

Institut Sénégalais de Recherches Agricoles.  
Centre National de Recherches Agronomiques.

## Mémoire probatoire

Etude des relations hydriques entre le sol  
et la plante chez l'arachide pour une  
meilleure définition des concepts de  
sécheresse et de stress hydrique.

CENTRE D'ETUDES REGIONAL

POUR L'AMELIORATION

DE L'ADAPTATION A

LA SECHERESSE.

Présenté et soutenu par

**E. Marone**

Devant la commission d'examen composée de :

Mr A. BA, C.N.R.A. de Bambey, Président.  
Mr D. ANNEROSE, C.E.R.A.A.S./, Dir. des recherches.  
Mr M. DIAGNE, C.N.R.A. de Bambey, Examineur.  
Mr A. MBAYE, CDH de Cambéréne, Examineur.  
Mr S. NDIAYE, E.N.S.A. de Thies, Examineur..  
Mr O. NDOYE, C.N.R.A. de Bambey, Examineur.  
Mr PL SARR, PNVA de Dakar, Examineur.

**ISRA - CNRA**

B.P. 53 BAMBEY SENEGAL  
TEL. (221) 73.61.97 - 73.60.50  
FAX (221) 73.61.97 - 73.60.52

Le 20 avril 1994.

## REMERCIEMENTS

Au Dr DANIEL ANNEROSE, responsable scientifique du centre d'étude régional pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse (C.E.R.A.A.S.), qui est l'initiateur de ce travail Il a initié et continue d'assurer avec beaucoup de patience ma formation dans le domaine de la recherche sur la physiologie de l'adaptation à la sécheresse, je voudrais lui témoigner ici toute ma reconnaissance.

A Mr MADIAGNE DIAGNE, bioclimatologiste au C.N.R.A. de Bambey, qui a étroitement collaboré à l'orientation de ce travail en me faisant bénéficier de sa grande expérience dans le domaine de la caractérisation de l'état hydrique du sol, je prie d'accepter mes sincères remerciements.

A tous les membres du jury :

Mr AMADOU BA, Directeur de recherches au C.N.R.A. de Bambey, dont les remarques pertinentes sur le fond et la forme m'ont été d'un grand apport dans la correction de ce document;

Mr ALAIN MBAYE, chercheur au C.D.H., qui a émis des remarques précises pour l'amélioration de la présentation et de la cohésion de ce document;

Mr SALIOU NDIAYE, professeur à l'E.N.S.A. de Thies, dont les critiques toujours pertinentes sur l'analyse statistique des données, m'ont été extrêmement profitables pour la correction de ce document;

Mr OUSMANE NDOYE, sélectionneur au C.N.R.A. de Bambey, qui a apporté des suggestions importantes pour l'amélioration de l'analyse statistique des données et la présentation de la bibliographie;

Mr PAPA LEOPOLD SARR, responsable du volet recherche-développement au P.N.V.A., qui a émis des critiques précises sur le fond et la forme pour faciliter la compréhension de ce document.

Qu'ils soient assurés de ma profonde reconnaissance.

A Mr OMAR. DIOUF, chercheur au C.E.R.A.A.S., pour m'avoir constamment assisté dans toutes les étapes de ce travail, je prie d'accepter mes sincères remerciements.

A Mr FREDERIC. PANNE! chercheur au C.E.R.A.A.S., pour m'avoir aidé dans l'exploitation des données, la reliure des exemplaires et les préparatifs de la soutenance, j'exprime ma profonde gratitude.

A Mr JEAN MARC LACAPE, chercheur au C.E.R.A.A.S., pour les corrections apportées au document provisoire.

Mes sincères remerciements vont également :

A Mr EMMANUEL SENE agronome chercheur au programme céréales pluviales en zone sèche et à sa famille pour leur accueil et leur soutien constant.

A Mlle COUNA SYLLA analyste programmeur pour l'installation de certains logiciels et l'aide qu'elle m'a apporté dans le domaine de l'informatique.

Aux agents du C.E.R.A.A.S. notamment ceux du laboratoire de physiologie des légumineuses : P THIAM, C. SENE, A. FAYE, A. DIOUF, P. NDIAYE et M. HANNE sans lesquels il serait impossible de réaliser toutes les mesures et observations effectuées dans ce travail

Aux agents du service bioclimatologie notamment A. FAYE, S. NDOUR et M. FALL qui m'ont fourni les données climatiques, le logiciel BIPODE et aidé à comprendre son fonctionnement

A Mr A. DIOUF documentaliste du C.N.R.A. de Bambey qui n'a ménagé aucun effort pour mettre rapidement à ma disposition l'ensemble des documents que j'ai demandé à consulter.

A tous les chercheurs et agents du C.N.R.A. de Bambey qui ont eu l'occasion de m'apporter leur soutien.

## RESUME

L'étude de l'état hydrique foliaire et la conductance stomatique de la variété d'arachide 55-437 en relation avec l'état hydrique du sol a été effectuée durant l'hivernage 1992 au cours du développement d'une sécheresse de fin de cycle. L'objectif principal de cette étude était d'effectuer sur une culture d'arachide une distinction plus précise entre la manifestation d'une sécheresse et celle d'un stress hydrique. L'expérimentation a été conduite au CNRA de Bambey, au champ sur un sol de type dior-deck

Une diminution de 36 % de la réserve utile racinaire maximale (RURm) ne s'accompagne pas de manifestations de stress hydrique au niveau des tissus foliaires. Au delà de cette valeur, la culture réagit par la mise en place du mécanisme de régulation stomatique des pertes en eau. Ce mécanisme est efficace jusqu'à 50 % de diminution de la RURm. Il permet de maintenir un potentiel hydrique foliaire élevé durant 7 jours, dans les conditions de cette expérimentation.

En dessous de 50 % de RURm, les mécanismes d'évitement sont peu efficaces. La culture met en œuvre les mécanismes de tolérance à la déshydratation qui sont efficaces jusqu'à 69 % de réduction de la RURm. La plage d'efficacité des mécanismes d'adaptation à la sécheresse, pendant laquelle il n'y a pas de diminution significative de la production de matière sèche, s'étend jusqu'à 31 % de réserve utile racinaire. Elle correspond à 22 jours de sécheresse dans les conditions de cette expérimentation.

L'approche utilisée dans cette étude peut permettre d'apprécier l'importance relative de chaque mécanisme d'adaptation à la sécheresse mis en évidence chez une variété à chacune de ses phases de son développement. Les résultats permettront de réévaluer plus précisément les capacités d'adaptation à la sécheresse des variétés vulgarisées et en cours de vulgarisation.

**MOT S CLES :** état hydrique-conductance stomatique-sécheresse-fin de cycle-réserve utile racinaire-régulation stomatique-stress hydrique-approche-tolérance-adaptation-réévaluer.

## TABLE DES MATIERES.

1) Introduction. ....	1
1 .1) Généralités.....	1
1.1.1) Esquive de la sécheresse. ....	1
1.1.2) Evitement de la sécheresse. ....	1
1.1.3) Tolérance à la sécheresse.....	1
1.2) Problématique.....	2
1.3) Etat des connaissances.. ....	2
1.4) Orientation du travail. ....	3
2) Matériels et méthodes.....	4
2.1) Matériel végétal. ....	4
2.1.1) Présentation de l'espèce. ....	.4
2.1 .1.1) Le type alterné. ....	4
2.1.1.2) Le type séquentiel.....	4
2.1.2) Présentation de la variété.....	5
2.2) Méthodes. ....	5
2.2.1) Site expérimental.. ....	.5
2.2.2) Techniques de culture. ....	7
2.2.3) Dispositif expérimental. ....	7
2.2.4) Traitements.....	7
2.3) Paramètres étudiés et techniques de mesure. ....	7
2.3.1) Mesures agronomiques.....	7
2.3.1 .1) Suivi de l'état hydrique du sol. ....	7
2.3.1.2) Suivi du développement de la culture.. ....	10
2.3.1.3) Suivi du taux de couverture du sol. ....	10
2.3.2) Mesures physiologiques.....	11
2.3.2.1) Suivi du contenu relatif en eau des feuilles. ....	11
2.3.2.2) Suivi du potentiel hydrique foliaire. ....	11
2.3.2.3) Suivi de la conductance stomatique foliaire. ....	12
2.3.3) Analyse. ....	13
3) Résultats et discussion. ....	14
3.1) Conditions climatiques.....	14
3.2) Conditions d'alimentation hydrique.....	14
3.3) Etat hydrique du sol et absorption racinaire. ....	14
3.3.1) Profondeur d'extraction racinaire. ....	..... 14
3.3.2) Réserve utile racinaire.....	18
3.3.3) Evapotranspiration réelle. ....	18

3.4) Effet de la sécheresse sur le développement de la culture. ....	21
3.4.1) Recouvrement du sol par la culture. ....	21
3.4.2) Autres paramètres de développement. ....	21
3.5) Effet de la sécheresse sur la production .....	21
3.5.1) Rendements.. ....	21
3.5.2) Analyse de récolte .....	21
3.5.3) Analyse de maturité.....	21
3.6) Effet de l'état hydrique du sol sur le contenu relatif en eau des feuilles.. .....	26
3.6.1) Contenu relatif en eau mesuré à 7h.....	26
3.6.2) Contenu relatif en eau mesuré à 13h. ....	26
3.6.3) Discussion.. .....	26
3.7) Effet de la sécheresse sur le potentiel hydrique foliaire. ....	28
3.7.1) Potentiel hydrique foliaire mesuré à 7h.....	28
3.7.2) Potentiel hydrique mesuré à 13h. ....	28
3.7.3) Discussion.. .....	29
3.8) Effet de la sécheresse sur la conductance stomatique foliaire.....	31
3.8.1) Suivi journalier de la conductance stomatique . ....	31
3.8.2) Conductance stomatique mesurée à 1 Oh. ....	31
3.8.3) Conductance stomatique mesurée à 13h.....	31
3.8.4) Conductance stomatique mesurée à 15h.....	34
3.8.5) Discussion .....	34
4) Discussion générale. ... .....	37
5) Conclusion et perspectives. ....	40
6) Bibliographie. ....	43
Liste des abréviations.....	46
Lexique. ....	49
Liste des figures et des tableaux.. .....	53

## **1) INTRODUCTION.**

### **1.1) Généralités.**

Le manque d'eau constitue l'un des facteurs limitants les plus importants de la production agricole au Sahel. Cette région connaît des périodes de sécheresse caractérisées essentiellement par la variabilité de leur intensité, de leur durée et de leur date de manifestation durant le cycle de développement des cultures (ANNEROSE, 1991; DANCETTE et HALL, 1979). La sécheresse s'est installée au Sénégal depuis 1970. Elle est caractérisée par un glissement des isohyètes du nord vers le sud qui rend compte d'une baisse généralisée de la pluviométrie. Cette diminution de la pluviosité est due au raccourcissement de la durée de l'hivernage et à l'apparition de plus en plus fréquente au cours de celui-ci de périodes sans pluies significatives (KHALFAOUI et ANNEROSE, 1987).

Le manque d'eau affecte tout le fonctionnement de la plante notamment celui de l'arachide quelle que soit sa date de manifestation (ANNEROSE, 1990). Face à cette contrainte, la plante développe des réponses physiologiques qui constituent les mécanismes d'adaptation à la sécheresse. Les principaux mécanismes sont : l'esquive, l'évitement et la tolérance à la sécheresse (TURNER, 1986; ANNEROSE, 1988).

#### **1.1.1) Esquive de la sécheresse.**

Les plantes qui esquivent la sécheresse, réalisent leur cycle complet de développement avant l'installation de déficits hydriques importants. Elles ont un cycle de développement court (BIDINGER et al., 1987).

#### **1.1.2) Evitement de la sécheresse.**

L'évitement de la sécheresse correspond à la capacité de la plante de supporter des sécheresses significatives en cours de cycle par le maintien d'un potentiel hydrique élevé dans ses tissus. Elle doit donc développer des mécanismes lui permettant d'augmenter son absorption hydrique et de réduire ses pertes en eau. Un système racinaire performant constitue un caractère important d'amélioration de l'absorption hydrique (PASSIOURA, 1982). Différents mécanismes (réduction de la surface foliaire, régulation stomatique, l'abscission des feuilles etc.) et caractères morphologiques (pilosité, cuticule épaisse, cryptes, etc.) contribuent à la réduction des pertes en eau durant le développement d'un stress hydrique.

#### **1.1.3) Tolérance à la sécheresse.**

La tolérance à la sécheresse est la capacité de la plante de maintenir l'intégrité fonctionnelle et structurale de ses tissus lorsque ceux-ci se déshydratent. Les principaux mécanismes de tolérance à la sécheresse sont, le maintien de la turgescence et la tolérance à la déshydratation. La régulation osmotique, la réduction de la taille des cellules et l'augmentation de l'élasticité des parois cellulaires permettent de maintenir la turgescence (ACKERSON et HEBERT, 1981). La tolérance à la déshydratation correspond à la capacité des membranes cellulaires, des protéines membranaires et cytoplasmiques de résister à la dégradation et à la dénaturation (HUBER et al., 1984; PHAM THI, 1976; VIERA DA SILVA, 1976).

