

CR001818



*Centre d'étude régional pour
l'amélioration de l'adaptation
à la sécheresse*

B.P. 3320

Thiès Escale - Sénégal

*Caractérisation du comportement de 5 variétés de niébé
(*Vigna unguiculata* L. Walp.) sur la base de suivi de trois
paramètres physiologiques*

GOURDEL Sébastien

*Maîtrise de Biologie Cellulaire et Physiologie
mention physiologie*

Université Denis Diderot - Paris 7

Directeur de stage : Mr Dr Harold ROY-MACAULEY

Maître de stage : Mme Ndèye Ndack DIOP

Année universitaire 1998 - 2999

AVANT PROPOS

Ce rapport présente les résultats d'un stage dans le cadre de la maîtrise de **Biologie Cellulaire** et **Physiologie** de l'université **Paris 7-Denis Diderot** effectué au Centre **d'Etude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse (CERAAS)** au Sénégal, du 15 juillet au 03 septembre 1999. La mission principale de ce centre est de contribuer, par la recherche et la formation, à l'amélioration de la production vivrière dans les régions arides et semi-arides.

Etudiant de maîtrise de **Biologie Cellulaire** et **physiologie option végétale** à l'université **Denis Diderot** à Paris, j'ai pu durant ce stage acquérir quelques rudiments de la recherche, qui vont me permettre, à l'avenir, de mieux appréhender les réalités de la recherche scientifique et de me former à certaines techniques (mesures de la conductivité, évaluation des pertes en eau et mesure de l'activité photosynthétique).

Enfin ce stage a été organisé dans le cadre de la collaboration fructueuse existant entre le CERAAS et l'Université **Paris 7-Denis Diderot**.

REMERCIEMENTS :

Au Dr Harold ROY-MACAULEY, directeur du CERAAS, et à travers lui à l'ensemble des chercheurs, des techniciens, et du personnel administratif pour leur accueil et l'intérêt qu'ils ont su porter à mon travail. Je me permets de citer parmi eux le Dr Serge **BRACONNIER**, adjoint au directeur, pour son accueil, Mr Omar DIOUF, chercheur, pour sa disponibilité, et enfin Mme Ndèye Ndack DIOP, mon maître de stage, pour son écoute, sa disponibilité, son aide ainsi que pour avoir su me laisser l'autonomie nécessaire à un bon apprentissage, sans jamais me laisser seul devant mes interrogations ;

au Dr Yasmine ZUILY-FODIL, université Paris 7, sans qui je n'aurai pu réaliser ce stage ;

à Mr Pape **Malick SALL**, (technicien au CERAAS), pour son amitié et son aide ;

à Mr Issaka **OUEDRAOGO**, stagiaire du CRESA (Mali), une personnalité qui a marqué mon séjour sur le plan amical et professionnel ;

à Mr Jean-Philippe BRALY, stagiaire de **PESA** de Lyon, pour son accueil, son amitié et avec qui j'ai pu découvrir ce magnifique pays ;

enfin et surtout, à mes parents, pour toujours avoir su me donner les moyens **nécessaires** à mon éducation et à mon épanouissement personnel.

SOMMAIRE

RÈMERCIEMENTS	3
INTRODUCTION	5
1. ETAT DES CONNAISSANCES	7
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES	10
2.1. MATÉRIEL VÉGÉTAL	10
2.1.1. PRÉSENTATION DUMATÉRIEL VÉGÉTAL	10
2.1.2. VARIÉTÉS UTILISÉES	10
2.2. MISE EN CULTURE	11
2.3. RÉGIMES HYDRIQUES ÉTUDIÉS	11
2.4. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL	12
2.5. PARAMÈTRES SUIVIS	12
2.5.1. POTENTIELHYDRIQUE	12
2.5.2. INTÉGRITÉ MEMBRANAIRE	14
2.5.3. L'ASSIMILATION NETTE	14
2.5.4. PERTES EN EAU SUR FEUILLES EXCISÉES	15
3. RESULTATS	1
3.1. ÉTUDE DE L'INTÉGRITÉ MEMBRANAIRE	16
3.2. CARACTÉRISTIQUES PHOTOSYNTHÉTIQUES DES TÉMOINS DES 5 VARIÉTÉS ÉTUDIÉES	18
3.2.1. ÉTUDE DES PERTES D'EAU DE FEUILLES EXCISÉES	20
4. DISCUSSION	23
CONCLUSION	25
BIBLIOGRAPHIE	26
ANNEXES	28

Introduction

Les espèces du genre *Vigna*, (*Vigna unguiculata* (L.) Walpers), communément appelées niébé sont cultivées dans de nombreuses régions d'Afrique centrale et d'Afrique de l'Ouest.

Le niébé présente une bonne résistance à la sécheresse et ses graines possèdent une valeur nutritionnelle élevée, avec en moyenne de 23 à 25% de protéines et de 50 à 67% d'amidon (Hall et al., 1997).

Le niébé est cultivé sur 12.5 millions d'hectares dont 8 millions se situent en Afrique (Quin, 1997). Sa production représente 3 millions de tonnes de graines. Il est consommé essentiellement sous forme de fruits secs, mais dans certaines régions, les populations apprécient aussi ses feuilles et ses cosses. Outre son importance au niveau de l'alimentation, cette plante est capable de fixer l'azote atmosphérique à des niveaux très élevés (70 à 350 kg/ha), grâce à sa symbiose avec *Bradyrhizobium*, augmentant ainsi la fertilité des sols. Cette particularité explique pourquoi le niébé est souvent planté dans les rotations culturales (annexe 3). Enfin la production importante de fanes de certaines variétés en font également une bonne culture fourragère.

Dans les zones semi-arides, l'agriculture occupe une place prépondérante dans l'économie, mais représente surtout un moyen de survie pour de nombreuses familles rurales. Les cultures doivent non seulement présenter un fort intérêt au point de vue nutritionnel, mais également faire preuve d'une bonne adaptation au milieu pour obtenir de bons rendements. Cependant, depuis près de trois décennies les zones de cultures de niébé diminuent, du fait du raccourcissement de la durée utile de la saison des pluies, et de la forte variabilité spatio-temporelle des précipitations. Ceci se traduit par une sécheresse dont la principale conséquence est la baisse de la production agricole.

Dans ce contexte, il est urgent d'entreprendre des études permettant de comprendre le comportement physiologique des cultures en conditions hydriques limitantes et d'intégrer des critères physiologiques d'adaptation dans des programmes de sélection variétale.

Le but ultime des études menées pour comprendre les mécanismes de résistance à la sécheresse, et par conséquent celui de notre étude, est de contribuer à l'amélioration de la résistance des espèces à ce phénomène. L'amélioration de l'adaptation à la sécheresse se fait grâce à la sélection et à la création de nouvelles variétés. Ainsi on peut définir les stratégies d'amélioration, basées sur les étapes suivantes :

- 9 Identification et hiérarchisation des caractères de tolérance
- 9 Validation de ces caractères par la sélection (sélection divergente, lignées isogéniques)
- 9 Etude génétique de ces caractères
- 9 Recherche de marqueurs moléculaires de ces caractères
- 9 Transgénèse.

Les programmes d'amélioration du niébé ont pour principal objectif de créer des variétés au rendement élevé et stable, adaptées aux conditions physiques et biologiques des principales zones agroécologiques, et conformes aux exigences des consommateurs (Pasquet et Baudoin, 1997).

Au Sénégal, la sélection est basée sur le tri des variétés collectées localement et l'hybridation entre des variétés autochtones et des variétés améliorées. Ensuite les lignées avancées sont testées dans des environnements secs différents et sur plusieurs années (Hall et al., 1997). Elle

a ainsi **permis** d'obtenir plusieurs variétés à rendements élevés et stables, et **possédant** des niveaux de tolérance à la sécheresse différents, avec une longueur de **cycle** améliorée et une floraison synchronisée. Ces dernières caractéristiques sont nécessaires pour les zones où la période moyenne de l'hivernage est courte mais avec une répartition fiable des précipitations. Cependant des variétés intermédiaires à cycle plus long ayant une floraison séquentielle sont recommandées pour les zones où l'hivernage est plus long mais avec de possibles poches de sécheresse (Hall et Patel, 1985).

Ces diverses approches sont empiriques et lentes à cause du besoin de tester plusieurs lignées, **à plusieurs** endroits durant plusieurs années. Il apparaît donc nécessaire de considérer des critères morphologiques, phénologiques ou physiologiques qui contribuent à l'adaptation à la sécheresse, et qui pourront servir de critères de tri dans les premières générations. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail qui vise à utiliser la mesure de l'intégrité membranaire comme un test physiologique d'identification de variétés ayant un bon potentiel de résistance à la sécheresse.

Cette étude a été menée pour répondre à deux objectifs. Le premier est d'apporter des éléments permettant une meilleure compréhension des stratégies de résistance au stress hydrique que développent de 5 variétés de niébé cultivées au Sénégal : 58-57, TN 8843, Mougne, Bambey 21 et CB5. Le second objectif est de contribuer à la définition des meilleurs critères pour le criblage des variétés de niébé par les sélectionneurs.

Ce rapport est articulé autour de trois parties, la première décrivant le matériel et les méthodes utilisées, la seconde est consacrée à l'analyse des **résultats** et enfin ces résultats seront interprétés pour donner un classement des 5 variétés, en fonction de leur comportement par rapport au stress hydrique.

1. Etat des connaissances

Les végétaux peuvent développer différentes stratégies pour parvenir à s'adapter à la sécheresse. Ces différentes stratégies ont fait l'objet de nombreuses publications, parmi lesquelles, Belhassen et *al.* (1995) et Ben-Naceur et *al.* (1992) nous ont permis de vous en présenter les grandes lignes :

L'esquive :

Cette stratégie permet à la plante de réduire ou d'annuler les effets de la contrainte hydrique en évitant qu'il ne se produise au cours du cycle et en particulier au cours d'une phase sensible ou précoce. Elle se traduit soit par la précocité (blé, avoine, orge, cultures pluviales des zones tropicales : mil, sorgho, arachide, niébé...) soit par un allongement de la durée du cycle avec des plantes tardives. Cependant, ces mécanismes, d'un intérêt important pour les sélectionneurs, présentent un inconvénient majeur : les rendements décroissent proportionnellement avec la diminution de la durée du cycle.

