991. Variation in sodium exclusion and salt tolerance in *Triticum tauschii*. Crop Sci., 31 : 992-997.
- * **SCHAEFFER G. W.**, 1982. Recovery of heritable variability in anther-derived doubled-haploid rice. Crop Sci. 22, 1160-1164.
- * **SCHAEFFER G. W., SHARPE F. T. and CREGAN P.B.**, 1984. Variation for improved protein and yield from rice anther culture. Theor. Appl. Genet., 67 : 383-389.
- * **SCOWCROFT W. R., LARKIN P. J. and BRETELL. R. I. S.**, 1983. Genetic variation from tissue culture. In : Use of Tissue Culture and Protoplasts in Plant Pathology. Acad. Press., Australia. 139-161.

- * **SHAH M., AKBAR M. and NEUE H. U.**, 1987. Effect of Na/Ca and NA/K ratios in saline culture solution on the growth and mineral nutrition of rice (*Oryza sativa* L.) Plant and Soil, 104 : 57-62.
- * **SHANNON M. C.**, 1985. Principles and strategies in breeding for higher salt tolerance. Plant and Soil, 89 : 227-241.
- * **SHIMRON-ABARDANELL D. A., BREIMAN A.**, 1991. Comprehensive molecular characterization of tissue culture derived *Hordeum marinum* plants. Theor. Appl. Genet., 83 : 71-80.
- * **SIBI M.**, 1990. Genetic bases of variation from *in vitro* tissue culture. Biotechnology in Agriculture and Forestry. Vol. 11, 113-133. Somaclonal Variation in Crop Improvement 1 (ed. by Y. P. S. BAJAJ). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- * **SINGH K. N. and SHARMA D. K.**, 1993. Effect of seedling age and nitrogen levels on yield of rice on a sodic soil. Field Crops Research, 31 : 309-316.
- * **SIRIWARDANA S. and NABORS M. W.**, 1983. Tryptophan enhancement of somatic embryogenesis in rice. Plant Physiol. 73 : 142-146.
- * **SISCAR-LEE J. J. H., JULIANO B. O., QURESHI R. H. and AKBAR M.**, 1990. Effects of saline soil on grain quality of rice differing in salinity tolerance. Plant Food for Human Nutrition., 40 : 31-36.
- * **SKIRVIN R. M., McPHEETERS K.D. and NORTON M.**, 1994. Sources and frequency of somaclonal variation. HortScience, vol. 29 (11) : 1232-1237.
- * **SLAMA F.**, 1991. Transport de Na dans les feuilles et sensibilité des plantes à NaCl. I. evaluation d'un effet piège au niveau des tiges. Agronomie, 11, 275-281.
- * **SOW T., ASCH F. and DINGKUHN M.**, 1994. Field testing of rice plants regenerated from salt stressed callus cultures. WARDA, Annual Report. 126 pages.
- * **STAVAREK S. J. and RAINS D. W.**, 1983. Mecanisms for salinity tolerance in plants. Iowa State Journal of Research. Vol. 57, n° 4 : 457-476.
- * **STEVENS R. M. and HARVEY G.**, 1995. Effects of waterlogging, rootstock and salinity Na, Cl and K concentrations of leaf and root, and shoot growth of sultana grapevines. Aust. J. Agric. Res., 46 : 541-551.