L'esquive, l'évitement et la tolérance à la sécheresse recouvrent des réponses très variées et complexes de la plante vis à vis de la sécheresse. L'efficacité de chacun de ces mécanismes d'adaptation dépend principalement du type de sécheresse et des interactions entre les différents mécanismes.

## **1.2) Problématique.**

La sécheresse est une notion relative dont la définition peut se référer au climat ou à l'agronomie. La sécheresse climatique correspond à une diminution de la pluviosité par rapport à une valeur normale calculée sur une période donnée. La sécheresse agronomique est la manifestation d'un déficit hydrique dans le sol, la plante ou l'atmosphère qui provoque une diminution de productivité. La sécheresse n'induit pas systématiquement le déclenchement d'un stress hydrique chez le végétal. En effet la plante ou la variété peut mettre en œuvre des mécanismes qui lui permettent d'éviter ou de tolérer la contrainte hydrique sans baisse significative de son rendement. Le déclenchement du stress peut être défini comme le début de l'effet restrictif de l'état hydrique du sol sur le fonctionnement et la production de matière sèche d'une espèce pour un stade de développement donné. Il correspond à une intensité précise du déficit hydrique. La caractérisation de l'état hydrique du sol correspondant devrait permettre de mieux distinguer le stress hydrique de la sécheresse. Cette distinction est nécessaire pour mieux apprécier les formes de réaction de l'arachide face à un déficit hydrique du sol. Elle devrait aussi permettre une meilleure compréhension des relations eau-fonctionnement et eau-production de la plante et ainsi contribuer à une réévaluation des formes de sécheresse rencontrées au Sénégal.

## **1.3) Etat des connaissances.**

La capacité d'absorption racinaire est un facteur important dans la détermination de l'état d'alimentation hydrique d'une culture. La morphologie du système racinaire (profondeur, densité et vitesse d'installation) détermine sur un sol donné les niveaux d'alimentation hydrique et minérale de la plante. L'arachide possède un système racinaire pivotant dont la période d'installation se subdivise en trois phases : une phase rapide jusqu'au 10<sup>ème</sup> jours après semis (jas), suivie d'une phase intermédiaire jusqu'à la floraison et d'une phase lente à partir du début de la floraison (ANNEROSE, 1990). Lors de cette dernière phase la colonisation latérale du sol s'intensifie, au 45<sup>ème</sup> jas les racines peuvent atteindre 120 cm de profondeur et s'étendre latéralement sur 46 cm (KETRING et REID, 1993). La profondeur d'enracinement mesurée au champ peut atteindre 150 cm (CHOPART, 1980) à 180 cm (ANNEROSE, 1990).

Face à un déficit hydrique, l'arachide forme des racines fines très ramifiées dans les couches profondes humides et des racines courtes de gros diamètre dans les couches superficielles plus sèches (ANNEROSE, 1990). Elle possède donc un potentiel génétique permettant le développement d'un système racinaire qui répond de façon dynamique aux conditions imposées par le sol (BOOTE et KETRING, 1990). L'enracinement, la croissance foliaire, la transpiration et la photosynthèse sont affectés par les déficits hydriques (ROSENTHAL et al., 1987; TURNER, 1974j. Les plantes sont sensibles à l'état hydrique du sol qui affecte leur production par le contrôle des échanges gazeux au niveau des stomates. BATES et al. (1981), TURNER et al. (1985) et GOLLAN et al. (1985) mettent en évidence une relation entre l'état hydrique du sol au niveau de la zone racinaire et la conductance stomatique foliaire. Une variation de l'état hydrique des racines provoque une modification des teneurs en hormones contrôlant le degré d'ouverture des stomates (DAVIES et al., 1986; TURNER, 1986; ZHANG et al., 1987). Plusieurs études désignent l'acide abscissique (ABA) comme étant l'hormone transportant le message "stress" des racines aux stomates (TARDIEU et WILLIAM, 1992; SCHURR et al.,

1992; KRIEDEMANN et al., 1972). Cet ABA est synthétisé par les racines déshydratées puis il est transporté par la sève brute vers les parties aériennes (TARDIEU et al., 1992; ZHANG et al., 1987; CORNISH et ZEEVAART, 1985; LACHNO et BAKER, 1986).

Un modèle dynamique de diagnostic de l'état hydrique et de la productivité de l'arachide a été développé à partir de 1990 par les laboratoires de Physiologie des Légumineuses et de Bioclimatologie du C.N.R.A de Bambey (ANNEROSE et DIAGNE, 1990; MATHIEU, 1990; LOUKOUBAR, 1990). Le modèle ARABHY (ARACHide Bilan HYdrique) associe l'évapotranspiration, le bilan hydrique, et les effets de la sécheresse sur le développement d'une culture, ses besoins et sa capacité d'absorption en eau. Il a permis de procéder à une réévaluation des types de sécheresse agronomique auxquels l'arachide est exposée au Sénégal et a mis en évidence la nécessité d'augmenter la précocité du matériel destiné à la région Nord et celle d'améliorer les caractères physiologiques d'adaptation à la sécheresse pour les régions du centre (ANNEROSE, 1991). C'est aussi un outil de diagnostic du développement et de prévision de la productivité de l'arachide.

#### **1.4) Orientation du travail.**

Du fait de l'absence de données précises concernant l'effet d'un déficit hydrique du sol sur la transpiration de l'arachide, le modèle simule ce paramètre de façon empirique. L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de la sécheresse sur le fonctionnement de la variété 55-437 durant la phase de formation et de remplissage des gousses, reconnue très sensible au déficit hydrique (ANNEROSE, 1985; RAO et al., 1985; STANSELL et PALLAS, 1985) afin d'alimenter les outils de modélisation disponibles avec des données quantitatives de terrain.

La caractérisation de l'état hydrique du sol responsable d'une réduction puis d'une fermeture des stomates et par conséquent de l'intensité de la photosynthèse et la production de matière sèche, permettra de mieux distinguer la sécheresse climatique du stress physiologique. Cette information contribuera à affiner les simulations de l'état d'alimentation hydrique d'une culture par un modèle tel qu'ARABHY.

## 2) MATERIELS ET METHODES.

### 2.1) Matériel végétal.

#### 2.1 .1 ) Présentation de l'espèce.

L'arachide : *Arachis hypogaea* L., est une légumineuse oléagineuse à gousses souterraines de la sous-famille des papilionacées. Originaires d'Amérique du sud (PURSEGLOVE, 1987) elle a été introduite au 16<sup>ème</sup> siècle par les Portugais à partir du Brésil en Afrique de l'ouest et sur la côte sud-ouest de l'Inde. En même temps les Espagnols à travers le Pacifique, l'ont introduite aux Philippines d'où elle se propagea en Chine, au Japon, en Malaisie, en Inde, jusqu'en Afrique du sud par Madagascar.

L'arachide est une espèce rustique, fixatrice d'azote atmosphérique dont la forte teneur en huile, en protéines et en acides gras essentiels confère une importante valeur énergétique et nutritionnelle. Elle produit aussi un fourrage très bien apprécié par les ruminants en zone sahélienne qui est de tradition agro-pastorale.

Deux types d'arachide sont cultivés : l'arachide à ramifications alternées et celle à ramifications séquentielles selon BUNTING cité par GILLIER et SYLVESTRE (1969).

##### 2.1.1.1) Le type alterné.

Il est constitué du groupe Virginia de GREGORY qui regroupe des variétés rampantes ou érigées. Leur tige principale est sans inflorescence, leurs gousses portent 1 à 3 graines présentant une dormance de 1 à 4 mois après la récolte. Ces variétés ont un cycle de 110 à 160 jours en climat tropical ou équatorial de plaine. Les variétés 73-33, 57-422, 69-I OI, Florunner, appartiennent à ce type.

##### 2.1.1.2) Le type séquentiel.

Il comprend les sous-groupes Valencia et Spanish de GREGORY. Ce type regroupe des variétés à port toujours très érigé, à graines sans dormance et à tige principale avec inflorescence. Leur cycle de développement est compris entre 85 et 110 jours en climat tropical ou équatorial de plaine.

Le sous-groupe Valencia présente une tige principale plus haute que les rameaux et des gousses de 2 à 6 graines habituellement 2, 3 ou 4 graines : cas des variétés Tarapoto et 59-457

Le sous-groupe Spanish est constitué de variétés qui ont une tige principale presque de même longueur que les rameaux. Elles produisent des gousses majoritairement à 2 graines. Les variétés 55-437, 73-30, Chico, Pronto, appartiennent à ce sous-groupe.

### **2.1.2) Présentation de la variété.**

La variété 55-437 utilisée dans cette expérimentation est très largement vulgarisée dans les zones à faible pluviométrie du Sénégal. Elle est issue d'une sélection effectuée au CNRA de Bambey dans une population probablement d'origine sud-américaine.

Variété à graines non dormantes, de cycle court (90 jours), à port érigé et à grandes folioles, elle présente un excellent regroupement des gousses autour du pivot.

Ses gousses sont petites, peu ceinturées, pratiquement sans bec, à coque mince et à graines rondes de couleur rose clair.

Le poids de 100 graines est de 35 à 38 grammes et la teneur en huile des graines sèches est de 49 %. Son rendement potentiel est de 1,5 à 2 t/ha de gousses sèches.

Elle est recommandée pour la région de Louga, le nord des régions de Thiès, Diourbel, Kaolack et Fatick.

## **2.2) Méthodes.**

### **2.2.1) Site expérimental.**

L'expérimentation a été menée au Centre National de Recherches Agronomiques (C.N.R.A.) de Bambey, situé à 14°42 latitude nord et 16°28 longitude ouest. Créé en 1923, le C.N.R.A. est l'unité de recherche la plus ancienne et la plus importante de la sous-région. Il abrite depuis cette date l'ensemble des travaux réalisés dans le domaine de la sélection de l'arachide au Sénégal. Les premiers travaux sur l'adaptation à la sécheresse de l'arachide ont été initiés par PREVOT et OLLAGNIER dès 1957.

Le climat de cette localité est caractéristique de la zone soudano-sahélienne avec une courte saison des pluies (mi-juin-mi-octobre) à distribution pluviométrique monomodale dont le pic se situe entre août et septembre. La pluviométrie moyenne calculée sur les 20 dernières années est de 464 mm avec 318 mm relevés l'année la plus sèche (1983) et 806 mm l'année la plus humide (1989).

Durant la même période, les températures moyennes ont été comprises entre 21 °C et 38°C et la durée d'insolation moyenne égale à 230 heures.

**Les** autres périodes de l'année correspondent à une saison sèche froide (octobre à mars) avec des températures moyennes comprises entre 14°C et 34°C. Elle est suivie d'une saison sèche chaude (mars à juin) avec des températures moyennes variant entre 19°C et 40°C.

L'expérimentation a été conduite au cours de l'hivernage 1992 sur un sol de type dior-deck. C'est un sol très sableux classé parmi les sols ferrugineux tropicaux non lessivés dont la capacité de rétention est proche de 130 mm sur un mètre de profondeur. Il est intermédiaire entre le dior et le deck (BARET, 1980; BARET et BEYE, 1980).