L'évitement :

Cette stratégie est liée à la capacité de la plante à maintenir un potentiel hydrique élevé en condition de déficit hydrique. Deux processus permettent l'évitement de la déshydratation : la diminution des pertes d'eau ou l'augmentation de l'absorption d'eau.

Les processus permettant de diminuer les pertes d'eau:

La réduction des pertes d'eau par la plante est obtenue grâce à des dispositifs morphologiques ou anatomiques et des modifications métaboliques qui permettent de limiter la transpiration comme :

- La fermeture des stomates,
- L'augmentation de l'épaisseur de la cuticule,
- La réduction de la surface transpirante,
- L'adaptation racinaire,
- L'accumulation d'eau,

L'augmentation de l'absorption d'eau se fait grâce à :

- L'augmentation d'efficacité d'absorption de l'humidité des couches les plus profondes du sol par les racines ,
- 3 L'augmentation du diamètre ou du nombre de vaisseaux conducteurs,
- L'augmentation de la masse racinaire par rapport à celle des parties aériennes, pour avoir un volume de sol exploré supérieur
- L'absorption de l'humidité atmosphérique et de la rosée.

La Tolérance:

Contrairement aux stratégies d'évitement, la tolérance à la sécheresse fait appel à une modification du métabolisme ou bien à une adaptation du fonctionnement des cellules végétales.

La tolérance à la déshydratation.

Ce mécanisme permet lors d'un abaissement du potentiel **hydrique**, le maintien de la turgescence grâce au phénomène d'ajustement osmotique. L'ajustement osmotique est une accumulation active au niveau symplasmique de certains solutés (sucres, acides aminés, acides organiques...), qui permet une protection des membranes et des systèmes enzymatiques.

L'ajustement osmotique est donc un processus d'adaptation à la sécheresse important, qui suscite un intérêt croissant de la part des sélectionneurs. En effet, il permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques, peut intervenir à tous les stades du développement et son caractère inductible suggère qu'il n'a pas d'incidence sur le rendement potentiel.

Toutes ces caractéristiques importantes au point de vue de l'amélioration sont regroupées à l'annexe 5.

Eviter les dégâts dus au déficit en CO_2 grâce à :

- 9 L'abaissement du point de compensation d'hydratation
- 9 Au maintien de l'ouverture des stomates à des potentiels hydriques très faibles,
- 9 Au découplage de la photosynthèse et de la respiration,

Supporter un déficit nutritionnel.

Ce caractère est présent chez les plantes succulentes qui résistent à des conditions de sécheresse extrêmes. Ceci est dû à leur teneur en matière sèche et à leur métabolisme réduits qui rendent les besoins en carbohydrates faibles.

Eviter des pertes de protéines.

Par augmentation de la vitesse de synthèse de ces protéines et par diminution de leur vitesse d'hydrolyse. Les cellules peuvent donc augmenter leur taux de protéines en intensifiant la synthèse d'ARN ou en inactivant des ARNases.

Tolérer les pertes de protéines.

Qui se traduit par l'accumulation d'acides aminés tels que la proline, la putrescine, la spermidine et l'arginine

Réguler le turnover des enzymes hydrolytiques.

Un des mécanismes de tolérance identifié est la capacité à réguler le turnover des enzymes hydrolytiques (protéinases et acylhydrolases) impliquées dans l'autophagie.

La résistance à la déshydratation :

La déshydratation se caractérise par une diminution de l'activité chimique de l'eau, par une réduction de l'hydratation des macromolécules et par une altération des membranes cellulaires.

La résistance à la déshydratation se traduit par la conservation d'un potentiel hydrique élevé lorsque la plante est soumise à un déficit d'eau.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel végétal

2.1.1. Présentation du matériel végétal

Le niébé est une *Dicotyledonea* de l'ordre *Fabales*, famille **Fabaceae**, sous-famille **Faboideae**, tribu **Phaseoleae**, sous-tribu **Phaseolinae**, genre **Vigna** et section **Catiang**.

Vigna est un genre pantropicale et le nombre d'espèces varie selon les auteurs. Il existerait entre 84 et 184 espèces (Hall et *al.*, 1997).

V. unguiculata (L.) Walpers constitue, avec **V. nervosa** Markotter, la section **Catiang**, l'une des 6 sections du sous-genre **Vigna**.

L'origine géographique du niébé a été déterminée à partir de critères botaniques, cytologiques, et également grâce à l'étude de sa distribution géographique, des techniques de culture et enfin des enregistrements historiques. Ainsi le niébé a pris ses origines au sud de l'Afrique dans une zone comprenant la Namibie, le Botswana, la Zambie, le Zimbabwe, la Mozambique et enfin la république d'Afrique du Sud (Hall et *al.*, 1997). Il s'est ensuite répandu vers l'Afrique du Nord.

Historiquement les premières traces archéologiques que l'on a du niébé et de sa domestication en Afrique de l'Ouest datent de 2000 à 1500 av. J.C.. Les premières exportations vers l'Europe via le nord-est de l'Afrique auraient débuté en 300 av. J.C. et en 200 av. JC pour les exportations vers les Indes. Ensuite les espèces se sont diversifiées en Asie et aux Indes produisant les cultigrupes *Sesquipedalis* comme légume et *Biflora* pour ses graines. Les Espagnols ont alors introduit le niébé dans les zones tropicales d'Amérique au 17^{ème} siècle. Il est cultivé au sud des USA depuis le début du 18^{ème} siècle (Hall et *al.*, 1997).

La classification des espèces **V. unguiculata** a été très complexe à mettre en place et a fait l'objet de nombreuses publications (Hall et *al.*, 1997). Cependant, Padulosi a proposé en 1993 une classification actuellement utilisée, et qui complète la première réalisée par Maréchal et *al.* en 1978. Ainsi on distingue 5 sous-espèces, dont les différentes caractéristiques morphologiques et botaniques sont reportées à l'annexe 4.

2.1.2. Variétés utilisées

Les cultivars de **Vigna unguiculata**, haricot niébé, utilisées pour cette étude ont été choisies en fonction de leurs performances agronomiques dans la zone sahélienne nord où la pluviométrie annuelle varie entre 200 et 500 mm. En effet, on distingue 2 groupes :

- Les cultivars résistants (potentiel de rendement de 2 à 2.2 tonnes):
 - TN 88-63
 - 58-57
 - Mougne

- Les cultivars sensibles (potentiel de rendement de 1.5 à 1.7 t):

- Bambey 21
- CB 5

Le tableau I récapitule les caractéristiques botaniques et agronomiques des cultivars étudiées, définies par l'ISRA de Bambey, et par le Comité permanent Inter-états de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS, basé à Ouagadougou).

2.2. Mise en culture

Les plantes ont été cultivées en serre à Thiès (14°42' N ; 16°28' 0). Les graines ont été semées dans des sachets de culture en plastique d'une contenance de 4 litres, remplis de 5 kg de sol ferrugineux tropicaux appelés localement Dior. Trois graines, préalablement traitées au GRANOX (Captafol 10%, Benomyl 10%, Carbofuran 20%) et pré-germées dans du papier filtre avec de l'eau, ont été plantées par sachet, à une profondeur de 3 cm après un arrosage à capacité au champ (1L par sachet) la veille. Chaque plant a été arrosé quotidiennement pendant 5 semaines. Au 10^{ème} jour après semis (JAS) le démariage à 1 plante par pon (ou sachet) a été réalisé ainsi qu'un apport de solution nutritive (150 kg/ha de NPK 6-20-10). Les conditions climatiques dans la serre étaient de 32 +/- 2°C et une humidité de 70 à 90%.

2.3. Régimes hydriques étudiés

Trois conditions expérimentales basées sur la valeur du potentiel hydrique foliaire ont été retenues.

Le potentiel hydrique foliaire est une grandeur physique qui permet de déterminer l'état énergétique de l'eau dans la plante. Il est défini par rapport au potentiel de référence de l'eau pure libre, qui est conventionnellement fixé à 0. Il sera donc exprimé en valeurs négatives et l'unité internationale de mesure est le mégapascal (1 bar = 0.1MPa).

Le potentiel hydrique total (Y) est donné par : $\Psi = P + \pi + g$.

où P = potentiel de turgescence

π : potentiel osmotique dû aux solutés dans les vacuoles des cellules

g: potentiel gravitationnel dû à la pesanteur.

Le principe de mesure de l'appareil utilisé pour mesurer la valeur du potentiel hydrique foliaire, une chambre à pression (3005 PWSC, PMS Instrument CO, Corvallis, Oregon, USA), repose sur les travaux de Scholander et al. (1965). La colonne d'eau dans le xylème des plantes est presque constamment sous tension par l'effet de l'appel d'eau au niveau des feuilles (transpiration). Quand un organe du végétal (feuille, rameau feuillé...) est sectionné, cette colonne d'eau est interrompue et se rétracte. Il s'agira ainsi de mesurer la pression qui compense celle à laquelle la sève était initialement soumise dans les vaisseaux intacts du xylème.

Le modèle 3005 PWSC comporte une chambre en acier inoxydable et peut mesurer le niveau de stress hydrique des plantes pour une gamme de pressions de 0 à -4MPa.

L'appareil est également relié à une bombonne remplie de gaz inerte.

Les mesures de potentiel hydrique ont été effectuées à 11 heures du matin sur la quatrième feuille de prélevé sur chacune des plantes du dispositif expérimental. Le prélèvement de la quatrième feuille a été réalisé à 11 heures du matin.

Un déficit hydrique a été appliqué par suspension d'arrosage au 35^{ème} jour après semis, lorsque le développement des plantes était bien établi (en phase végétative). Ensuite une réhydratation a été réalisée lorsque les plantes ont atteint le potentiel hydrique de $Y_w = -1,5$ MPa. Les prélèvements sur les pieds réhydratés ont été effectués après 24 heures de réhydratation des pieds stressés.

Les 3 régimes hydriques retenus sont :

- **Témoin**, bien irrigué (S₀)
- **Déficit hydrique**, $\Psi_w = -1,5$ MPa (S₂)
- **Réhydratation**, après le déficit hydrique de $Y_w = -1.5$ MPa (R)

2.4. Dispositif expérimental

L'unité expérimentale est de 2 pots. Le dispositif comprend 3 blocs complets soit 60 pots. Dans un bloc, la distance inter-plante (intra-ligne et inter-ligne) est de 35 cm.

L'annexe 6, montre la randomisation qui a été réalisée grâce au logiciel STAT-ITCF.