- * **STICKLEN M. B.**, 1991. Direct somatic embryogenesis and fertile plants from rice roots cultures. J. Plant Physiol., 138 : 577-580.
- * **STOREY R. and WYN JONES R. G.**, 1979. Responses of *Atriplex spongiosa* and *Sueda monoica* to salinity. Plant Physiol. 63, 156-162.
- * **SUN Z. X., SUN L. H. and SHU L. H.**, 1991. Utilisation of somaclonal variation in rice breeding. In: **BAJAJ Y.P.S. (Ed.)**, Biotechnology in Agriculture and Forestry. 14 : 328-346. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- * **SUN Z. X. and ZHENG K. L.**, 1990. Somaclonal variation in rice. In : **BAJAJ Y.P.S. (Ed.)**, Biotechnology in Agriculture and Forestry. 11 : 288-325. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- * **SUN Z. X., ZHAO C. Z., ZHENG K. L., QI X. F. and FU Y. P.**, 1983. Somaclonal genetics of rice *Oryza sativa* L. Theor. Appl. Genet., 67 : 67-73.
- * **SWAMINATHAN M. S.**, 1984. Rice. Scientific American, 250 (1) : 62-71
- * **TAKAHASHI A., SAKURAGI Y., KAMADA H. and ISHIZUKA K.**, 1984. Plant regeneration through somatic embryogenesis in Barnyardgrass, *Echinochloa oryzicola* Vasing. Plant Science Letters, 36 : 161-163.
- * **TAKAHASHI N.**, 1984. Differentiation of ecotypes in *Oryza sativa* L. In Biotechnology of Rice. **TSUMODO S. and TAKAHASHI N.**, ed. Japan, Sci. Soc. Press Tokyo, 31-67
- * **TAL M.**, 1985. Genetics of salt tolerance in higher plants : theoretical and practical consideration. Plant and Soil, 89 : 199-226.
- * **TORELLO W. A., RUFNER R. and SYMINGTON A. G.** 1985. The ontogeny of somatic embryos from long-term callus cultures of Red Fescue. HortScience, vol, 20 (5) : 938-942.
- * **VAN SINT JAN V.**, 1992. Sélection *in vitro* et caractérisation de lignées de cellules et de plantes d'*Oryza sativa* L., tolérantes à l'aluminium. Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgique. 288 pages.
- * **VAN SINT JAN V., SKALI SENHAJI N., AMSSA M., BERTIN P., LUTTS S. and BOUHARMONT J.** 1991. *In vitro* selection for stress tolerance in rice. Vötr. Planzenzüchtg. 20 : 146-153.

- * **VASIL I. K.**, 1995. Cellular and molecular genetic improvement of cereals. In: Current Issues in Plant Molecular and Cellular Biology. TERZI M. et al. (Eds), Kluwer Academic Publ., p 5-18.
- * **VERMA T. S. and NEUE H. U.**, 1984. Effect of soil salinity level and zinc application on growth, yield and nutrient composition of rice. Plant and Soil, 82 : 3-14.
- * **VUYLSTEKE D., SWENNEN R. and DE LANGHE E.**, 1991. Somaclonal variation in plantains (*Musa spp*, AAB group) derived from shoot-tip culture. Fruits. Vol. 46, n° 4, p 429-439.
- * **WARREN R. S., BAIRD L. M. and THOMPSON A. K.**, 1985. Salt tolerance in cultured cells of *Spartina pectinata*. Plant Cell Reports, 4 : 84-87.
- * **WASKOM R. M., MILLER D. R., HANNING G. E., DUNCAN R.R., VOIGT R.L. and NABORS M.W.**, 1990. Field evaluation of tissue culture derived *Sorghum* for increased tolerance to acid soils and drought stress. Can. J. Plant Sci. 70: 997-1004.
- * **WATAD A. A., SWARTZBERG D., BRESSAN R. A., IZHAR S. and HASEGAWA P. M.**, 1991. Stability of salt tolerance at the cell level after regeneration of plants from a salt tolerant tobacco cell line. Physiologia Plantarum 83 : 307-313.
- * **WATANABE K., TSUCHIYA M. and OGO T.**, 1992. Growth responses of *Triticum* spp. and its allied plants to NaCl concentration in culture medium. Jpn. J. Crop Sci., 61 (3) : 518-526.
- * **WERSUHN G.**, 1989. Obtaining mutants from cell cultures. Plant Breeding, 102 : 1-9.
- * **WOLF O., MUNNS R., TONNET M. L. and JESCHKE W. D.**, 1991. the role of the stem in the partitioning of Na⁺ and K⁺ in salt-treated barley. Journal of Experimental Botany, 42 : 697-704.
- * **WONG C. K., WOO S. C. and KO S. W.**, 1986. Production of rice plantlets on NaCl-stressed medium and evaluation of their progenies. Bot. Bull. Academia Sinica 27 : 11-23.
- * **WOO S. C., KO S. W. and WONG C. K.**, 1985. *In vitro* improvement of salt tolerance in a rice cultivar. Bot. Bull. Academia Sinica, 26 : 97-104.