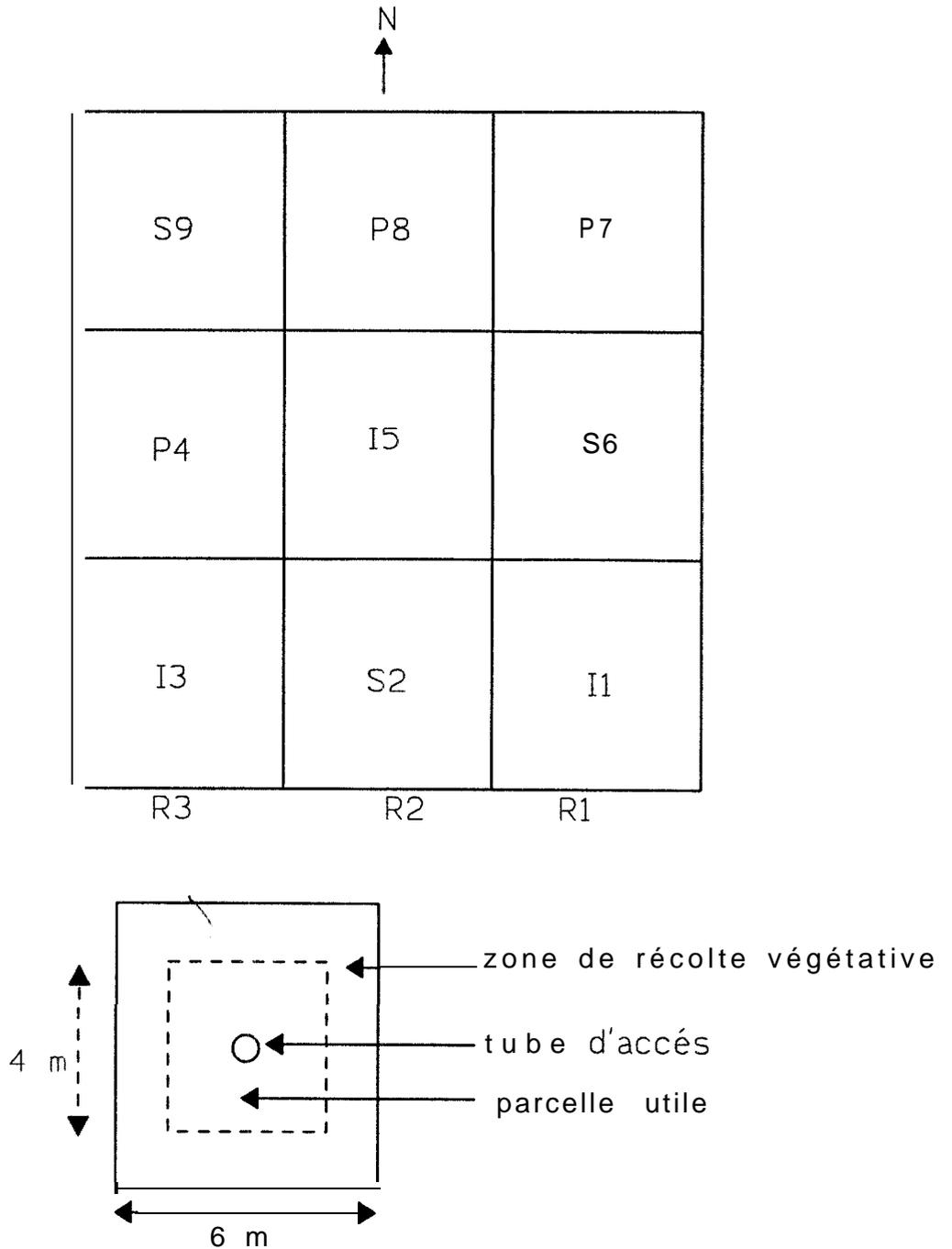


Figure 1 Plan de l'essai et schéma d'une parcelle

N nord  
 I irrigué  
 P : pluvial strie-t  
 S : stressé  
 R : répétition  
 chiffre : numéro de parcelle ou de répétition

### **2.2.2) Techniques de culture.**

Le semis, à raison de deux graines par poquet, a été effectué suivant un arrangement 50 cm x 15 cm le 17 Juillet sur un précédent cultural mil souna3 après la première pluie d'hivernage d'une hauteur de 29 mm. La densité théorique après démariage était de 134 000 pieds par hectare. Les semences ont été préalablement traitées au granox (C.B.C.), un produit fongicide-insecticide constitué du mélange : captafol 10 %, bénomyl 10 % et carbofuran 20 %.

Le démariage à un pied par poquet a été effectué 10 jours après semis. Il a été immédiatement suivi d'un épandage d'engrais 6-20-10 à la dose de 150 kg par hectare. Les mauvaises herbes ont été éliminées par plusieurs sarclages manuels.

### **2.2.3) Dispositif expérimental.**

Il comprend trois traitements (irrigué, pluvial et stressé) et trois répétitions, disposés en blocs aléatoires complètement randomisés. Les parcelles sont des carrés de 6 m de côté dont la superficie utile, pour le rendement, est constituée par le carré central de 4 m de côté (figure 1).

### **2.2.4) Traitements.**

Le stress hydrique est appliqué par la technique des parcelles couvertes. Les parcelles stressées sont recouvertes au moment des pluies et pendant la nuit à partir du 59<sup>ème</sup> jour après semis (jas) de bâches en plastique transparent étanches à l'eau. Cette période correspond à la formation et au remplissage des gousses. Les limites de parcelle sont butées afin d'éviter les apports latéraux par ruissellement.

Une irrigation par aspersion est apportée, aux parcelles témoins (traitement irrigué) tous les 4 jours sans pluies à partir du 59<sup>ème</sup> jour après semis de façon à maintenir les plantes à l'évapotranspiration maximale (ETM).

Les autres parcelles sont en conditions d'alimentation hydrique strictement pluviale.

## **2.3) Paramètres étudiés et techniques de mesure:**

Plusieurs paramètres relatifs à l'état hydrique des plantes et du sol, au développement végétatif et à la production des plantes ont été suivis au cours de l'expérimentation.

### **2.3.1) Mesures agronomiques.**

#### **2.3.1.1) Suivi de l'état hydrique du sol.**

L'état hydrique du sol a été suivi par des mesures de teneur en eau du sol à l'humidimètre à neutrons.

L'humidimètre à neutrons appelé aussi sonde à neutrons permet de mesurer l'humidité dans le sol à une profondeur donnée. La sonde émet un nombre donné de neutrons dont certains vont être ralentis par les atomes d'hydrogène de l'eau. Le nombre de neutrons ainsi ralentis est comptabilisé au niveau d'un détecteur de neutrons lents et affiché. Les mesures sont faites dans des tubes d'accès en aluminium implantés verticalement dans le sol au milieu de chaque parcelle.

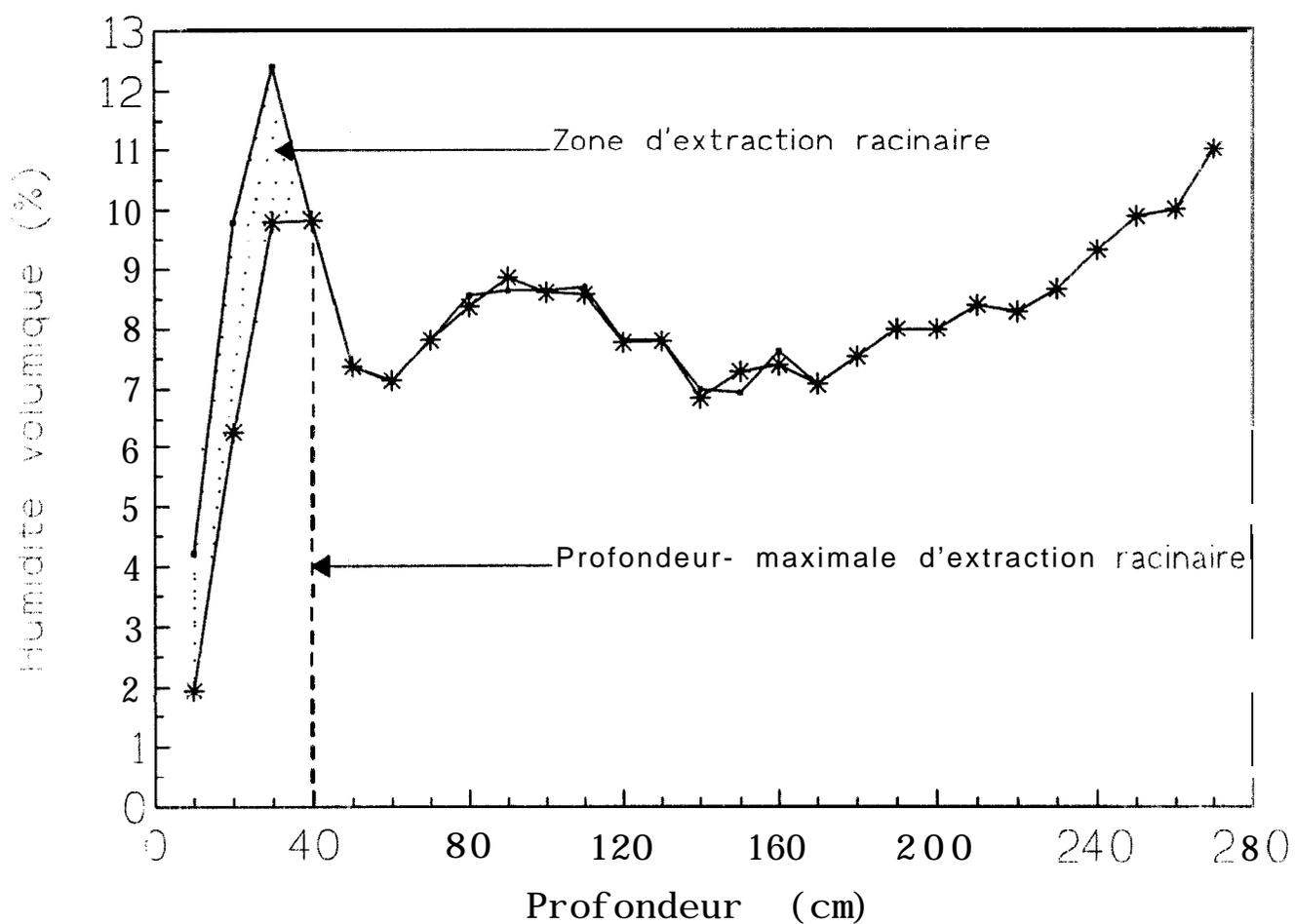


Figure 2 : Stocks en eau au stade végétatif  
 ((°) 11 jas, (\*) 18 jas)

La conversion du comptage en humidité volumique est réalisée à l'aide d'une droite d'étalonnage. En effet pour chaque tube, lors de sa mise en place, des prélèvements d'échantillons de sol doivent être effectués tous les 10 cm jusqu'au fond du tube. L'humidité pondérale est déterminée par gravimétrie puis est multipliée par la densité volumique moyenne sèche pour obtenir l'humidité volumique. Les mêmes opérations sont répétées trois jours après une forte irrigation. L'ensemble de ces mesures effectuées en conditions sèches et humides, permettent d'établir la courbe d'étalonnage de la sonde pour chaque tube d'accès. L'humidité volumique et le comptage ramené à un comptage standard (base 1000) sont reliés par la relation suivante :

$$HV (\%) = a (\text{comptage sonde/comptage étui}) \times 1000 + b$$

où a et b sont les constantes d'étalonnage.

La sonde utilisée au cours de l'expérimentation est de type T2-Troxler. Après l'installation le 2 juillet 1992 d'un tube d'accès par parcelle, des mesures à la sonde ont été effectuées par pas de 10 cm en conditions sèches jusqu'à 270 cm de profondeur. Elles ont été couplées avec des prélèvements d'échantillons de sol sur les mêmes horizons. Cette même opération est reconduite en conditions humides (capacité au champ) trois jours après une forte irrigation le 19 octobre 1992.

L'humidité du sol est mesurée une fois par semaine à la sonde à neutrons avec un pas de 10 cm jusqu'au fond des tubes. La mesure de l'humidité des 20 premiers centimètres est effectuée par gravimétrie.

Les données ont été traitées avec le logiciel BIPODE (IRAT-SOPRA, version 2.2) qui permet de déterminer l'humidité volumique en %, le stock en eau du sol en mm et de tracer les profils hydriques.

La confrontation de deux profils hydriques successifs séparés d'une période sans apport d'eau permet de déterminer la profondeur d'extraction racinaire (figure 2). En effet, en dehors de tout apport d'eau, la différence de stock entre les deux profils est due à l'absorption racinaire. La profondeur d'extraction racinaire correspond au point d'intersection des deux profils.

Ce logiciel permet aussi de déterminer l'évapotranspiration réelle (ETR) en appliquant la formule ci-dessous :

$$ETR (\text{mm}) = P + I - S2 + S1$$

où P : quantités (mm) de pluie tombées entre deux dates successives de mesure

I : quantités d'eau (mm) apportées par irrigation.

S1 : stock (mm) au temps t1

S2 : stock (mm) au temps t2

La réserve utile pour une date donnée est calculée comme étant la différence entre le stock à cette date et le stock au point de flétrissement permanent à la profondeur choisie. De la même manière la réserve utile maximale est égale à la différence de stock entre la capacité au champ et le point de flétrissement permanent.

### 2 3.1.2) Suivi du développement de la culture.

Du 11<sup>ème</sup> au 80<sup>ème</sup> jour après semis, quatre pieds sont prélevés par parcelle une fois par semaine dans les deux premières lignes qui encadrent la parcelle utile de 4 m de côté. Pour chaque pied les mesures portent sur la surface foliaire au planimètre, la hauteur des plantes, le nombre des feuilles, des gynophores, des gousses et des graines. Les différents organes : tiges, feuilles, gynophores, gousses et graines, sont séparés puis mis à sécher pendant 48 heures à l'étuve à 80 °c ensuite leur poids sec est mesuré.