2.5. Paramètres suivis

Lors des mécanismes de réponse au stress hydrique, comme en temps normal, les membranes jouent un rôle essentiel dans le métabolisme des plantes. Le maintien de leur intégrité lors d'une contrainte hydrique peut être considéré comme un caractère de résistance.

Pour étudier l'intégrité des membranes symplasmiques, le test de fuite d'électrolytes mis au point par Jordan et Sullivan (1982) est le plus fréquemment utilisé. C'est cette technique que nous avons utilisée pour étudier la tolérance membranaire des 5 variétés de niébé.

Pour une meilleure interprétation des mécanismes de résistance au stress hydrique de ces variétés, mais également pour caractériser ces variétés au point de vue physiologique, nous avons étudié d'autres paramètres physiologiques sur des plantes non soumises au stress hydrique. Ainsi, nous présenterons les résultats de l'étude des variations de l'assimilation nette en fonction de l'intensité lumineuse, ainsi que les cinétiques de perte d'eau de feuilles excisées.

2.51. Potentiel hydrique

Le potentiel hydrique foliaire est considéré comme un bon indicateur de l'état hydrique de la plante. Ce paramètre est utilisé pour déterminer le moment de prélèvement des disques foliaires afin d'effectuer les mesures de fuite d'électrolytes sur des tissus ayant atteint le même niveau de stress soit $Y_w = -1.5$ Mpa.

Tableau I: Comparaison des caractéristiques botaniques et agronomiques des 5 variétés de niébé étudiées

Variété	Caractères végétatifs	Caractères du grain	Caractères agronomiques
<p>TN 88-63</p> <p>Origine génétique: écotype prospection IRAT 1963 Origine géographique: N'guigmi Niger Année de vulgarisation: 1975</p>	<p>Port: rampant Feuille: semi-globuleuse et petite Fleur: blanche à bordure violette Inflorescence: située au-dessus du feuillage Longueur des gousses: 10 à 11 cm Nombre de gousses par pédoncules: 3-4 Nombre de graines par gousses: 1 O-I 3</p>	<p>Couleur: blanche à hile noir Poids de 1000 graines: 90 à 120g Aspect: lisse</p>	<p>Niveau d'intensification: traditionnelle améliorée (labour, engrais, sarclage et protection phytosanitaire) Zone de culture: 300 à 1000 mm Cycle semis-50% floraison: 50-55 jours Tolérance à la sécheresse: très bonne Production de fanes: importante Rendement moyen obtenu en station: 2 à 2.2t/ha</p>
<p>58 - 57</p> <p>Origine géographique: CNRA-Bambey Année de vulgarisation: 1962</p>	<p>Port: rampant Feuille: semi-globuleuse, petite et verte Fleur: blanche Croissance: indéterminée Gousses: vertes, taille moyenne</p>	<p>Couleur: blanche, hile blanc bordé de noir Poids de 1000 graines: 100g Aspect: lisse</p>	<p>Niveau d'intensification: traditionnelle améliorée (labour, engrais, sarclage et protection phytosanitaire) Zone de culture: 300 à 400 mm Cycle semis-50% floraison: 50 jours Tolérance à la sécheresse: très bonne Production de fanes: faible Rendement moyen obtenu en station: 2 à 2.2t/ha</p>
<p>MOUGNE</p> <p>Origine génétique: 58-74 x Pout Origine géographique: CNRA-Bambey Année de vulgarisation: 1969</p>	<p>Port: semi-érigé Feuille: verte Fleur: bicolores blanche Croissance: indéterminée Gousses: vertes, en arc, longues</p>	<p>Couleur: ponctué de gris-bleu sur fond de crème, hile blanc Poids de 1000 graines: 140g Aspect: rugueuse</p>	<p>Niveau d'intensification: traditionnelle améliorée (labour, engrais, sarclage et protection phytosanitaire) Zone de culture: 600 à 1000 mm Cycle semis-50% floraison: 50 jours Tolérance à la sécheresse: moyenne Production de fanes: faible Rendement moyen obtenu en station: 1.5 à 2t/ha</p>
<p>BAMBEY 21</p> <p>Origine génétique: 58-40 x 66-74 x 58-50 Origine géographique: CNRA-Bambey Année de vulgarisation: 1975</p>	<p>Port: érigé Feuille: vert-foncé Fleur: blanches, longues Croissance: déterminée Gousses: vert-foncé</p>	<p>Couleur: blanc Poids de 1000 graines: 170g</p>	<p>Zone de culture: 600 à 1000 mm Cycle semis-95% maturité: 59 jours Production de fanes: faible Rendement moyen obtenu en station: 1.5 à</p>
<p>CB 5</p> <p>Origine génétique: Calif.Blackeye x Iron Origine géographique: Californie (USA) Année de vulgarisation: 1985</p>	<p>Port: érigé Feuille: vert-foncé Fleur: blanches Croissance: déterminée Gousses: vert-foncé, longues</p>	<p>Couleur: blanc à œil noir Poids de 1000 graines: 190g</p>	<p>Zone de culture: 600 à 1000 mm Cycle semis-95% maturité: 58 jours Production de fanes: faible Rendement moyen obtenu en station: 1.5 à</p>

2.5.2. Intégrité membranaire

L'altération de la structure membranaire sous l'effet d'un stress hydrique a été observée la première fois en 1957 par Iljin. Elle provoque une modification de la compartimentation cellulaire liée à une augmentation d'activité des enzymes hydrolytiques.

Une des conséquences de la perte de l'intégrité membranaire est une augmentation de la perméabilité de la cellule. Ceci entraîne une augmentation de l'efflux d'ions.

Jordan et Sullivan ont mis au point en 1982 un test mesurant la fuite d'électrolytes par conductimétrie. Nous avons utilisé la même technique, en remplaçant dans notre étude le choc osmotique par un stress hydrique obtenu par suspension d'arrosage.

Nous avons donc utilisé de l'eau distillée comme solution de trempage. Dix disques foliaires de 1 cm de diamètre ont été prélevés au moyen d'un emporte-pièce par plante (témoins, stressés et réhydratés) au niveau de la 3^{ème} feuille. Ces prélèvements ont été effectués en milieu de journée.

Aussitôt prélevés, les disques ont été rincés dans l'eau distillée deux fois successivement pendant 15 minutes puis 5 minutes. Ensuite les disques foliaires ont été transférés dans un tube à essai contenant 30 ml d'eau distillée et placés à 5°C pendant 24 heures puis la conductivité de la solution présente dans le tube à essai a été déterminée par conductimétrie (L 110, SEIBOLD WIEN, Autriche) afin d'évaluer la conductivité libre (CL). Ensuite les tubes ont été mis au bain-marie à 100°C pendant 1 heure pour achever la destruction des membranes et permettre la libération de la totalité des électrolytes cellulaires. Refroidis à température ambiante, ces tubes ont été placés à 5°C puis la conductivité totale (CT) a été mesurée après 24 heures.

Pour une meilleure analyse des résultats, ceux-ci sont présentés sous forme de pourcentage de dommages relatifs (PD). Cette valeur reflète les différences d'intégrité membranaire entre les plantes témoins et les plantes stressées. La première valeur à définir est le pourcentage d'intégrité absolue (PIa) qui nous permettra de déterminer le pourcentage d'intégrité relative (PIr).

Soit à partir des conductivités libres (CL) et des conductivités totales (CT) nous obtenons :

$$PIa (\%) = \left(1 - \frac{CL}{CT} \right) \times 100$$

$$PIr (\%) = \frac{PIa \text{ traité}}{PIa \text{ témoin}} \times 100$$

$$PD (\%) = 100 - PIr$$

2.5.3. L'assimilation nette

Les mesures ont été effectuées au moyen d'un analyseur portable IRGA (Infra Red Gas Analyser) de marque LICOR (modèle LI-6400, LI-COR inc, Lincoln Nebraska, USA). Ce système de mesure opère en circuit ouvert et permet les mesures des échanges gazeux en fonction des conditions du milieu. L'appareil est constitué d'une unité centrale à laquelle est reliée une "pince" contenant les analyseurs. L'analyse se fait sur 6 cm² de surface foliaire. L'activité photosynthétique nette est calculée à partir des mesures du flux d'air circulant dans

la pince, des concentrations de CO₂ et de H₂O entrant et sortant de la chambre de mesure, et de la surface foliaire introduite dans la chambre.

L'assimilation nette est donnée par la relation suivante :

$$A = \frac{u_e(c_e - c_c)}{100 \times s} - c_c \times E \quad (\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1})$$

où

u_e = flux molaire d'air entrant dans la chambre contenant la feuille ($\mu\text{mol.s}^{-1}$)

c_e = fraction molaire de CO₂ entrant dans la chambre contenant la feuille ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ air)

c_c = Traction molaire de CO₂ dans la chambre contenant la feuille ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ air)

s = surface de la feuille (cm²)

E = transpiration (mol H₂O m⁻² s⁻¹)

La pince étant munie d'une source extérieure de lumière, les courbes de réponse de la photosynthèse nette au rayonnement PAR ont été réalisées.

Les mesures ont été effectuées sur des plantes témoins, en milieu de journée, sur un foliole de la troisième. Deux séries de mesures ont été réalisées, l'une au 3^{ème} JAS, l'autre au 5^{ème} JAS.

2.5.4. Pertes en eau sur feuilles excisées

L'étude des pertes en eau de feuilles excisées permet dans le cas d'autres plantes (ex : cocotier, maïs) de différencier des variétés pour leur tolérance à la sécheresse.

Nous avons voulu étudier ce paramètre dans le cas du niébé. Pour estimer les pertes en eau, 5 feuilles ont été prélevées par plante témoin au 5^{ème} JAS. Immédiatement après le prélèvement, les feuilles ont été pesées. Cette mesure correspond au temps $t=0$ (Pt_0). Puis une pesée des feuilles après 15min ($Pt_{0.25}$), 30min ($Pt_{0.5}$), 1h (Pt_1), 2h (Pt_2), 4h (Pt_4), 8h (Pt_8) et 24 heures (Pt_{24}) a été effectuée.

La perte d'eau relative (RWC) est donnée par:

$$RCW = \frac{Pt_0 - Pt_{24}}{MS \times 24}$$

Pt: poids frais des feuilles à l'instant t (g)

MS: matière sèche des feuilles (g).