- * **WOPEREIS M. C. S., DIACK S. and SENE J. B.**, 1995. Stratégies de fertilisation paysannes et rendements correspondants: un exemple dans le delta du fleuve Sénégal. Rapport annuel ADRAO. 134 pages.
- * **WYN JONES R. G. and GORHAM J.**, 1989. Use of physiological traits in breeding for salinity tolerance. In : Drought Resistance in Cereals. 222 pages.
- * **WYN JONES R.G., GORHAM J. and MC DONNELL E.**, 1984. Organic and inorganic solute contents as selection criteria for salt tolerance in the Triticae. In : Salinity Tolerance in Plants. Strategies for Crop Improvement. STAPLES R. C. and TOENNISSEN G. H., (eds). WILEY J. and Sons, New York : 189-203.
- * **YE J. M., KAO K. N., HARVEY B. L. and ROSSNAGEL B. G.**, 1987. Screening salt-tolerant barley genotypes via F1 anther culture in salt stress media. Theor. Appl. Genet., 74 : 426-430.
- * **YEO A. R. and FLOWERS T. J.**, 1982. Accumulation and localisation of sodium ions within the shoots of rice varieties differing in salinity resistance. Physiol. Plant, 56 : 343-348.
- * **YEO A. R. and FLOWERS T. J.**, 1983. Varietal differences in the toxicity of sodium ions in rice leaves. Physiol. Plant, 59 : 189-195.
- * **YEO A. R. and FLOWERS T. J.**, 1984a. Mechanisms of salinity resistance in rice and their role as physiological criteria in plant breeding. In : Salinity Tolerance in Plants : Strategies for Crop Improvement (STAPLES R. C. and TOENNIESSEN G. A., eds). Wiley International. 151-170.
- * **YEO A. R. and FLOWERS T. J.**, 1985. The absence of an effect of the Na/Ca ratio on sodium chloride uptake by rice (*Oryza sativa* L.). New Phytol., 99 : 81-90.
- * **YEO A. R. and FLOWERS T. J.**, 1986. Salinity resistance in rice (*Oryza sativa* L.) and a pyramyding approach to breeding varieties to saline soils. Austr. J. Plant Physiol., 13 : 161-174.
- * **YEO A. R., YEO M. E., CAPORN S. J. M., LACHNO D. R. and FLOWERS T. J.**, 1985. The use of ¹⁴C-Ethane Diol as a quantitative tracer for the transpirational volume of water and an investigation of the effects of salinity upon transpiration, net sodium accumulation and endogenous ABA in individual leaves of *Oryza sativa* L. Journal of experimental Botany, Vol. 36, No. 168, pp 1099-1109.

- * **YEO A. R., YEO M. E. and FLOWERS T. J.**, 1988. Selection of lines with high and low sodium transport from within varieties of an inbreeding species, rice (*Oryza sativa* L.). New Phytol., 110 : 13-19.
- * **YOSHIDA S.**, 1976. Routine procedure for growing rice plants in culture solution. In : "Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice". Ed. YOSHIDA S., FORNO D. A., COOK J.H. and GOMEZ K. A.. IRRI, Manilla, Phillipines : 61-66.
- * **ZHENG K. L., CASTIGLIONE S., BIASINI M. G., BIROLI A., MORANDI C. and SALA F.**, 1987. Nuclear DNA amplification in cultured cells of *Oryza sativa* L. Theor. Appl. Genet., 74 : 65-70.
- * **ZHENG K.L., ZHOU Z. M., WANG G. L., LUO Y. K. and XIONG Z. M.**, 1989. Somatic cell culture of rice cultivars with different grain types : Somaclonal variation in some grain and quality characters. Plant Cell, Tissue and Organ culture 18 : 201-208.
- * **ZIDAN I., SHAVIV A., RAVINA I. and NEUMANN P. M.**, 1992. Does salinity inhibit maize leaf growth by reducing tissue concentrations of essential mineral nutrients ? Journal of Plant Nutrition, 15 (9), 1407-1419.