### 2 3.1.3) Suivi du taux de couverture du sol.

Le taux de couverture du sol a été suivi avec un ceptomètre (Decagon). Le principe de fonctionnement du ceptomètre consiste à mesurer la fraction vide d'un couvert végétal. Cette fraction vide quand le soleil est au zénith forme en projection verticale sur la sol des taches claires ou sunfleck qui sont des surfaces où la radiation solaire directe pénètre sans être interceptée par le couvert. La mesure de la fraction de sol couverte par ces surfaces claires constitue une méthode pratique pour déterminer la surface recouverte par une culture. Cependant la plus grande difficulté pour effectuer des mesures fiables de la lumière dans un couvert végétal est sa très grande variation spatiale, Sous un couvert, l'intensité du rayonnement de la gamme photosynthétiquement active PAR 350-750 nm, peut passer du plein soleil à zéro sur un espace de quelques centimètres. Il se pose un problème d'échantillonnage. Par conséquent une mesure fiable du PAR et du sunfleck doit comprendre plusieurs échantillons pris à différents endroits dans le couvert pour être représentative. Le ceptomètre permet d'obtenir ce grand nombre d'échantillons. En effet il est constitué d'une sonde de 80 cm de long qui possède 80 capteurs de lumière placés à 1 cm d'intervalle. Chaque mesure affichée par l'appareil représente la moyenne des valeurs de tous les capteurs,

Les mesures du PAR et du Sunfleck sont effectuées sur six positions croisées deux à deux dans chaque parcelle. La sonde est placée sur le sol au-dessous de tous les rameaux des plantes. Le ceptomètre mesure simultanément les surfaces claires ou sunfleck (%) et la radiation photosynthétiquement active PAR (Joules/cm<sup>2</sup>). Le taux de couverture du sol par le couvert est donné par la relation suivante

$$\text{Taux de couverture} = 100 - \text{sunfleck}$$

où le sunfleck est égal au taux de surfaces claires sous le couvert.

Les mesures ceptométriques ont été effectuées une fois par semaine du 11<sup>ème</sup> au 88<sup>ème</sup> jour après semis.

A la récolte (90 jas), toutes les plantes contenues dans les parcelles utiles (4 m x 4 m centraux) sont récoltées, comptées, égoussées puis mises à sécher pendant plusieurs jours à l'air libre. Le poids sec des différents organes sont déterminés et les rendements en fanes et en gousses sèches ramenés à l'hectare. Une analyse de récolte et une analyse de maturité sont effectuées chacune sur un échantillon d'un kilogramme de gousses.

## 2.3.2) Mesures physiologiques.

### 2.3.2.1) Suivi du contenu relatif en eau des feuilles.

Le contenu relatif en eau (CRE) des feuilles permet de caractériser l'état d'hydratation des cellules et d'apprécier l'intensité de la contrainte hydrique. Il est déterminé par la technique des pesées en utilisant une balance de précision (Mettler). Un disque foliaire est prélevé sur une foliole de la troisième feuille à partir du sommet de la tige principale. Il est immédiatement placé dans une petite fiole hermétiquement fermée et préalablement tarée. L'ensemble est conservé au frais jusqu'au retour au laboratoire. Le poids de la fiole contenant le disque foliaire est mesuré puis ce dernier est mis à réhydrater dans de l'eau distillée pendant trois heures. Son poids turgescence (PT) est mesuré puis il est mis à sécher à l'étuve à 80 °C. Au bout de 48 h son poids sec (PS) est déterminé.

Le contenu relatif en eau exprimé en % est déterminé à partir de la relation suivante

$$\text{CRE (\%)} = [(PF-PS)/(PT-PS)] \times 100$$

Le contenu relatif en eau est mesuré tous les jours à partir du 59<sup>ème</sup> jour après semis à 7h et à 13h.

### 2.3.2.2) Suivi du potentiel hydrique foliaire.

Le potentiel hydrique foliaire ( $\Psi_h$ ) est égal à la somme algébrique des potentiels osmotique ( $\Psi_o$ ) et de turgescence ( $U_t$ ), avec  $\Psi_h$  et  $\Psi_o$  négatifs et  $\Psi_t$  positif. Sa définition est liée à celle du potentiel chimique de l'eau de la plante. Le potentiel hydrique d'un système est égal à la différence entre le potentiel chimique de l'eau dans le système et celui de l'eau pure à la pression atmosphérique et à la même température. Le potentiel hydrique de l'eau pure est pris égal à zéro. Cette eau diffusera des zones à potentiel chimique faible (faible concentration) vers les zones à potentiel chimique élevé (forte concentration). Il permet donc de déterminer le sens des échanges d'eau entre le sol et la plante mais aussi entre les différentes parties de celle-ci. Il est mesuré à l'aide de psychromètres à thermocouples. Cette technique est basée sur le principe d'équilibre de vapeur. En effet un échantillon végétal ou une solution placée dans une chambre hermétiquement fermée générera après équilibre de vapeur, une pression de vapeur relative  $E_{\text{éché}}/E_{\text{sat}}$  équivalente à son potentiel hydrique  $\Psi_h$  au moment de son installation dans la chambre. Le potentiel hydrique est déterminé par la relation :

$$\Psi_h \text{ (joules/kg)} = - (RT/M) \times \ln(E_{\text{éché}}/E_{\text{sat}})$$

où :  $R = 8,32$  joules/mole/°K constante des gaz parfaits.

$T$  = température ambiante en degrés Kelvin.

$E_{\text{éché}}$  = pression de vapeur de l'échantillon à la température ambiante  $T$  ( $\text{kg/m}^3$ ).

$E_{\text{sat}}$  = pression de vapeur saturante de l'air à la température ambiante  $T$  ( $\text{kg/m}^3$ ).

$M = 18 \times 10^{-3}$  kg masse molaire de l'eau

Le psychromètre est muni d'un thermocouple qui permet de mesurer la température et la pression de vapeur dans la chambre contenant l'échantillon.

Les chambres utilisées sont de type C30 (Wescor) en acier. Ces chambres, étanches et équipées d'un psychromètre PR-55 (Wescor), sont connectées à un microvoltmètre HR33T (Wescor) qui enregistre la différence de potentiel (ddp) générée aux bornes du thermocouple lors de la mesure.

Avant d'être utilisées les psychromètres et les chambres sont nettoyés avec une solution ammoniacale à 10 % puis rincés à l'eau distillée. Chaque chambre équipée d'un psychromètre est étalonnée en enveloppant le psychromètre d'un papier filtre saturé avec une solution de NaCl de concentration connue. Les mesures sont faites pour chaque psychromètre sur une gamme de solutions de NaCl. Chaque concentration correspond à un potentiel hydrique bien défini à la température de mesure (LANG, 1967). La courbe d'étalonnage est tracée à partir des ddp enregistrées et des potentiels hydriques correspondants.

Pour mesurer au champ le potentiel hydrique d'une feuille, une foliole est prélevée sur la troisième feuille comptée à partir du sommet de la tige principale puis elle est rapidement installée autour du psychromètre. La chambre est immédiatement fermée et l'ensemble est conservé au frais jusqu'au retour au laboratoire. Les chambres sont ensuite placées sur une paille à température ambiante pendant 4h pour atteindre les conditions d'équilibre de vapeur et de température. La ddp est enregistrée puis le potentiel hydrique foliaire est déterminé à partir de l'équation de la courbe d'étalonnage

$$\Psi_h \text{ (bars)} = a \text{ (ddp)} + b$$

où a et b sont les constantes d'étalonnage.

Les mesures de potentiel hydrique ont été effectuées tous les jours à partir du 59<sup>e</sup> jour après semis à 7h et à 13h

### 2.3.2.3) Suivi de la conductance stomatique foliaire.

La conductance stomatique ( $G_s$ ) qui est égale à l'inverse de la résistance stomatique a été suivie au poromètre à diffusion de vapeur MK2 (Delta T Devices) Son principe de fonctionnement est d'assimiler la variation d'humidité relative observée dans la chambre de mesure contenant la feuille à sa transpiration. Un volume donné d'air sec après passage à travers du silicagel est envoyé dans la chambre. La chambre est munie d'un capteur d'humidité et de deux capteurs de température pour la mesure des températures de la feuille et de la chambre. L'humidité relative HR de la chambre va augmenter après l'arrêt du pompage d'air sous l'effet de la transpiration de la foliole. Le temps de passage de HR à HR + 5 % est affiché sous forme de comptage puis la chambre est de nouveau balayée avec de l'air sec. Ce cycle se répète automatiquement.

Pour mesurer la résistance stomatique d'une feuille, une foliole de la troisième feuille à partir du sommet de la tige principale est introduite dans la chambre de mesure du poromètre. La chambre est portée par une pince qui la plaque de façon étanche sur l'une des faces de la foliole. Après avoir effectué la mesure sur une face de la foliole, la pince est retournée pour la mesure de l'autre face.

La transpiration est un paramètre qui varie fortement en fonction de l'humidité relative et de la température. C'est pourquoi l'humidité relative est fixée par l'opérateur dans la gamme des basses valeurs ou des valeurs élevées à laquelle se situe l'humidité ambiante au moment de la mesure. De même un facteur correctif est appliqué aux comptages lus en fonction de la température  $t$  de la feuille. Il est égal à

1	si	$t \leq 25^{\circ}\text{C}$
0,94	si	$25^{\circ}\text{C} < t \leq 35^{\circ}\text{C}$
0,88	si	$t > 35^{\circ}\text{C}$

Du fait des variations importantes de température qui sont constatées au champ, l'appareil est étalonné avant, à la fin de chaque série de mesures et systématiquement toutes les 30 mn. L'étalonnage est réalisé avec une plaque plastique qui comporte quatre séries de 3, 4, 6 et 11 orifices calibrés de résistances respectives égales à 13,7; 10,3; 6,9 et 3,75 s/cm. Chaque série correspond donc à une résistance connue à la diffusion de la vapeur d'eau provenant d'un papier buvard humecté à l'eau distillé et fixé au dos de la plaque. L'équation d'étalonnage permet de calculer la résistance stomatique  $r_s$  de chaque face de la foliole suivant la relation ci-dessous :

$$r_s = a (\text{comptage corrigé}) + b$$

où a et b sont les constantes d'étalonnage.

La résistance totale  $R_S$  est calculée, en supposant que les deux faces transpirent en parallèle, selon la relation suivante :

$$1/R_S (\text{cm/s}) = (1/r_{s1}) + (1/r_{s2})$$

où  $r_{s1}$  et  $r_{s2}$  sont les résistances respectives des faces supérieure et inférieure de la foliole.

La résistance stomatique foliaire a été mesurée tous les jours après le début du bâchage jusqu'à la fermeture des stomates des plantes soumises aux traitements pluvial strict et stressé. Un suivi est effectué une fois par semaine de 10 h à 18h .

### 2.3.3) Analyse.

L'analyse statistique et graphique des données a été faite avec les logiciels MSTAT (Michigan State University version 4.0) et GRAPHPAD INPLOT (Graphpad Software Inc. version 4.03).

### **3) RESULTATS ET DISCUSSION.**

#### **3.1) Conditions climatiques.**

Une station climatique automatique type Cimel, située à environ 100 m de l'essai a fourni les données climatiques enregistrées au cours de l'expérimentation (figure 3).

L'hivernage a été marqué par une pluviométrie faible avec 338,7 mm d'eau recueillis.

Les températures minimales ont été comprises entre 20,1°C et 25,7°C; les températures maximales entre 28,0°C et 40,2°C avec des moyennes maximale et minimale respectivement de 34,2°C et 23,5°C.

Les humidités relatives ont varié entre 79,0 % et 100 % pour les maxima et entre 16,0 % et 78,0 % pour les minima avec des moyennes respectives de 93,5 % et 49,1 %.

L'évaporation journalière en bac normalisé classe A a oscillé entre 0,5 et 11,4 mm avec une moyenne de 6,6 mm.

L'insolation journalière, comprise entre 0,1 et 11,2 h, a été en moyenne égale à 7,6 h

Le rayonnement global journalier a été compris entre 510,0 joules/cm<sup>2</sup> et 1425,0 joules/cm<sup>2</sup> avec une moyenne de 1112,4 joules/cm<sup>2</sup>.

#### **3.2) Conditions d'alimentation hydrique**

Lrs traitements irrigue, pluvial et stressé, ont reçu respectivement 528,5 mm; 338,7 mm et 316,0 mm en 34; 27 et 22 jours (tableau 1). Les quantités d'eau apportées au traitement témoin par irrigation s'élèvent à 189,8 mm. Le traitement pluvial strict n'a reçu que 22,7 mm après le début d'application des traitements. Ils sont apportés en cinq pluies respectivement de 10 mm après 5 jours de sécheresse (jds), 2,5 mm après 6 jds, 4 mm après 12 jds, 1,2 mm après 19 jds et 5 mm après 20 jds. Cette différence d'eau reçue entre le traitement pluvial et le traitement stressé est faible compte tenu de leur répartition dans le temps et du volume de chaque pluie.

#### **3.3) Etat hydrique du sol et absorption racinaire.**

Au cours de l'expérimentation la profondeur d'enracinement, la réserve utile racinaire et l'évapotranspiration réelle ont été suivies afin d'apprécier le niveau d'alimentation hydrique des cultures en relation avec le traitement.