Le contenu initial en eau (IWC) est donné par :

$$IWC = \frac{Pt_0 - MS}{MS}$$

3. RESULTATS

3.1. Etude de l'intégrité membranaire

Avant d'effectuer les mesures de fuite d'électrolytes sur les témoins, leur potentiel hydrique a été mesuré. Le tableau 2 regroupe les valeurs moyennes enregistrées avant les tests de fuite d'électrolytes

Tableau 2: Valeurs moyennes du potentiel hydrique (Ψ_w) des plantes témoins avant le test de fuite d'électrolytes.

Cultivars	Ψ_w (MPa)
58-57	-0,38
TN 8863	-0,35
Mou gne	-0.43
Bambey 21	-0,50
CB5	-0.55

Ces mesures permettent de différencier les variétés à partir de mesures de Ψ_w sur les témoins. En effet les cultivars, Bambey 21 et CB 5 ont les potentiels les plus bas (respectivement $-0,50$ et $-0,55$ MPa), alors que 58-57 et TN8863 présentent les valeurs les plus élevées (respectivement $-0,38$ et $-0,35$ MPa). La variété Mougne quant à elle atteint une valeur moyenne intermédiaire de $-0,43$ MPa. Les analyses statistiques sont données dans l'annexe 8.

Avant d'effectuer le test de fuite d'électrolytes sur les plantes stressées, il était important de contrôler leur potentiel hydrique fixé à $\Psi_w = -1.5$ MPa.

Tableau 3 : Temps au bout duquel les cultivars atteignent $\Psi_w = -1.5$ MPa, exprimé en jours après semis (JAS).

Cultivars	JAS ($\Psi_w = -1.5$ MPa)
58-57	43 ^{ème}
TN 8863	43 ^{ème}
Mougne	45 ^{ème}
Bambey 21	45 ^{ème}
CB5	47 ^{ème}

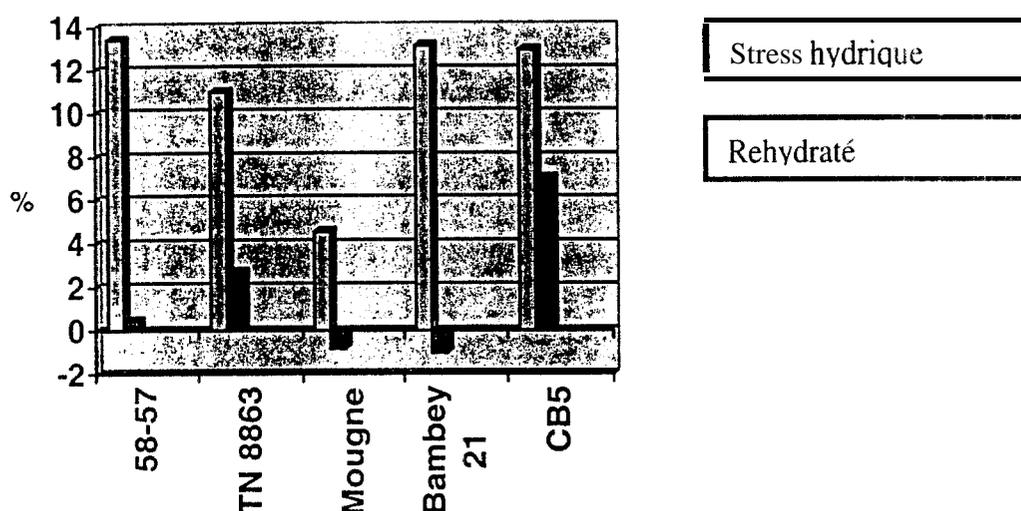
Nous avons également noté au cours de l'expérimentation des différences de comportement des plantes stressées selon les espèces, en particulier au niveau de la morphologie des feuilles. Les variétés 58-57, TN 8863 et Mougne avaient, au potentiel foliaire de $-1,5$ Mpa, des feuilles flétries mais encore bien vertes tandis que les variétés CB 5 et Bambey 21, qui atteignaient le -1.5 MPa plus tardivement, avaient des feuilles jaunies.

Tableau 4 : Moyennes des résultats du test de fuite d'électrolytes exprimées en pourcentage de dommages relatifs (PD en %).

Cultivars	PD (%)	
	S2	R
58-57	13,4	0,45
TN 8863	11	2,7
Mougne	4,55	-0,8
Bambey 21	13,1	-1
CB5	12,9	7

Figure 1 : Evolution du pourcentage de dommages relatifs (PD) en fonction des régimes hydriques : S₂ (en bleu) et R (en rouge).

Evolution du PD (%) en fonction des régimes hydriques.



On constate (tableau 4) que les plantes peuvent être regroupés en 2 classes (cf. étude statistique en annexe 9). Il y a d'une part la variété Mougne qui présente une fuite d'électrolytes faible avec un pourcentage de dommages relatifs de 4.55%, et d'autre part les 4 cultivars restantes, dont le comportement est comparable, elles ont des pourcentages de dommages plus élevés.

Concernant la réhydratation des plantes stressées, on constate que les cultivars 58-57, TN 8861, Mougne et Bambey 21 ont une bonne capacité de récupération tandis que le cultivar réhydraté CB5 présente un pourcentage de dommages relatif de 7%.

3.2. *Caractéristiques photosynthétiques des témoins des 5 variétés étudiées*

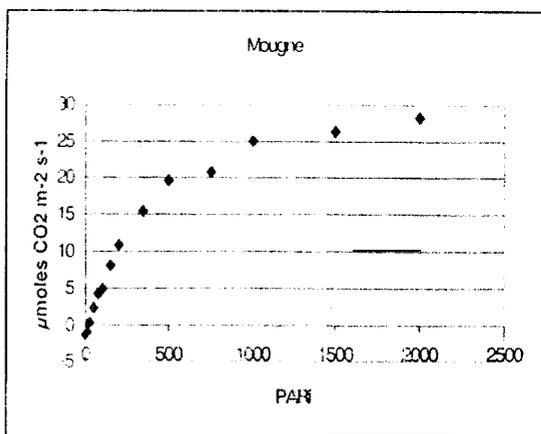
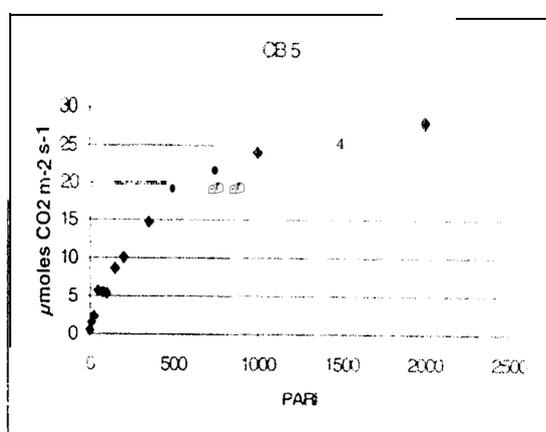
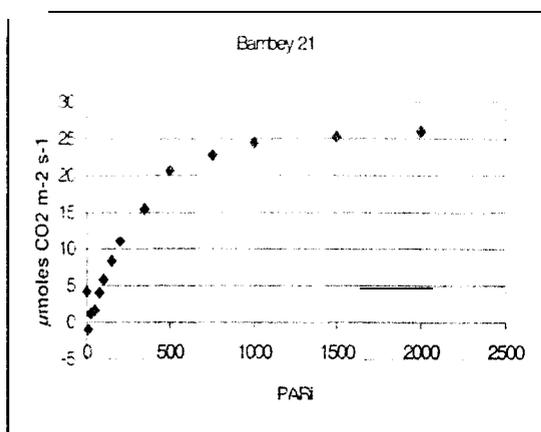
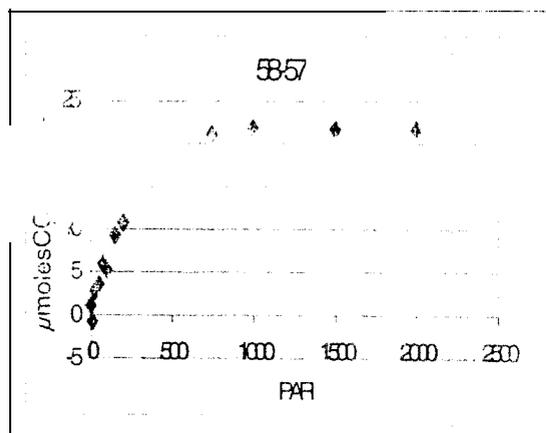
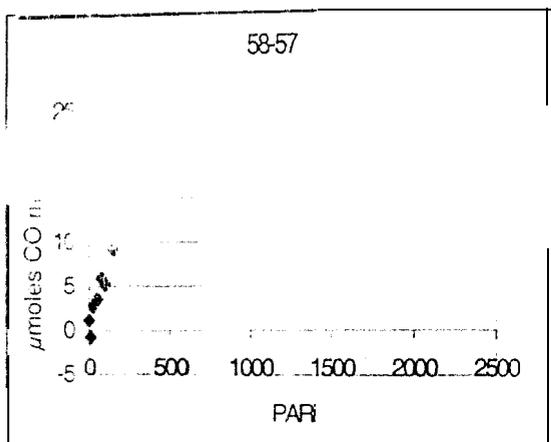
La réponse de la photosynthèse à l'éclairement PAR, a été étudiée sur des plants **témoins**. Les courbes de réponse **donnant** l'activité photosynthétique nette ($\mu\text{mole CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en fonction du rayonnement PAR incident ($\mu\text{mole m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), sont reportées sur la figure 1 qui regroupe l'ensemble des mesures effectuées.

On constate que globalement les courbes de saturation de la photosynthèse nette par l'éclairement sont similaires pour les 5 variétés.

L'évolution de ces courbes est classique : la photosynthèse nette augmente avec le PAR incident, jusqu'à atteindre un plateau de saturation. Ce plateau est atteint pour des rayonnements de l'ordre de $600 \mu\text{mole m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ chez les variétés 58-57 et TN 8863. Pour les autres variétés, il semble que le plateau soit atteint pour des intensités lumineuses plus élevées, et proches de $1000 \mu\text{mole m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Ces premiers résultats font donc apparaître une légère différence dans la réponse de la photosynthèse nette à l'éclairement.