##### **3.3.1) Profondeur d'extraction racinaire.**

La profondeur d'extraction racinaire a augmenté avec l'âge sans différence significative entre les parcelles avant le début d'application des traitements. Elle est passée du 1<sup>8</sup>ème au 61<sup>ème</sup> jas de 42 cm à 100 cm chez le traitement témoin, 42 cm à 103 cm chez le traitement pluvial et de 42 cm à 97 cm chez le traitement stressé (figure 4). A partir du 61<sup>ème</sup> jas (3 jds) la profondeur d'extraction racinaire du traitement témoin n'évolue plus. L'application d'un déficit hydrique s'accompagne d'une augmentation de la profondeur d'extraction racinaire jusqu'à des valeurs

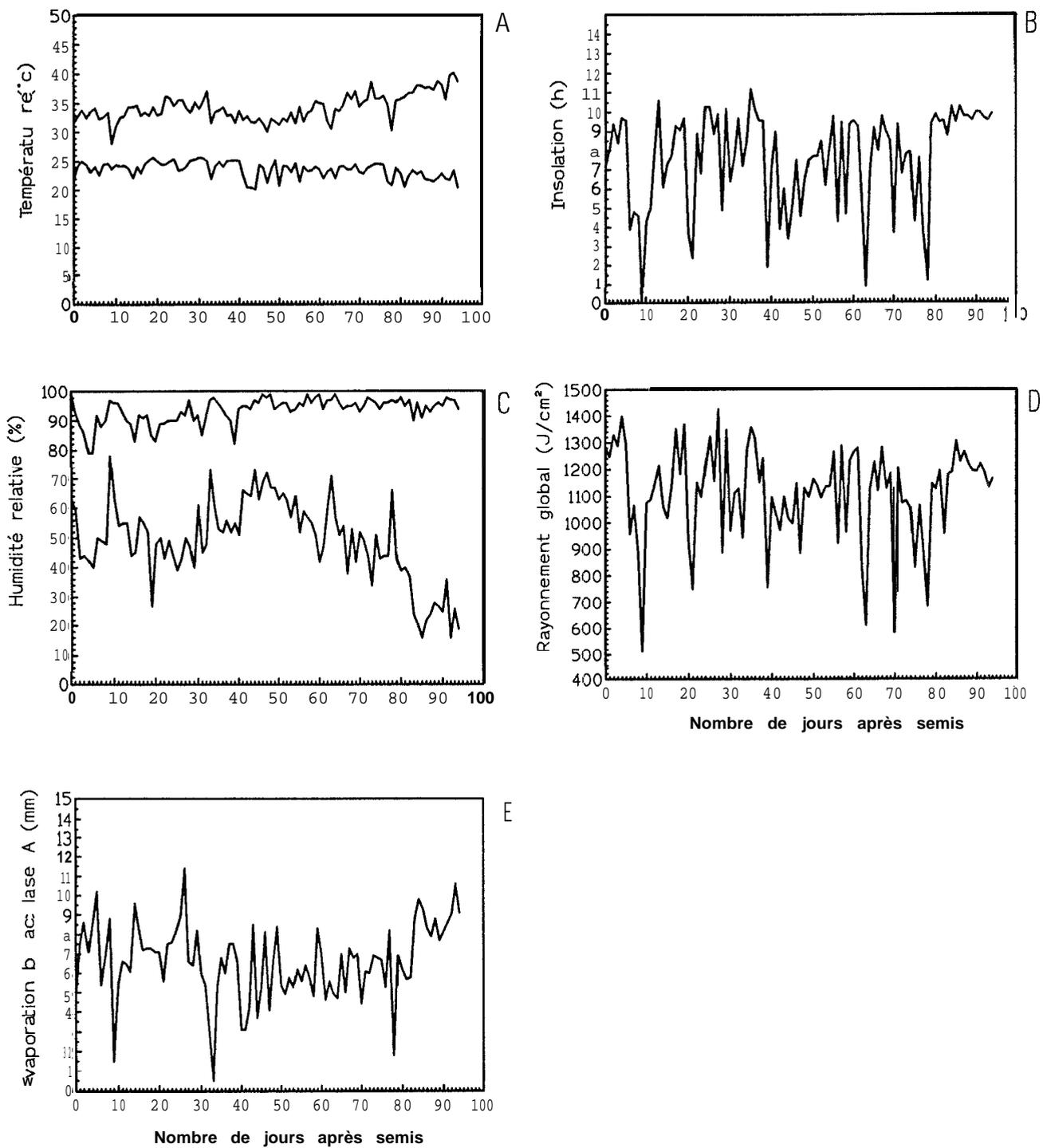


Figure 3 : Conditions climatiques de l'hivernage : température (A) insolation (B), humidité relative (C), rayonnement global (D), et évapotranspiration bac classe A (E).

**Tableau 1** : Quantités d'eau reçues par traitement

Traitements	Volume reçu (mm)	Jours de pluie
Irrigué	528,5	34
Pluvial	338,7	27
Stressé	316,0	22
Témoin-pluvial	189,8	7
Témoin-stressé	212,5	12
Pluvial-stressé	22,7	5

Témoin-pluvial : écart entre le traitement témoin et le traitement pluvial.

Témoin-stressé : écart entre le traitement témoin et le traitement stressé.

Pluvial-stressé : écart entre le traitement pluvial et le traitement stressé.

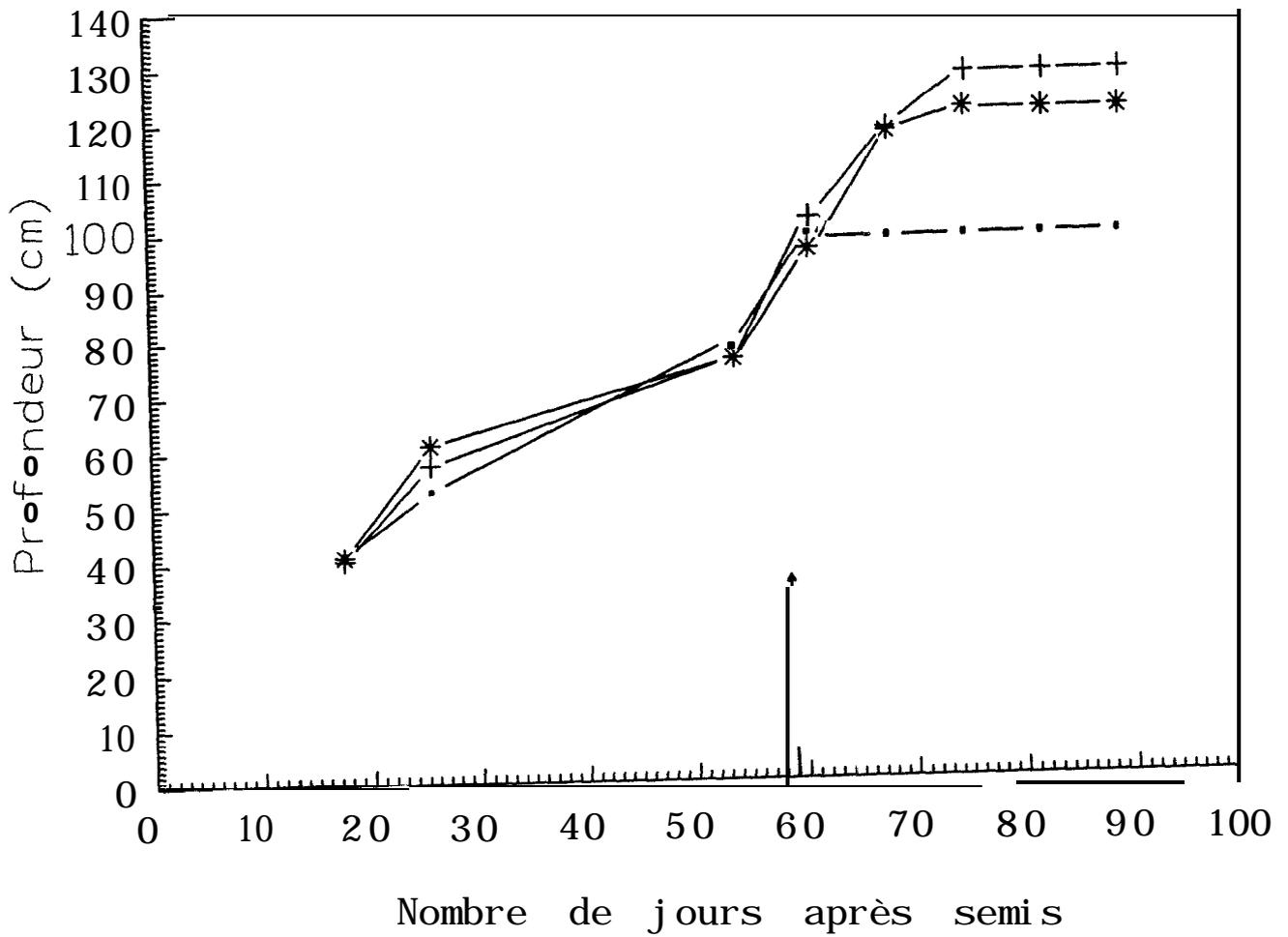


Figure 4 : Evolution de la profondeur d'extraction racinaire (° témoin, x pluvial, \* stressé)  
 ↑ Début d'application des traitements

maximales de 130 cm chez le traitement pluvial et de 123 cm chez le traitement stressé. Elles sont atteintes après 17 jds (75 jas). L'arrêt de l'accroissement de la profondeur d'extraction peut être du à la compétition entre le développement des organes reproducteurs et la croissance racinaire, la présence d'horizons secs en profondeur ou l'arrêt d'activité des plantes soumises à la sécheresse.

### 3.3.2) Réserve utile racinaire.

La réserve utile racinaire (RUR) est égale à la quantité d'eau disponible pour la plante sur sa profondeur d'extraction racinaire. La RUR est la même dans toutes les parcelles avant la sécheresse (figure 5A). Les variations de RUR observées avant le début d'application des traitements rendent compte des variations des conditions d'alimentation hydrique des plantes cultivées en pluvial. A partir du 3<sup>ème</sup> jour de sécheresse les RUR des traitements pluvial et stressé évoluent de manière semblable et sont significativement inférieures à celle du traitement témoin ( $\alpha = 1\%$ ). Les fluctuations de la RUR constatées chez le traitement témoin pendant la période d'application des traitements proviennent des doses d'irrigation inégales. La RUR s'est réduite progressivement passant de 54 mm (profondeur = 80 cm) au début d'application des traitements à 31 mm (profondeur = 130 cm) à la récolte chez le traitement pluvial strict et de 58 mm (profondeur = 77 cm) à 28 mm (profondeur = 123 cm) chez le traitement stressé (figure 5A). Ces valeurs exprimées en % de la RUR maximale correspondent à des variations respectives de 72 % à 23 % chez le traitement pluvial et de 84 % à 26 % chez le traitement stressé (figure 5B) La diminution de la RUR indique la poursuite de l'extraction racinaire.

En conclusion de cette mesure, la diminution de la RUR associée à l'augmentation de la profondeur d'extraction racinaire rend compte de la capacité de l'arachide de développer un système racinaire plus profond. Ce système racinaire joue un rôle significatif dans l'alimentation hydrique de la culture.

### 3.3.3) Evapotranspiration réelle.

Le taux de couverture du sol étant élevé durant la période d'application des traitements, l'évaporation sol nu est considérée négligeable. L'évapotranspiration réelle (ETR) est alors constituée essentiellement par la transpiration de la culture. La transpiration est égale à l'extraction d'eau par la culture donc à sa consommation en eau. L'ETR journalière est la même dans toutes les parcelles avant l'application des traitements. A partir du 3<sup>ème</sup> jour de sécheresse (61 jas) les ETR des traitements pluvial et stressé diminuent progressivement par rapport au traitement témoin (figure 6A) A mesure que le déficit hydrique s'intensifie les plantes vont extraire de moins en moins d'eau. L'ETR devient inférieure à 2 mm/j à partir du 3<sup>ème</sup> jds puis elle est négligeable à partir du 24<sup>ème</sup> jds : 0,3 mm/j (figure 6.A) Par contre le traitement témoin a maintenu une ETR élevée. En valeurs cumulées cette diminution due au traitement est aussi observée (figure 6B). L'ETR totale est de 448,4 mm pour le traitement témoin 286,4 mm pour le traitement pluvial et 265,0 mm pour le traitement stressé. Une réduction de l'ETR accompagne la diminution de la RUR La relation qui existe entre ces deux paramètres peut être décrite par une fonction linéaire ayant l'équation suivante (figure 6 C) :

$$ETR = 0,046 \times RUR - 0,041 \text{ avec } r^2 = 0,75^{**} \text{ et } n = 64$$

En conclusion de cette mesure l'évapotranspiration réelle de l'arachide est un paramètre fortement corrélé à l'état hydrique du sol.