Figure 2: Réponse photosynthétique des plantes témoins en fonction de l'intensité lumineuse



A partir de ces graphiques, on peut également donc étudier les valeurs des plateaux qui sont atteintes. Ces valeurs représentent le potentiel optimal, en fonction de l'intensité lumineuse, qu'on les plantes à réaliser la photosynthèse donc de s'assurer un meilleur développement. Les valeurs reportées dans le tableau 4 sont les moyennes de l'activité photosynthétique nette mesurées pour chaque variété aux PARi 1000, 1500 et 2000 $\mu\text{moles.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. A ces 3 valeurs toutes les variétés ont en effet atteint leur plateau. Par souci d'homogénéité des résultats nous avons exclu la valeur obtenue à 500 $\mu\text{moles.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ pour les variétés 58-57 et TN 8863.

Tableau 5 : Réponse de l'activité photosynthétique nette en fonction du rayonnement PAR incident supérieur à 1000 $\mu\text{moles. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

Variété	Activité photosynthétique nette maximale ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
58-57	21.81 +/- 2.02
TN 8863	22.60 +/- 2.14
Mougne	26.23 +/- 3.55
Bambev 21	25.10 +/- 2.08
CB5	25.36 +/- 2.8 1

Même si l'analyse statistique effectuée à partir des valeurs du tableau 4 et présentée en annexe 10 ne montre pas de différences significatives entre les différentes variétés, on peut cependant se permettre de distinguer 2 tendances pour ce critère.

Cette différenciation en 2 groupes est donc subjective mais répond au souci de l'étude qui est de caractériser et de différencier les espèces entre elles. De plus s'il est vrai que le test de Student-Newman-Keuls ne distingue qu'un seul groupe parmi ces variétés, l'analyse de variance fait ressortir un effet variété dans cette expérience.

Si les différences ne sont pas significatives, la comparaison des A_{max} fait apparaître des tendances. En effet, les variétés 58-57 ($21.81 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) et TN 8863 ($22.6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) atteignent des plateaux inférieurs à ceux obtenus par les variétés Mougne, Bambev 21 et CB 5 qui sont respectivement de 26.23, 25.10 et 25.36 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Ces premiers résultats nécessitent cependant d'être confirmés.

3.2.1. Etude des pertes d'eau de feuilles excisées

Cette étude est réalisée sur des feuilles prélevées sur les plants témoins de l'expérimentation. La figure 6 donne l'évolution de la teneur en eau des feuilles excisées en fonction du temps après excision. On constate que les variations de la teneur en eau des feuilles n'est pas identiques pour toutes les variétés.

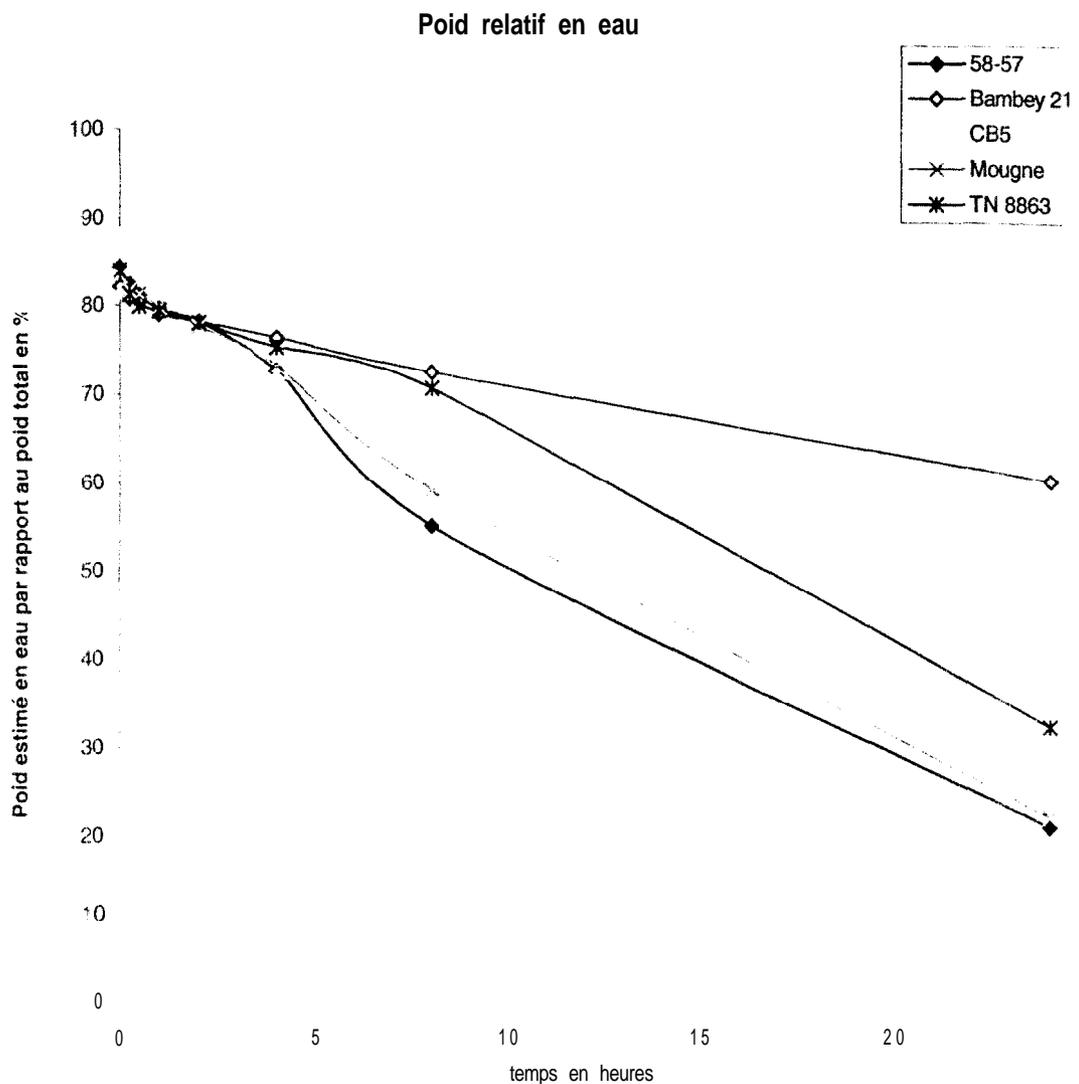


Figure 3: Evolution du poids relatif en eau (% du poids total) pendant une durée de 24 heures.

Tableau 6: Perte d'eau relative (RWL) (gramme (g) d'eau/gramme de matière sèche (MS)/par heure) et contenu initial en eau (ICW) (gramme (g) d'eau/gramme de matière sèche (MS))

Variétés	RWL (g. d'eau/g. de MS/h)	ICW (g. d'eau/g. de MS)
58-57	0.20	5.4 +/- 0.65
Bambey 21	0.14	4.6 +/- 0.5
CB5	0.15	4.2 +/- 0.7
Mougne	0.20	5 +/- 0.45
TN 8863	0.18	5.3 +/- 0.7

Les courbes obtenues montrent dans un premier temps mais celui-ci étant très bref, une perte stomatique puis on observe la perte cuticulaire. Les grandeurs choisies pour l'analyse des résultats (Araghi et Assad, 1998) permettent de conclure que les cultivars Bambey 21 et CB5 sont ceux qui perdent le moins d'eau au travers leur cuticule.

Au contraire, même si les cultivars Mougne, TN 8863 et 58-57 contiennent initialement plus d'eau leur pertes cuticulaires sont supérieures de 20% pour Mougne et de 30% pour les 2 autres cultivars.

4. DISCUSSION

A partir de travaux antérieurs réalisés sur *Phaseolus* et *Vigna* (A. Vasquez-Tello et al., 1990) et sur l'orge (Ben Naceur et al., 1997), le test de fuite d'électrolytes tel que nous l'avons utilisé ici est un critère pertinent, susceptible de différencier les variétés quant à leur tolérance membranaire au stress hydrique.

D'après nos résultats, la variété Mougne semble celle qui résiste le mieux au niveau membranaire, à un stress hydrique. Les quatre autres variétés maintiennent des niveaux d'intégrité membranaire similaire, mais statistiquement moins bons que ceux de la variété Mougne.

Les études antérieures montrent l'influence du stress hydrique sur l'activité d'enzymes protéolytiques (ROY-MACAULEY et al., 1992) et lipolytiques (SAHSAH et al., 1998). Une des hypothèses, au niveau de la tolérance physiologique au stress hydrique mise en évidence dans ces expériences pour le cultivar Mougne, est que l'activité de ces enzymes mises en évidence est moins importante chez ce cultivar que chez les 4 autres.

Les pourcentages de dommages **relatifs** observés après réhydratation, prouvent que la variété CB5 ne retrouve pas une intégrité membranaire proche de celle de départ. Par contre pour les autres variétés, la restructuration des membranes après réhydratation est bonne puisqu'elles retrouvent une intégrité membranaire proche de celle des témoins.

La restructuration des membranes lors de la réhydratation est due à une diminution de l'activité des enzymes lipolytiques et protéolytiques mais également à la reprise des synthèses. Pour expliquer le comportement de CB5, on peut émettre 2 hypothèses. La première est qu'il y aurait un mauvais rétrocontrôle des activités des enzymes lipolytiques et/ou protéolytiques ou bien que ce contrôle nécessite un délai supérieur à 24 heures. Ceci entraînerait donc le maintien d'une forte activité enzymatique même après la fin du stress hydrique. La seconde hypothèse est que chez ce cultivar il y a des pertes importantes en protéines et en acides aminés entraînant une remobilisation difficile lors de la réhydratation, pour la synthèse des enzymes intervenant dans la voie de biosynthèse des lipides membranaires.

Enfin l'observation du comportement des variétés CB5 et Bambey 21 lors du stress nous permet d'émettre l'hypothèse qu'au potentiel hydrique de -1.5 MPa, le cultivar CB 5 est proche du potentiel maximum qu'il peut tolérer et par conséquent que son activité métabolique lors de la réhydratation est faible. En effet à ce potentiel, l'ensemble des plantes testées sont sénescentes. Concernant la variété Bambey 21 dont on a également observé le flétrissement et le jaunissement des feuilles, on peut penser que le potentiel qu'elle peut tolérer est plus bas que celui de CB5. Ces hypothèses suggèrent donc de réaliser une expérience complémentaire pour déterminer ce potentiel minimum que chaque variété peut atteindre. Il serait intéressant d'étudier en même temps la fluorescence chlorophyllienne afin de vérifier si les membranes chloroplastiques, en particulier pour l'organisation des antennes collectrices, subissent la même dégradation.

Il est intéressant de noter **que** les groupes identifiés ici sont très comparables à ceux obtenus à partir du comportement agronomique des variétés sous contrainte hydrique.

Une hypothèse pouvant expliquer ce classement serait la transpiration. En effet, on peut supposer que Bambey 21 et CB5 ont des transpirations plus élevées que 58-57 et TN 8863, conduisant rapidement au cours de la journée à des baisses de potentiels hydriques plus importantes. Cette différence dans les pertes d'eau par transpiration pourrait également

expliquer pourquoi les variétés **Bambey 21** et **CB5** ont des comportements moins bons vis à vis de la sécheresse, du fait de leur consommation en eau plus élevée.

La variabilité des résultats obtenus est **expliquée** par le protocole utilisé lors de ces expériences. En effet lors de ces expériences nous n'avons pas soumis les prélèvements foliaires à un choc osmotique donc pas fait subir aux membranes un traitement permettant d'évaluer leur comportement dans des conditions extrêmes donc de sous ou sur estimer leur état. De telles expériences, dans ces conditions semblent donc nécessaire pour infirmer ou **confirmer** les résultats que nous avons obtenus mais surtout pour tenter d'obtenir des résultats et des comportements plus homogènes au sein d'un même **cultivar**.

La cinétique des pertes en eau cuticulaires fait ressortir que les cultivars **CB5** et **Bambey 21** sont les cultivars ayant une perte en eau par gramme de matière sèche moins importante que les autres cultivars étudiés. Cependant leur contenu initial en eau est également moins important.

L'étude de l'activité photosynthétique est, comme le montrent les résultats, peu **discriminante**. De plus un ajustement des courbes obtenues selon les résultats aurait été nécessaire. Cette ajustement devrait être de type: $A = A_{max} \times (1 - \exp(-a \times (PAR_i - b)/A_{max}))$ avec A_{max} le plateau de saturation, a un coefficient et b l'intensité au point de compensation respiratoire.

Ce stage de courte durée ne nous aura pas permis de réaliser ces ajustements.

Cependant le relevé des valeurs des plateaux de saturation ne montre pas de différences significatives entre les espèces. Enfin les résultats tendent à montrer que les cultivars **TN 8863** et **58-57** atteignent ce plateau à des intensité lumineuses plus faible que les 3 autres cultivars. De même la valeur de leur plateaux respectifs semble plus faible.

La modélisation des résultats est également rendue difficile par une grande instabilité des valeurs obtenues lors de l'enregistrement au cours des expériences. Une exploitation rigoureuse des résultats obtenus avec cet appareil de mesure passe donc obligatoirement par une optimisation de son utilisation.

Malgré tout une telle caractérisation est importante au point de vue agronomique car l'activité photosynthétique influe sur la croissance donc sur le rendement. Celle-ci pourrait donc expliquer des différences de rendements pour des cultures réalisées par exemple en saison sèche sous irrigation où les intensité lumineuse atteintes sont très fortes.

Ce stage ayant pour but l'étude de la tolérance membranaire au stress hydrique, nous aurions pu suivre l'activité photosynthétique nette au cours du stress. Cependant une étude menée sur le cocotier (Repellin et *al.*, 1994) a montré que la baisse d'activité photosynthétique nette était due à la fermeture des stomates et que par conséquent il n'est pas possible de voir si tous les composés membranaires de la chaîne photosynthétique sont fonctionnels.

CONCLUSION

Les résultats que nous avons obtenus rentrent en contradiction avec le classement agronomique qui est fait des 5 variétés de niébé étudiées. Cette étude marque donc une nouvelle fois les différences d'interprétation qu'il peut y avoir entre la physiologie et l'agronomie. Cette différence provient du fait que les classements agronomiques sont basés sur les rendements obtenus dans une zone géographique donnée. Par conséquent ces classements ne tiennent pas compte de l'état hydrique de la plante et ils sont destinés à déterminer les meilleures variétés pour un site.

Strictelement au point de vue de la tolérance membranaire au stress hydrique, cette étude fait ressortir que la variété **Mougne** est particulièrement résistante. Pour les autres variétés, TN 8863 peut être classée comme intermédiaire et 58-57, Bambey 21 et CB5 comme sensible.

Cependant cette étude permet de mettre en évidence qu'il sera nécessaire de réaliser l'ensemble des tests physiologiques pour ces 5 variétés afin de déterminer quel de ces tests sera le meilleur outil pour le sélectionneur.

Les interprétations réalisées dans la présente étude sont, comme nous venons de le voir, pour la plus part hypothétiques et cela montre qu'il serait nécessaire de faire des mesures supplémentaires et sur des paramètres physiologiques différents pour avoir plus de réponses à nos questions et permettre un meilleur classement des variétés.

Dans les années à venir, avec la probable dévaluation du Franc CFA, avec les difficultés auxquelles sont confrontés les pays d'Afrique de l'Ouest pour contenir l'avancée du Sahara, l'amélioration des plantes vivrières pouvant être cultivées localement paraît donc urgente.

Cette amélioration ne fait hélas pas partie des priorités définies par les pays occidentaux en matière de recherche scientifique et les moyens qui y sont consacrés sont par conséquent insuffisants. Il faudrait sans doute que l'ensemble des pays concernés prenne en charge le fonctionnement d'un grand centre de recherche dans le cadre de leur développement. Les difficultés auxquelles sont actuellement en proie l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) ne plaident pas en la faveur d'une telle politique locale. Il faudra donc une prise de conscience rapide des pays occidentaux et au niveau européen espérons que dans cette perspective que le Fond Européen pour le Développement (FED) attribue les moyens nécessaires au CERAAS pour devenir au prochain millénaire ce grand centre international.

BIBLIOGRAPHIE

BANDURSKA H., STROINSKI A., ZIELEZINSKA M. (1997) – Effect of water deficit stress on membrane properties, lipid peroxidation and hydrogen peroxide metabolism in the leaves of barley genotypes. ACTA SOCIETATIS BOTANICORUM POLONIAE vol. 66, n°2 1997. 177-183.

BELHASSEN E., THIS D., MONNEVEUX P. (1995) – L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. Cahiers Agricultures 1995 ; 4:251-261

BEN-NACEUR M'B., PAUL R., BEN SALAH H. (1997) – Screening of six barley varieties for drought resistance by using leaf water potential, membrane stability, and phosphatase activity parameters. MEDIT n°4. 51-54.

BEN-NACEUR M'B., PAUL R., IMPENS R. (1992). Principaux mécanismes de résistance des végétaux aux stress hydriques. Annales de Gembloux 1992.98 :227-246.

(HARTIER P. (1969) – Assimilation nette d'une culture couvrante. Ann. Physiol. vég., 1969, 11 (3). 221-263.

CISSE N., THIAW S., NDIAYE M., E. HALL A. (1996) – Guide de production de niébé. ISRA – Fiches techniques vol. 6 n°2 1996.

E. HALL A., B. SINGH B., D. EHLERS J. (1997) – Cowpea breeding. Plant Breeding Reviews, vol. 15, édité par Jules Jaick. 215-274.

EL MAAROUF H., ZUILY-FODIL Y., GAREIL M., d'ARCY-LAMETA A., PHAM-THI A.T. (1999) – Enzymatic activity and gene expression under water stress of phospholipase D in two cultivars of *Vigna unguiculata* L. Walp. differing in drought tolerance. Plant Molecular Biology 1999. 40 :1-9.

LOYNET G., KERE A., SIDIBE O., TRAORE N'G., BONZI L. (1985) – Bilan des essais variétaux 1981-84. CILSS/INSTITUT DU SAHEL. TRAVAUX ET DOCUMENTS n°4 AGRONOMIE. Juin 1985. 1-77.

LUDLOW M.M., MUCHOW R.C. (1998) – Critical evaluation of the possibilities for modifying crops for high production per unit of precipitation. Drought Research Priorities for the Dryland Tropics. Edité par F.R. BIDINGER et C. JOHANSEN. ICRISAT. 1998. 179-211.

REPELLIN A., DANIEL C., ZUILY-FODIL Y. (1994) – Intérêt des tests physiologiques dans la caractérisation du comportement de différentes variétés de cocotier soumis à la sécheresse. Oléagineux, vol. 49, n°4 Avril 1994. 155-

REPELLIN A., LAFFRAY D., DANIEL C., BRACONNIER S., ZUILY-FODIL Y. (1997) – Water relations and gas exchange in young coconut palm (*Cocos nucifera* L.) as influenced by water deficit. Can. J. Bot. 75 1997. 18-27.

REPELLIN A., PHAM THI A.T., TASHAKORIE A., SAHSAH Y., DANIEL C., ZUILY-FODIL Y. (1997) – Leaf membrane lipids and *drought tolerance* in young coconut palms (*Cocos nucifera* L.). *European Journal of Agronomy* 6 1997.25-33.

ROY-MACAULEY H., ZUILY-FODIL Y., KIDRIC M., PHAM THI A.T., VIERA DA SILVA J. (1992) – Effect of drought stress on proteolytic activities in *Phaseolus* and *Vigna* leaves from sensitive and resistant plants. *PHYSIOLOGIE PLANTARUM* 85 (Copenhagen 1992). 90-96.

SAHSAH Y., CAMPOS P., GAREIL M., ZUILY-FODIL Y., PHAM-THI A.T. (1998) – Enzymatic degradation of polar lipids in *Vigna unguiculata* leaves and influence of drought stress. *PHYSIOLOGIA PLANTARUM* 104 (1998). 577-586.

SINGH B.B., MOHAN RAJ D.R., DASHIELL K.E., JACKAIL E.N. (1997) – Advances in Cowpea Research. Edité par l'IITA et le JIRCAS 1997. pp 375.

SINGH S.R., RACHIE K.O. (1985) – COWPEA Research, Production and Utilization. IITA édition WILEY 1985. pp 460.

VASQUEZ-TELLO A., ZUILY-FODIL Y., PHAM THI A.T., VIERA DA SILVA J.B. (1990) – Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in *Phaseolus* and *Vigna* species. *Journal of experimental botany*, vol. 41, n°228 July 1990. 827-832.