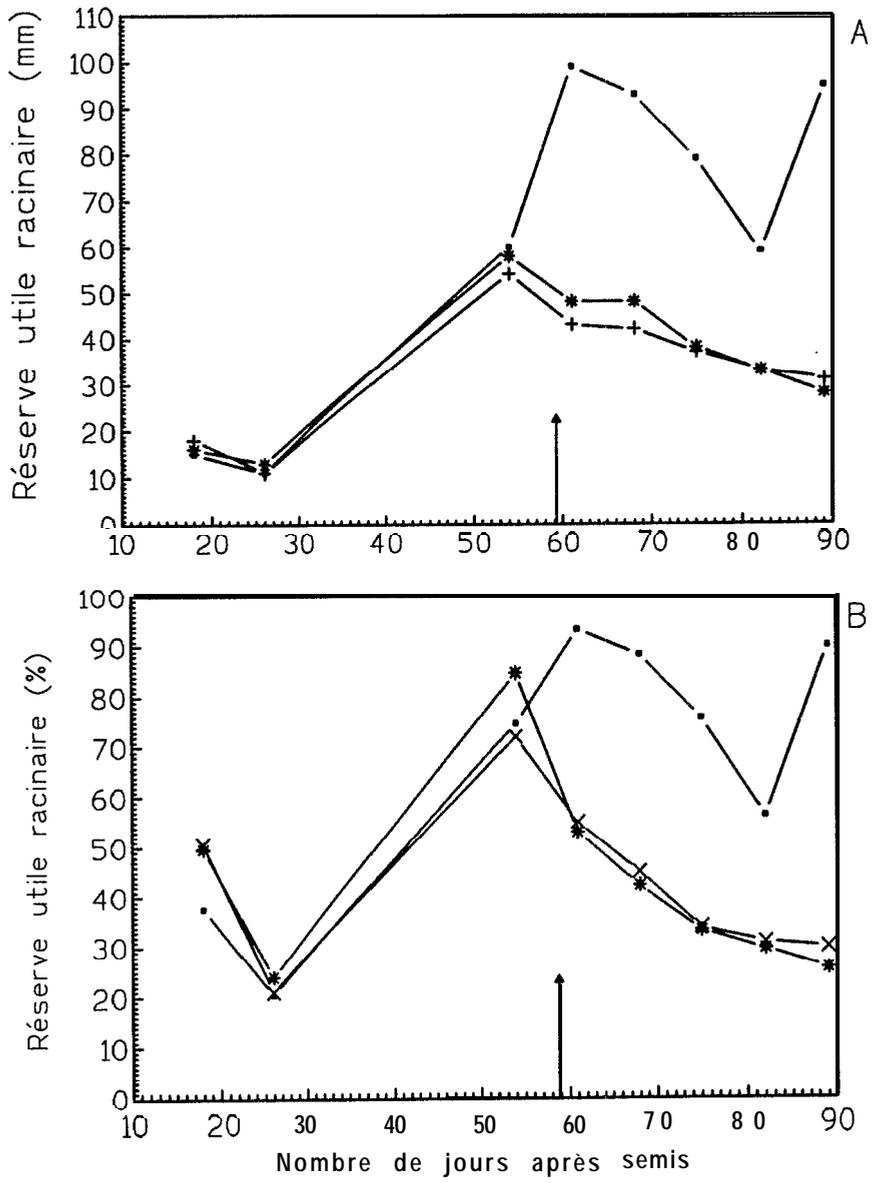


Figure 5 : Evolution de la réserve utile racinaire exprimée en mm (A) et en % (B) (° témoin, x pluvial, \* stressé)  
 † Début d'application des traitements

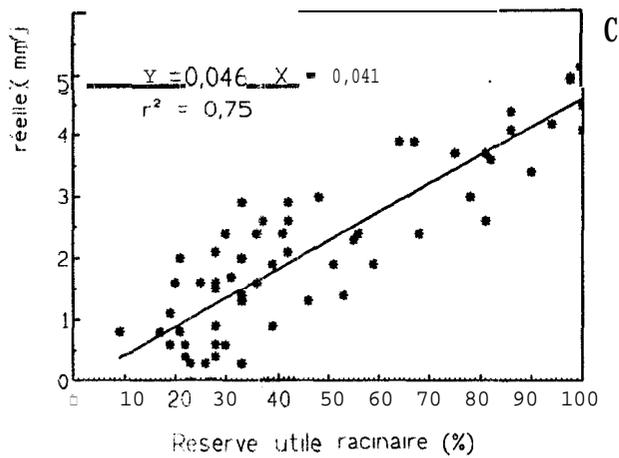
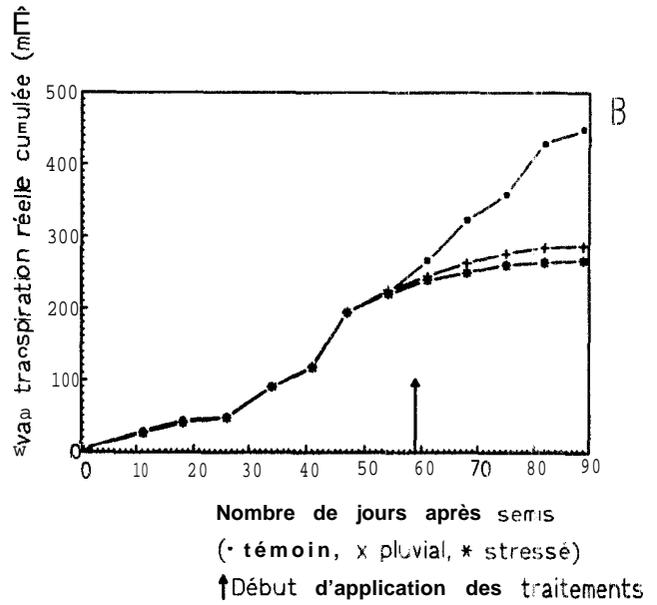
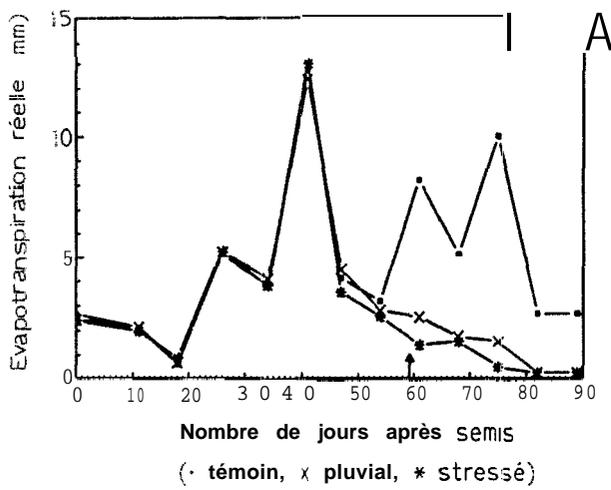


Figure 6 Evolution de l'évapotranspiration réelle Journalière (A) et cumulée (B) et relation entre l'évapotranspiration réelle journalière et la réserve utile racinaire (C).

### **3.4) Effet de la sécheresse sur le développement de la culture.**

#### **3.4.1) Recouvrement du sol par la culture.**

Les cultures ont recouvert progressivement le sol pour atteindre avant l'application des traitements un taux de 74 % au 53<sup>ème</sup> jas. Puis le recouvrement du sol par le traitement pluvial et le traitement stressé s'est réduit significativement par rapport au traitement témoin ( $\alpha = 1\%$ ) à partir du 67<sup>ème</sup> jas soit au 9<sup>ème</sup> jds (figure 7). La sécheresse s'est accompagnée d'une réduction du taux de couverture du sol. En effet les plantes soumises au déficit hydrique flétrissent vers midi quand le soleil est au zénith, période de forte demande évaporative. Ceci constitue un moyen pour réduire leur surface transpirante.

#### **3.4.2) Autres paramètres de développement.**

La surface foliaire, le nombre et le poids sec des feuilles, des gynophores, des gousses et des graines, le poids sec des tiges et le poids sec total des traitements pluvial et stressé ne présentent aucune différence significative par rapport au traitement témoin entre le 11<sup>ème</sup> et le 80<sup>ème</sup> jas (tableau 2).

### **3.5) Effet de la sécheresse sur la production**

#### **3.5.1) Rendements.**

Les rendements obtenus en fanes et en gousses sèches des traitements pluvial et stressé sont égaux entre eux et inférieurs à ceux du traitement témoin ( $\alpha = 1\%$ ). Ils s'élèvent respectivement à 4320 kg/ha et 1945 kg/ha chez le traitement témoin, 3030 kg/ha et 1111 kg/ha chez le traitement pluvial, 2913 kg/ha et 570 kg/ha chez le traitement stressé (tableau 3). La sécheresse s'est donc accompagnée d'une diminution des rendements.

#### **3.5.2) Analyse de récolte.**

Il n'y a pas eu d'écarts significatifs ( $\alpha = 1\%$ ) entre les traitements sur le nombre total de gousses, de gousses à deux cavités et de plantes récoltées, le nombre et le poids sec de gousses à une cavité (tableau 3). Le nombre et le poids sec des gousses vides du traitement stressé sont supérieurs à ceux du traitement témoin et du traitement pluvial qui sont égaux entre eux ( $\alpha = 1\%$ ). Les poids secs de gousses à deux cavités des traitements pluvial et stressé sont égaux entre eux et inférieurs à celui du traitement témoin ( $\alpha = 1\%$ ).

La sécheresse est accompagnée d'une réduction du poids sec des bigraines et d'une augmentation des gousses vides chez l'arachide dans les conditions de cette expérimentation.

#### **3.5.3) Analyse de maturité.**

Le nombre et le poids sec des bigraines imparfaitement mûres, des bigraines non mûres, des monograines mûres, des monograines imparfaitement mûres, des monograines non mûres et des totaux de monograines, le nombre de bigraines mûres et le nombre total de bigraines (tableau 4) des traitements pluvial et stressé sont égaux à ceux du traitement témoin ( $\alpha = 1\%$ ). Le poids sec total des bigraines, des bigraines mûres et des graines des traitements pluvial et stressé sont inférieurs à ceux du traitement témoin ( $\alpha = 1\%$ ). La sécheresse s'est accompagnée d'une

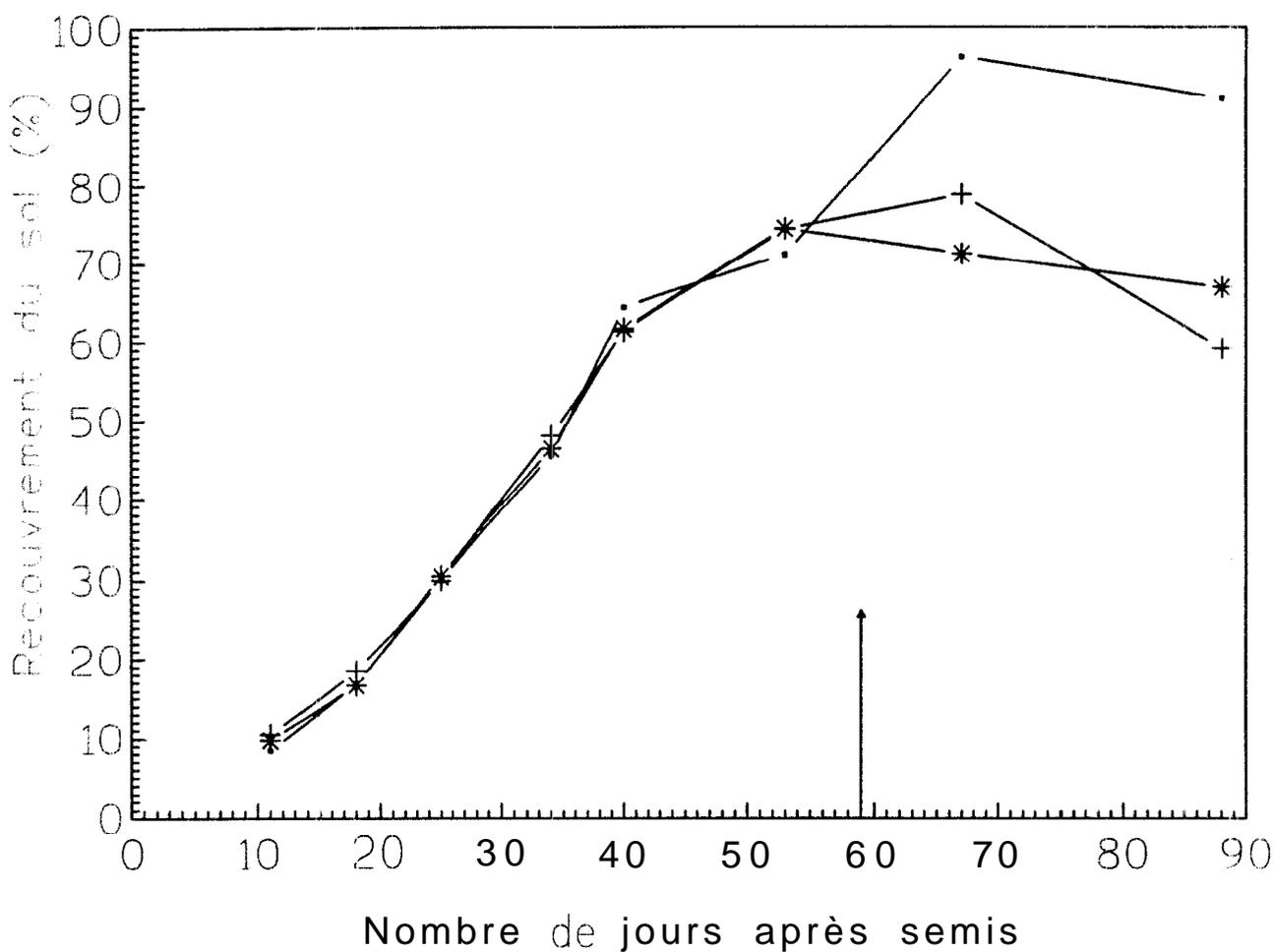


Figure 7 Evolution du recouvrement du sol  
 (° témoin, x pluvial, \* stressé)  
 † Début d'application des traitements

TABLEAU 2 : Suivi du développement de la culture.

Paramètre	Traitement	Nombre de jours après semis											
		11	17	25	31	30	45	52	59	66	73	80	
HP (cm)	Témoin	14,2 a	15,4 a	17,7 a	23,3 a	31,6 a	44,8 a	49,5 a	54,3 a	60,3 a	63,8 a	55,7 a	
	Pluvial	13,7 a	14,9 a	16,7 a	23,3 a	34,6 a	41,4 a	50,0 a	45,8 a	49,7 a	51,2 a	53,4 a	
	Stressé	13,6 a	15,4 a	17,3 a	23,1 a	34,6 a	38,3 a	51,3 a	48,5 a	53,3 a	54,7 a	50,4	
	CV %	8,3	4,7	7,2	3,8	5,5	4,5*	10,8	7,0	10,8	3,9*	10,3	
SF (cm²)	Témoin	45,5 a	63,5 a	166,9 a	407,4 a	898,8 a	1014,5 a	1844,9 a	2089,9 a	2384,5 a	2496,5 a	1991,3 a	
	Pluvial	42,3 a	80,0 a	157,9 a	437,6 a	993,7 a	1406,5 a	1809,2 a	1649,2 a	1580,6 a	1509,8 a	1876,6 a	
	Stressé	45,2 a	89,0 a	163,4 a	412,0 a	1113,2 a	1318,1 a	1747,2 a	1953,5 a	1740,4 a	1351,6 a	1285,9 a	
	CV %	11,5	17,0*	14,2	11,1	12,5	11,4*	7,5	2,9*	2,6*	3,2*	4,0*	
NF	Témoin	5 a	9 a	11 a	24 a	47 a	59 a	81 a	97 a	80 a	103 a	89 a	
	Pluvial	6 a	9 a	17 a	26 a	44 a	55 a	79 a	79 a	73 a	66 a	84 a	
	Stressé	6 a	9 a	18 a	28 a	44 a	46 a	78 a	79 a	91 a	65 a	64 a	
	CV %	13,3	10,4	20,4*	7,7*	7,7	14,3	13,7	5,5*	5,2	4,4	14,0	
PSF (g)	Témoin	0,2 a	0,4 a	1,0 a	2,3 a	5,0 a	8,7 a	12,1 a	13,0 a	14,8 a	18,1 a	10,8 a	
	Pluvial	0,2 a	0,4 a	0,9 a	2,5 a	5,6 a	8,7 a	11,8 a	10,2 a	10,9 a	13,3 a	8,8 a	
	Stressé	0,2 a	0,4 a	0,9 a	2,5 a	6,2 a	8,0 a	10,8 a	11,4 a	12,0 a	11,3 a	8,7 a	
	CV %	5,1	14,9*	14,2	10,5	10,8	7,2*	8,5*	14,8	10,7	15,4	9,7*	
PST (g)	Témoin	0,2 a	0,3 a	0,8 a	1,9 a	4,7 a	9,2 a	11,6 a	13,4 a	16,8 a	19,0 a	15,6 a	
	Pluvial	0,2 a	0,3 a	0,8 a	2,0 a	5,5 a	9,4 a	10,9 a	10,8 a	13,5 a	12,2 a	16,6 a	
	Stressé	0,2 a	0,3 a	0,8 a	2,1 a	6,4 a	7,7 a	10,3 a	13,0 a	15,9 a	13,6 a	12,3 a	
	CV %	15,4*	11,4	13,3	11,4	13,4	13,5	14,0	11,2	11,9	11,4*	6,9*	
NGY	Témoin	0,0	0,0	0,0	3,0 a	8,0 a	15,0 a	28,0 a	34,0 a	15,0 a	38,0 a	20,0 a	
	Pluvial	0,0	0,0	0,0	3,0 a	8,0 a	16,0 a	30,0 a	29,0 a	11,0 a	39,0 a	23,0 a	
	Stressé	0,0	0,0	0,0	3,0 a	8,0 a	10,0 a	28,0 a	22,0 a	18,0 a	29,3 a	13,0 a	
	CV %				31,5	13,2	12,9	4,4	8,1	11,2	8,6*	8,4*	
PSGY (g)	Témoin	0,0	0,0	0,0	0,1 a	0,1 a	0,5 a	0,8 a	1,7 a	0,8 a	0,8 a	0,9 a	
	Pluvial	0,0	0,0	0,0	0,0 a	0,2 a	0,5 a	0,7 a	1,4 a	0,7 a	1,4 a	1,0 a	
	Stressé	0,0	0,0	0,0	0,1 a	0,2 a	0,4 a	0,7 a	1,1 a	1,2 a	0,8 a	0,6 a	
	CV %				2,7	2,8*	5,3*	8,9*	14,8*	7,5*	14,4*	9,2*	
NGO	Témoin	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0 a	9,0 a	18,0 a	18,0 a	20,0 a	39,0 a	31,0 a	
	Pluvial	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0 a	15,0 a	16,0 a	---	---	36,0 a	32,0 a	
	Stressé	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0 a	7,0 a	18,0 a	9,0 a	15,0 a	26,0 a	22,0 a	
	CV %					26,4*	12,8*	13,0	22,3*	38,0	9,6*	6,3*	
PSGO (g)	Témoin	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1 a	0,9 a	2,6 a	3,4 a	7,9 a	8,8 a	14,3 a	
	Pluvial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1 a	1,0 a	2,2 a	2,3 a	6,7 a	8,3 a	12,7 a	
	Stressé	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2 a	0,7 a	2,3 a	3,1 a	4,9 a	7,0 a	6,6 a	
	CV %					4,82	12,63*	12,74*	26,20*	14,53*	13,49*	20,65*	
NGR	Témoin	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0 a	18,0 a	22,0 a	32,0 a	
	Pluvial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0 a	12,0 a	13,0 a	18,0 a	
	Stressé	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0 a	12,0 a	13,0 a	18,0 a	
	CV %								20,2	29,4	17,7	10,1*	
PSGR (g)	Témoin	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7 a	1,1 a	3,3 a	4,9 a	7,8 a	
	Pluvial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6 a	0,5 a	3,3 a	4,5 a	7,9 a	
	Stressé	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7 a	1,4 a	2,1 a	4,3 a	4,3 a	
	CV %							12,2*	9,8*	14,7*	16,5*	19,9*	
PST0 (g)	Témoin	0,4 a	0,7 a	1,8 a	4,3 a	9,9 a	19,2 a	27,1 a	31,5 a	40,3 a	46,7 a	41,6 a	
	Pluvial	0,4 a	0,7 a	1,7 a	4,6 a	11,3 a	19,5 a	25,6 a	24,7 a	31,8 a	35,1 a	42,1 a	
	Stressé	0,4 a	0,7 a	1,7 a	4,6 a	13,0 a	16,9 a	24,0 a	28,6 a	33,9 a	32,7 a	28,2 a	
	CV %	8,6	14,6	13,5	11,5	11,0	4,8*	5,3	6,6*	10,7	4,6*	6,4	

Les valeurs de chaque paramètre situées sur une même colonne et affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil 5 %  
 CV obtenu après transformation logarithmique de la variable correspondante.

- c v      coefficient de variation
- HP      hauteur des plantes.
- SF      surface foliaire.
- NF      nombre de feuilles.
- PSF     poids sec des feuilles.
- PST     poids sec des tiges.
- PST0    poids sec total
- NGY     nombre de gynophores.
- PSGY    poids sec des gynophores
- NGO     nombre de gousses.
- PSGO    poids sec des gousses.
- NGR     nombre de graines.
- PSGR    poids sec des graines

**Tableau 3** : Analyse de récolte.

Paramètre	Témoin	Pluvial	Stressé	CV (%)
NGF (/kg)	1483 a	1486 a	1516 a	2,3*
NGV (/kg)	332 b	493 b	1069 a	6,9*
NG2C (/kg)	1222 a	1120 a	1046 a	2,3*
NG1C (/kg)	261 a	366 a	470 a	15,3
NPR (/16 m <sup>2</sup> )	250 a	218 a	213 a	10,0
PGF (kg/kg)	0,967 a	0,890 b	0,885 b	6,2
PGV (kg/kg)	0,025 b	0,038 b	0,112 a	9,8*
PG2C (kg/kg)	0,853 a	0,767 b	0,720 b	6,0
PG1C (kg/kg)	0,114 a	0,123 a	0,165 a	15,4
Rdt F (kg/ha)	4320 a	3030 b	2914 b	8,1
Rdt G (kg/ha)	1945 a	1111 b	570 b	2,9*

Les valeurs de la même ligne suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil 1 %.

cv : coefficient de variation (%).

NGF : nombre de gousses formées.

NGV : nombre de gousses vides

NG2C : nombre de gousses à deux cavités.

NG1C : nombre de gousses à une cavité.

NPR : nombre de plantes récoltées.

PGF : poids de gousses formées.

PGV : poids de gousses vides.

PG2C : poids de gousses à deux cavités,

PG1C : poids de gousses à une cavité.

Rdt F : rendement en fanes.

Rdt G : rendement en gousses.

\* CV obtenu après transformation logarithmique de la variable correspondante.

**Tableau 4** : Analyse de maturité.

Paramètre	Témoin	Pluvial	Sressé	CV (%)
NBM (/kg)	1287 a	1080 a	1271 a	3,5*
NBIPM (/kg)	548 a	471 a	405 a	3,6*
NBNM (/kg)	468 a	545 a	430 a	9,4*
NBT (/kg)	2303 a	2096 a	2106 a	9,4
PBM (kg/kg)	0,411a	0,348 b	0,277 b	3,8*
PBIPM (kg/kg)	0,154 a	0,126 a	0,155 a	6,9*
PBNM (kg/kg)	0,089 a	0,147 a	0,140 a	14,2*
PBT (kg/kg)	0,654 a	0,621 b	0,572 b	1,7
NMM (/kg)	166 a	146 a	119 a	5,5*
NMIPM (/kg)	75 a	68 a	109 a	10,9*
NMNM (/kg)	63 a	147 a	90 a	14,8*
NTM (/kg)	304 a	361 a	318 a	3,0*
PMM (kg/kg)	0,059 a	0,071 a	0,037 a	9,0*
PMIPM (kg/kg)	0,018 a	0,019 a	0,028 a	12,8*
PMNM (kg/kg)	0,013 a	0,026 a	0,019 a	21,4*
PMT (kg/kg)	0,090 a	0,116 a	0,084 a	6,3*
PTG( kg/kg)	0,744 a	0,737 b	0,656 b	5,3

Les valeurs de la même ligne suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil 1%  
 c v : coefficient de variation.

NBM : nombre de bigraines mûres.

NBIPM : nombre de bigraines imparfaitement mûres.

NBNM : nombre de bigraines non mûres.

NBT : nombre total de bigraines.

PBM : poids de bigraines mûres.

PBIPM : poids de bigraines imparfaitement mûres.

PBNM : poids de bigraines non mûres.

PBT : poids total de bigraines.

NMM : nombre de monograines mûres.

NMIPM : poids de monograines imparfaitement mûres.

NMNM : nombre de monograines non mûres.

NTM : nombre total de monograines.

PMM : poids de monograines mûres.

PMIPM : poids de monograines imparfaitement mûres.

PMNM : poids de monograines non mûres.

PMT : poids total de monograines.

PTG : poids total de graines.

CV obtenu après transformation logarithmique de la variable correspondante.

réduction du poids sec des bigraines. Les plantes soumises au déficit hydrique semblent remplir préférentiellement les monograines.

La diminution quantitative (rendements) et qualitative (poids sec des brgraines) rend compte du remplissage moindre par rapport au traitement témoin des gousses a deux cavités des plantes soumises au déficit hydrique de fin de cycle.