ANNEXES

Liste des annexes

<u>Annexe 1: Présentation du CERAAS.</u>	<u>30</u>
<u>Annexe 2 : Le niébé dans la cuisine traditionnelle sénégalaise.</u>	<u>35</u>
<u>Annexe 3 : Fiche technique de la culture de niébé (CISSE N. et <i>al.</i> 1996).</u>	<u>36</u>
<u>Annexe 4 : Comparaison de la morphologie des 5 sous espèces de <i>Vigna unguiculata</i> (SINGH B.B. et <i>al.</i> 1997)</u>	<u>38</u>
<u>Annexe 5 : Tableau des avantages de la caractérisation de l'ajustement osmotique pour le sélectionneur (BELHASSEN et <i>al.</i> 1995)</u>	<u>40</u>
<u>Annexe 6 : Dispositif expérimental.</u>	<u>41</u>
<u>Annexe 7 : Principe de fonctionnement du système de mesure de photosynthèse portable LI-6400 (LZ-Cor, Inc., Lincoln, Nebraska, USA).</u>	<u>42</u>
<u>Annexe 8 : Etude statistique de la mesure de potentiels hydriques (Logiciel SAS)</u>	<u>43</u>
<u>Annexe 9 : Etude statistique de l'expérience de fuite d'électrolytes (Logiciel SAS)</u>	<u>44</u>
<u>Annexe 10 : Etude statistique des valeurs des plateaux des courbes de saturation (Logiciel SAS)</u>	<u>46</u>
<u>Annexe 11 : Etude statistique des pertes en eau (Logiciel SAS)</u>	<u>47</u>
<u>Annexe 12 : Expérimentations réalisées au CERAAS.</u>	<u>51</u>

Annexe 1: Présentation du CERAAS.

Mission : contribuer à l'amélioration de la production agricole vivrière et à l'éradication de la pauvreté des PED en zones sèches par la recherche de critères pertinents d'adaptation à la sécheresse pour la création variétale.

Branches d'activité : recherche et formation scientifique sur l'amélioration de l'adaptation de; végétaux à la sécheresse et création variétale par une approche pluridisciplinaire (Agronomie, bioclimatologie, physiologie, sélection/génétique, biochimie, biologie moléculaire, modélisation, biométrie/statistique).

Personnel : 28 personnes dont

➤ 22 ont des activités scientifiques et techniques : biométrie, physiologie, agronomie, biochimie, bioclimatologie, génétique.

➤ 6 des activités administratives : secrétariat, gestion, maintenance.

L'organisation du CERAAS se fait autour de deux grandes catégories : les services scientifiques et les services administratifs coordonnés par la direction (cf. Organigramme ci-contre).

Financement :

➤ Pendant 10 ans : coopération multilatérale à travers la DGXII et la DG VIII de l'UE (STD 2 et 3 et FED 7) arrivés à terme en août 1997 et en janvier 1998, et coopération bilatérale avec la France et la Belgique.

➤ Actuellement attente du financement du FED 8 pour lancer la phase de consolidation.

Budgétisation

Chacune des activités conduites au CERAAS fait l'objet d'une budgétisation distincte. Les différents budgets sont ensuite regroupés par thème afin de déterminer chaque ligne budgétaire. Après approbation de la direction, chaque responsable peut engager les dépenses correspondantes.

Objectifs :

- Approfondir les connaissances sur les mécanismes d'adaptation à la sécheresse.
- Identification de caractères physiologiques pertinents d'adaptation à la sécheresse.
- Diversification des cultures pour une production agricole durable.
- Mise au point d'outils pour la prévision agricole.
- Renforcement des capacités scientifiques des SNRA de la sous-région.

Partenaires :

Financiers : UE, AGCD

Scientifiques : SNRA, ISRA, ENSA, UCAD, CGRI de la communauté française de Belgique, Université Paris VII, IRD, ULB.

Tutelle : CORAF, CILSS, INSAH.

Localisation : Le CERAAS est situé dans l'enceinte de l'ENSA de Thiès, la deuxième ville du Sénégal. Le CERAAS dispose de terrains d'expérimentation à Thiès et à Bambey.

Infrastructures et équipements :

De nouveaux laboratoires de 900 m² (composés de 3 unités distinctes : laboratoire d'agronomie, de physiologie, de biochimie et de biologie moléculaire), équipés de matériels scientifiques modernes et performants, un magasin de 75 m², une serre de 180 m² pour les cultures hors sol (hydroponie, aéroponie) , un phytotron et une chambre froide ont été construits à Thiès.

L'ancien laboratoire du CERAAS, des structures d'hébergement et 6.5 ha de terrains d'expérimentation situés dans l'enceinte du **CNRA/ISRA** à Bambey, 50 km de Thiès, ont été réhabilités. Ces structures sont toujours à la disposition du CERAAS et Bambey est maintenant considéré comme le deuxième site du CERAAS.

En effet, la plupart des activités expérimentales sont effectuées dans les champs expérimentaux de Bambey.

Le CERAAS possède un système d'irrigation composé de sprinkler, rampes basculantes et un "line source".

Les Equipements de ces deux sites du CERAAS seront présentés plus en détail dans la deuxième partie de ce rapport.

Le CERAAS dispose également d'équipements de laboratoires, de bureaux, de communication, d'un parc informatique composé de 29 ordinateurs et de 4 véhicules. Cet ensemble offre une capacité d'accueil de 5 chercheurs/an dans le cadre de la formation par la recherche.

Le système de gestion a été informatisé, aboutissant à la définition et à l'adoption des procédures de gestion améliorées.

Les ressources humaines :

Le CERAAS est actuellement composé de 28 agents:

➤ 9 d'entre eux sont des chercheurs.

Trois d'entre eux sont des experts régionaux mis à la disposition du CERAAS par leurs institutions d'origine : la **CORAF** et le **CIRAD**.

Deux des trois européens (français et belge), ont également été mis à la disposition du CERAAS dans le cadre des coopérations bilatérales.

Ces neuf chercheurs dont quatre sont sénégalais sont des spécialistes en physiologie, agronomie, biochimie, bioclimatologie, modélisation, biométrie et statistiques.

➤ 9 techniciens appuient les chercheurs, ainsi qu'une centaine de main d'oeuvres temporaires.

➤ Les services d'appui sont :

- le secrétariat comptabilité (3 personnes)
 - l'informatique (1 personne)
 - la documentation et communication (1 personne)
 - la maintenance (2 personnes)
 - trois chauffeurs.
- } Tous Sénégalais

L'équipe de base des chercheurs et des services d'appui a été améliorée en qualité et en nombre, pour faire face à l'évolution des activités du CERAAS.

Une approche pluridisciplinaire :

La démarche scientifique empruntée par les chercheurs du CERAAS repose sur une approche pluridisciplinaire. Elle est basée sur l'identification de critères physiologiques de tolérance et/ou de résistance à la sécheresse pour aider les sélectionneurs à isoler des variétés intéressantes.

Cette démarche bénéficie du concours de la biophysique, de la bioclimatologie, de l'agronomie, de la biochimie et de la biologie moléculaire.

➤ **L'approche agronomique et bioclimatologique**

Cette approche prend en compte le système sol-plante-atmosphère.

L'objectif est de mettre au point les itinéraires techniques, de comprendre le devenir de l'eau par des calculs de bilans hydriques et de modéliser le comportement des cultures en conditions de culture au champ dans le but d'estimer les rendements potentiels à espérer.

Le CERAAS participe au développement de modèles de simulation de l'évolution des cultures au cours de leur cycle ainsi qu'au développement d'outils modernes comme le système d'information géographique afin de les intégrer dans un système de prévision agricole et d'amélioration des systèmes de culture pour l'aide à la décision.

➤ **L'approche biophysique**

Cette première approche de l'adaptation des végétaux à la sécheresse étudie l'état hydrique de la plante ainsi que sa réponse au stress appliqué.

Les mesures portent sur l'état hydrique de la plante, la photosynthèse, les échanges gazeux, et les paramètres osmotiques.

Le but est de mettre en évidence les mécanismes physiologiques de tolérance: et/ou de résistance développés par la plante pour lutter contre le stress hydrique.

➤ **L'approche biochimique et biomoléculaire**

C'est une nouvelle approche mise en place par le CERAAS. Elle vise à aller plus loin dans la détermination des mécanismes mis en place par la plante pour lutter contre la sécheresse: analyse des glucides, lipides, protides, des osmorégulateurs et des détoxifiants. L'objectif est aussi de faire gagner du temps au sélectionneur grâce aux techniques de biologie moléculaire qui permettent d'isoler les gènes impliqués dans ces réponses physiologiques.

Le CERAAS cherche à développer les connaissances sur ces techniques en plein essor afin de proposer des alternatives modernes comme la mise au point de plantes transgéniques plus tolérantes aux contraintes de déficit hydrique et de nutrition minérale afin de faciliter et d'optimiser les stratégies de sélection adaptées.

Photo 1 : L'entrée du CERAAS à Thiès

Photo 2 : La serre du CERAAS à Thiès



Photos 3 et 4 : Champs expérimentaux de Bambey
Annexe 2 : Le niébé dans la cuisine traditionnelle sénégalaise. .

LE NDAMBE

Pour 4 personnes :

- 500g de niébé
- oignons
- concentré de tomate
- aromates : poivre, vinaigre, ail, piments (1 à 3 grains), ¼ d'huile

Préparation :

Réhydrater le niébé pendant 25 minutes dans l'eau froide. Ensuite porter à ébullition une casserole d'eau et y faire bouillir les grains de niébé réhydratés.

Ensuite si vous accompagnez le Ndambe de viande, 500g de viande sans os pour 4 personnes, faire frire la viande dans l'huile pendant 5 à 7 minutes avant d'y ajouter les oignons, le concentré de tomate, le poivre, le vinaigre et les piments. Ajouter un peu d'eau et laisser mijoter la viande dans la sauce.

Enfin il ne reste plus qu'à mélanger la viande avec le niébé à feu doux pendant 5 minutes (en rajoutant de l'eau si la cuisson de la viande n'est pas terminée).

Accompagnement : comme tout repas typique sénégalais, il s'agit du plat unique d'un déjeuner ou d'un dîner que l'on peut cependant terminer par un fruit de saison (Mangue..).

Boissons : le pays étant à majorité musulmane, les boissons des repas sont de l'eau ou bien des sucrées. Il y a également des jus de fruit locaux tel que le jus de Bissap. Pour les vins, vous trouverez du vin de palme durant la saison sèche et à défaut de vin de palme, le Caldiou pendant l'hivernage. Pour les amateurs, il y a également des productions locales de bière.



Annexe 3 : Fiche technique de la culture de niébé (CISSE N. et *al.* 1996).

**Annexe 4 : Comparaison de la morphologie des 5 sous espèces de
Vigna unguiculata (SINGH B.B. et *al.* 1997)**

Annexe 5 : Tableau des avantages de la caractérisation de l'ajustement osmotique pour le sélectionneur (BELHASSEN et *al.* 1995)

Annexe 6 : Dispositif expérimental.

**Annexe 8 : Etude statistique de la mesure de potentiels hydriques.
(Logiciel SAS)**

Class Level Information

Class	Levels	Values
VAR	5	58-57 Bambey 21 CB5 Mougne TN 8863
REP	3	Bloc 1 Bloc 2 Bloc 3

Dependent Variable: P. HYD

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	6	0.08333333	0.01388889	18.52	0.0003
Error	8	0.00600000	0.00075000		

Conected Total : DF = 14 Sum of Squares = 0.08933333

R-Square	C.V.	Root MSE	PHYD Mean
0.932836	-6.177322	0.02738613	-0.44333333

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
REP	2	0.00233333	0.00116667	1.56	0.2687
VAR	4	0.08100000	0.02025000	27.00	0.0001

Student-Newman-Keuls test for variable: PHYD

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate under the complete null hypothesis but not under partial null hypotheses. Alpha= 0.05 df= 8 MSE= 0.00075

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	0.0515634	0.0638939	0.0716066	0.0772505

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	VAR
A	-0.35000	3	TN 8863
B A	-0.38333	3	58-57
B	-0.43333	3	Mougne
C	-0.50000	3	Bambey 21
C	-0.55000	3	CB5

**Annexe 7 : Principe de fonctionnement du système de mesure de photosynthèse portable
LI-6400 (LZ-Cor, Znc., Lincoln, Nebraska, USA).**

**Annexe Y : Etude statistique de l'expérience de fuite d'électrolytes.
(Logiciel SAS)**

VAR	5	58-57 Bambey 21 CB5 Mougne TN 8863
REP	3	bloc 1 bloc 2 bloc 3
RH	2	Rehydrate Stresse

Number of observations in data set = 30 Dependent Variable: PD PD

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	1002.42096281	91.12917844	5.92	0.0005
Error	18	276.87364551	15.38186919		

Corrected Total : DF = 29 Sum of Squares = 1279.29460832

R-Square	C.V.	Root MSE	PD Mean
0.783573	61.97269	3.92197262	6.32855042

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
REP	2	50.42746651	25.21373326	1.64	0.2218
VAR	4	203.30212685	50.82553171	3.30	0.0339
RH	1	651.96728319	651.96728319	42.39	0.0001
INTER VAR/RH	4	96.72408625	24.18102156	1.57	0.2246

Student-Newman-Keuls test for variable: PD

Alpha= 0.05 df= 18 MSE= 15.38187

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	4.7572281	5.7789963	6.3997168	6.8469396

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	VAR
A	9.965	6	CB5
B A	6.935	6	58-57
B A	6.839	6	TN 8863
B A	6.042	6	Bambey 21
B	1.862	6	Mougne

Student-Newman-Keuls test for variable: PD

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate under the complete null hypothesis but not under partial null hypotheses.

Alpha- 0.05 df= 18 MSE= 15.38187

Number of Means	2
Critical Range	3.0087352

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	RH
A	10.990	15	Stresse
B	1.667	15	Rehydrate

Student-Newman-Keuls test for variable: PD

NOTE: This test controls the type 1 experimentwise error rate under the complete null hypothesis but not under partial null hypotheses.

Alpha= 0.05 df= 18 MSE= 15.38187

N.ofM	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C.R.	6.72773	8.17273	9.05056	9.68303	10.1769	10.5816	10.9239	11.2203	11.4814

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	INTER
A	13.402	3	58-57S
A	13.103	3	Bambey 21S
A	12.919	3	CB5S
B A	10.986	3	TN 8863S
B A C	14.542	3	MougneS
B A C	17.010	13	CB5R
B C	2.693	3	TN 8863R
C	0.469	3	58-57R
C	-0.819	3	MougneR
C	-1.019	3	Bambey 21R

**Annexe 10 : Etude statistique des valeurs des plateaux des courbes de saturation.
(Logiciel SAS)**

Class	Levels	Values
VAR	5	58-57 Bambey 21 CB 5 Mougne TN 8863
REP	3	Bloc 1 Bloc 2 Bloc 3

Number of observations in data set = 15

Dependent Variable: PHOTO

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	6	51.67973667	8.61328944	3.17	0.0672
Error	8	21.71370667	2.71421333		

Corrected Total : DF = 14 Sum of Squares = 73.39344333

R-Square	C.V.	Root MSE	PHOTO Mean
0.704147	6.783225	.64748698	24.28766667

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
REP	2	6.69834333	3.34917167	1.23	0.3411
VAR	4	44.98139333	11.24534833	4.14	0.0415

Student-Newman-Keuls test for variable: PHOTO

Note: This test controls the type 1 experimentwise error rate under the complete null hypothesis but not under partial null hypotheses.

Alpha= 0.05 df= 8 MSE= 2.714213

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	3.1019341	3.8437128	4.3076894	4.6472154

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	VAR
A	26.233	3	Mougne
A	25.627	3	CB5
A	25.100	3	Bambey 21
A	22.665	3	TN8863
A	21.813	3	58-57

**Annexe 11: Etude statistique des pertes en eau.
(Logiciel SAS)**

General Linear Models Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
VAR	5	58-57 Bambey 21 CB5 Mougne TN 8863
REP	3	bloc 1 bloc 2 bloc 3

Number of observations in data set = 15

Dependent Variable: CE0

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	6	14.28343594	2.38057266	1.14	0.4200
Error	8	16.71914660	2.08989332		

Corrected Total: DF = 14 Sum of Squares = 31.00258254

R-Square	C.V.	Root MSE	CE0 Mean
0.460718	1.740029	1.44564633	83.08173018

Source	DF	Type 1 SS	Mean Square	F Value	Pr > F
REP	2	1.94230882	0.97115441	0.46	0.6443
VAR	4	12.34112712	3.08528178	1.48	0.2957

Dependent Variable: CE0.25

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	6	16.95357958	2.82559660	1.05	0.4612
Error	8	21.54948790	2.69368599		

Corrected Total: DF = 14 Sum of Squares = 38.50306748

R-Square	C.V.	Root MSE	CE0.25 Mean
0.440318	2.025308	1.64124526	81.03681361

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr>F
REP	2	0.23001389	0.11500694	0.04	0.9584
VAR	4	16.72356569	4.18089142	1.55	0.2762

Dependent Variable: CE0.5

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	6	15.04346741	2.50724457	1.27	0.3678
Error	8	15.82451930	1.97806491		

Corrected Total: DF = 14 Sum of Squares = 30.86798671

R-Square	C.V.	Root MSE	CE0.5 Mean
0.487349	1.753 149	1.40643696	80.22344723

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
REP	2	1.02091135	0.51045568	0.26	0.7787
VAR	4	14.02255605	3.50563901	1.77	0.2275

Dependent Variable: CE1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	6	10.59888190	1.76648032	0.62	0.7091
Error	8	22.66651021	2.83331378		

Corrected Total: DF = 14 Sum of Squares = 33.26539211

R-Square	V	Root MSE	CE1 Mean
0.318616	2.130690	1.68324501	78.99998210

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
REP	2	1.13473894	0.56736947	0.20	0.8225
VAR	4	9.46414296	2.36603574	0.84	0.5395

Dependent Variable: CE2

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	6	16.69714398	2.78285733	0.61	0.7192
Error	8	36.58791335	4.57348917		

Corrected Total: DF = 14 Sum of Squares = 53.28505733

R-Square	C.V.	Root MSE	CE2 Mean
0.313355	2.763419	2.13857176	77.38862208

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
REP	2	2.32900572	1.16450286	0.25	0.7813
VAR	4	14.36813826	3.59203457	0.79	0.5656

Dependent Variable: CE4

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	6	43.28405841	7.21400974	0.59	0.7287
Error	8	97.09132165	12.13641521		

Corrected Total: DF = 14 Sum of Squares = 140.37538006

R-Square	C.V.	Root MSE	CE4 Mean
0.308345	4.716183	3.48373581	73.86769364

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
REP	2	9.20985831	4.60492916	0.38	0.6959
VAR	4	34.07420010	8.51855003	0.70	0.6122

Dependent Variable: CE8

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	6	588.60042530	98.10007088	2.41	0.1238
Error	8	325.10007429	40.63750929		

Corrected Total: DF = 14 Sum of Squares = 913.70049959

R-Square	C.V.	Root MSE	CE8 Mean
0.644194	9.842925	6.37475563	64.76484699

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
REP	2	27.10417251	13.55208	0.33	0.7259
VAR	4	561.49625279	140.37406	3.45	0.0639

Dependent Variable: CE24

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	6	3203.10568971	533.85094829	13.25	0.0009

Error	8	322.37629839	40.29703730		
-------	---	--------------	-------------	--	--

Corrected Total: DF = 14 Sum of Squares = 3525.48 1988 10

R-Square	C.V.	Root MSE	CE24 Mean
0.908558	18.26925	6.34799475	34.74688796

Source	DF	Type III	Mean Square	F Value	Pr>F
REP	2	-64.49984556	32.24992278	0.80	0.482-1
VAR	4	3138.60584415	784.65146104	19.47	<u>0.0003</u>

Student-Newman-Keuls test for variable: CE24

NOTE: This test controls the type 1 experimentwise error rate under the complete null hypothesis but not under partial null hypotheses.

Alpha= 0.05 df= 8 MSE= 40.29704

Number of	2	3	4	5
Mean	11.95			
Critical Range	8.11952	14.81035	16.598%	17.1790636
	8	6	2	2

Means with the same letter are not significantly different:

SNK Grouping	Mean	N	VAR
A	60.93	3	Bambey 21
B	38.02	3	CB5
BC	31.21	3	TN 8863
C	22.54	3	Mougne
C	21.02	3	58-57

Annexe 12 : Expérimentations réalisées au CERAAS.

Photo 5 : Dispositif expérimental.

Photo 6 : Prélèvement des disques foliaires lors du test de fuite d'électrolytes.



Photo 7 : Mesure de la conductivité lors du test de fuite d'électrolytes.

Photo 8 : Essai sur l'arachide, mesure du potentiel hydrique avec la chambre à pression et mesure des échanges gazeux avec le LI-6400.