Cette relation sécheresse-production pourrait être mieux expliquée à travers la compréhension des relations hydriques soi-racines-parties aériennes.

### **3.6) Effet de l'état hydrique du sol sur le contenu relatif en eau des feuilles,**

#### **3.6.1) Contenu relatif en eau mesuré à 7h.**

Le contenu relatif en eau des feuilles (CRE) rend compte du volume relatif d'eau contenu dans les tissus foliaires donc de leur taux d'hydratation. Le CRE mesuré à 7 h (CRE<sub>7h</sub>) renseigne sur la capacité de la plante à se réhydrater pendant la nuit. La seule contrainte qui limite cette réhydratation nocturne est l'état hydrique du sol. Les CRE<sub>7h</sub> des traitements pluvial et stressé diminuent progressivement de 98 % à 30 % et de 98 % à 29 % respectivement par rapport à celui du traitement témoin compris entre 99 % et 98 % (figure 8A). Les premiers écarts de CRE par rapport au traitement témoin apparaissent dès le premier jour de sécheresse ( $\alpha = 1$  %) puisque le traitement témoin a été irrigué la veille. Une forte diminution apparaît à partir du 15<sup>eme</sup> jds.

#### **3.6.2) Contenu relatif en eau mesuré à 13h.**

Le CRE<sub>13h</sub> renseigne sur la capacité de la culture à se réhydrater sous la double contrainte hydrique du sol (déficit hydrique) et de l'atmosphère (demande évaporative). Le CRE<sub>13h</sub> diminue progressivement de 81 % à 20 % chez le traitement pluvial et de 78 % à 23 % chez le traitement stressé par rapport à celui du traitement témoin compris entre 91 % et 83 % (figure 8B). Les premiers écarts par rapport au traitement témoin apparaissent à partir du 3eme jour de sécheresse ( $\alpha = 1$  %) Elles deviennent fortes à partir du 1<sup>le</sup> m<sup>e</sup> jds.

#### **3.6.3) Discussion**

L'évolution du CRE<sub>7h</sub> en fonction de la réserve utile racinaire (RUR) présente deux phases distinctes qui peuvent être décrites par deux fonctions linéaires (figure 8C)

Si  $RUR \geq 46$  %,  $CRE_{7h} = 0,051 \times RUR + 94,204$ ;  $r^2 = 0,386^{**}$ ;  $n = 22$  (phase 1).

Si  $RUR < 46$  %,  $CRE_{7h} = 2,580 \times RUR - 23,317$ ;  $r^2 = 0,347^{**}$ ;  $n = 23$  (phase 2).

Les coefficients de détermination  $r^2$  très significatifs indiquent néanmoins que seuls 39 % et 35 % de la variation du CRE<sub>7h</sub> sont pris en compte par ces fonctions. La RUR n'est donc pas le seul paramètre qui affecte l'évolution du CRE<sub>7h</sub>. Ces fonctions ne permettent pas d'accéder à une caractérisation précise de la relation entre le CRE<sub>7h</sub> et la RUR.

La première phase est caractérisée par un CRE<sub>7h</sub> élevé relativement stable (> 96 %). Durant cette phase la RUR n'est pas un facteur limitant la réhydratation nocturne de la culture. L'état hydrique du sol permet probablement à ces niveaux de RUR une absorption racinaire suffisante pour assurer une bonne réhydratation des tissus foliaires

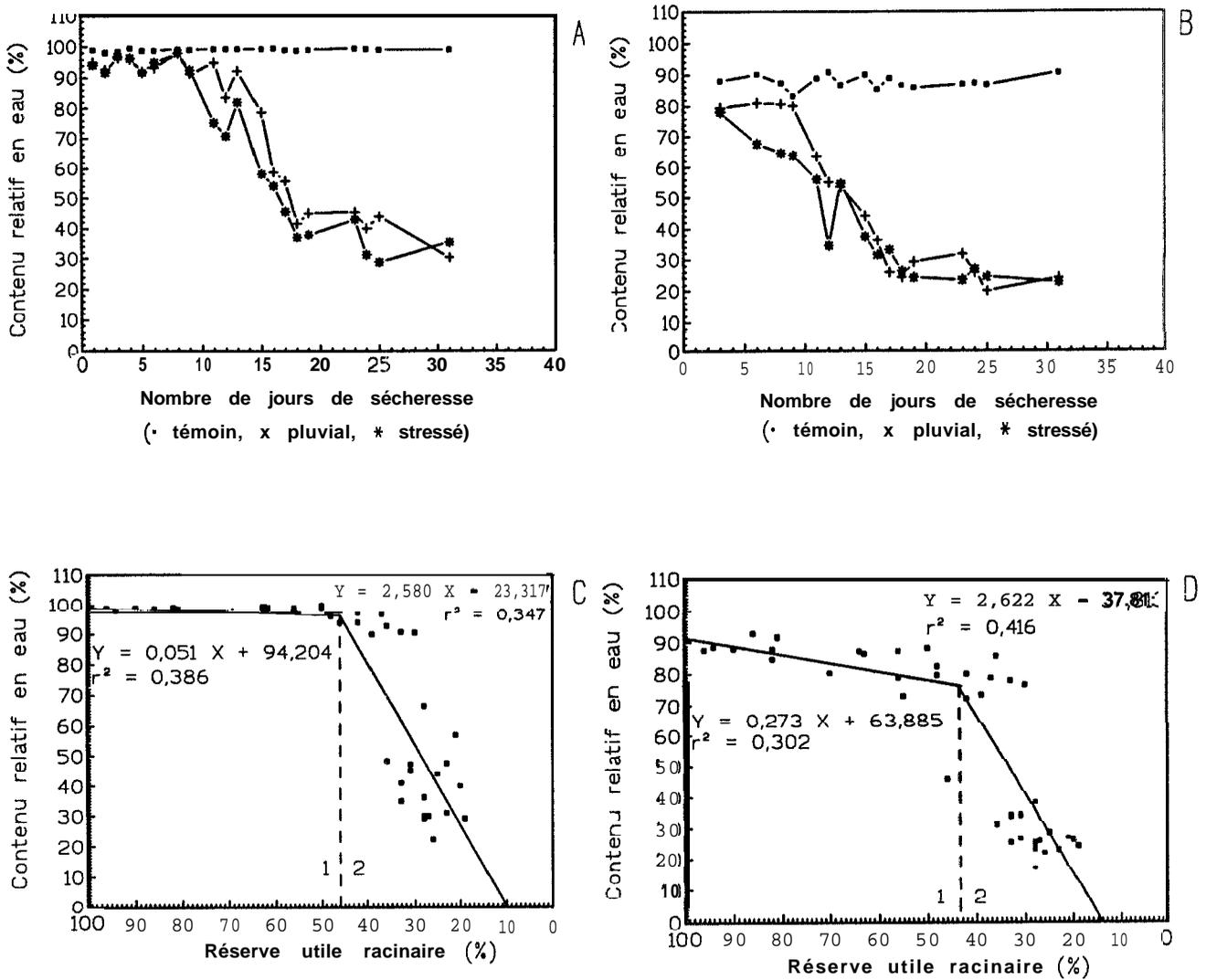


Figure 8 : Evolution du contenu relatif en eau mesuré à 7 h (A) et à 13 h (B) et relation entre la réserve utile racinaire et le contenu relatif en eau mesuré à 7 h (C) et à 13 h (D).

Une autre relation est observée quand la RUR est inférieure à 46 %. Le  $CRE_{7h}$  diminue rapidement pour atteindre des valeurs très basses (30 %). La culture n'est plus capable d'assurer une absorption racinaire suffisante pour éviter la déshydratation de ses tissus foliaires. Elle est à partir de ce moment en état de stress hydrique. A mesure que la RUR diminue, le taux de réhydratation nocturne se réduit pour s'annuler quand elle atteint 9 %.

En conclusion de cette mesure l'évolution du  $CRE_{7h}$  montre que la culture est en état de stress hydrique quand la RUR du sol est inférieure à 46 %.

L'évolution du  $CRE_{13h}$  en fonction de la RUR comprend aussi deux phases distinctes qui peuvent être décrites par deux fonctions linéaires (figure 8D).

Si  $RUR \geq 43 \%$ ,  $CRE_{13h} = 0,273 \times RUR + 63,885$ ;  $r^2 = 0,302^{**}$ ;  $n = 22$  (phase 1)

Si  $RUR < 43 \%$ ,  $CRE_{13h} = 2,622 \times RUR - 37,813$ ;  $r^2 = 0,416^{**}$ ;  $n = 23$  (phase 2)

Les coefficients de détermination  $r^2$  très significatifs indiquent cependant que seulement 30 % et 42 % de la variation du  $CRE_{13h}$  sont pris en compte par ces fonctions. La RUR n'est pas le seul facteur qui influence l'évolution du  $CRE_{13h}$ . Ces fonctions linéaires ne permettent pas de caractériser avec précision l'évolution du  $CRE_{13h}$  en fonction de la RUR.

Durant la phase 1 ( $RUR \geq 43 \%$ ), le  $CRE_{13h}$  est élevé ( $> 75 \%$ ). L'absorption racinaire permet à la culture de maintenir un taux d'hydratation élevé de ses tissus foliaires puisqu'elle est suffisante pour satisfaire la demande transpiratoire.

Lorsque la RUR est inférieure à 43 % une autre relation est observée. Le  $CRE_{13h}$  diminue très vite avec la RUR et s'annule quand elle est égale à 14 %. L'absorption racinaire devient insuffisante pour compenser les pertes d'eau par transpiration. La culture se déshydrate progressivement et est en état de stress hydrique durant cette phase.

Ainsi l'évolution du  $CRE_{13h}$  montre que le stress hydrique débute lorsque la RUE est inférieure à 43 %.

L'écart entre le  $CRE_{7h}$  et le  $CRE_{13h}$  dans la plage où il n'y a pas de stress hydrique est probablement dû à l'effet de la demande évaporative.

### **3.7) Effet de la sécheresse sur le potentiel hydrique foliaire.**

#### **3.7.1) Potentiel hydrique foliaire mesuré à 7h.**

Le potentiel hydrique foliaire  $\Psi_h$  correspond à la pression de l'eau sur les parois cellulaires. Un  $\Psi_h$  élevé correspond à un état d'hydratation satisfaisant. Le  $\Psi_h$  mesuré à 7 h ( $\Psi_{h7h}$ ) rend compte de la capacité de la culture à se réhydrater sous la seule contrainte de l'état hydrique du sol (RUR). Le  $\Psi_{h7h}$  a diminué chez le traitement pluvial de -0,67 MPa à -4,85 MPa et le traitement stressé de -0,72 MPa à -4,77 MPa par rapport à celui du traitement témoin compris entre -0,67 MPa et -1,18 MPa (figure 9A). L'écart par rapport au traitement témoin devient significatif ( $\alpha = 1 \%$ ) à partir du 16<sup>ème</sup> jour de sécheresse.

#### **3.7.2) Potentiel hydrique mesuré à 13h.**

Le potentiel hydrique mesuré à 13 h ( $\Psi_{h13h}$ ) rend compte de l'état d'hydratation de la culture lorsqu'elle est soumise aux contraintes hydriques du sol (déficit hydrique).

et de la demande évaporative. Au cours de l'expérimentation le  $\Psi_{h13h}$  a diminué de -1,27 MPa à -5,77 MPa chez le traitement pluvial et de -1,29 MPa à -6,22 MPa chez le traitement stressé par rapport à celui du traitement témoin compris entre -0,90 MPa et -1,85 MPa (figure 9B). La différence par rapport au traitement témoin devient significative ( $\alpha = 1\%$ ) à partir du 11<sup>ème</sup> jour de sécheresse.

### 3.7.3) Discussion

L'évolution du  $\Psi_{h7h}$  en fonction de la RUR comporte deux phases distinctes (figure 9C). Ces deux phases peuvent être décrites par deux fonctions linéaires définies par les équations :

Si  $RUR \geq 47\%$ ,  $\Psi_{h7h} = 0,002 \times RUR - 1,097$ ;  $r^2 = 0,048^{ns}$ ;  $n = 21$  (phase 1).

Si  $RUR < 47\%$ ,  $\Psi_{h7h} = 0,106 \times RUR - 6,004$ ;  $r^2 = 0,175^*$ ;  $n = 23$  (phase 2).

Le coefficient de détermination  $r^2$  non significatif indique l'indépendance du  $\Psi_{h7h}$  vis à vis de la RUR pendant la phase 1. Ce coefficient est significatif pour la phase 2. Cependant la fonction prend en compte seulement 18 % de la variation du  $\Psi_{h7h}$ . La RUR n'est pas le seul facteur de variation du  $\Psi_{h7h}$ . La fonction linéaire ne permet pas une caractérisation précise de la relation entre le  $\Psi_{h7h}$  et la RUR.

Le  $\Psi_{h7h}$  est élevé ( $> -1,0$  MPa) et relativement stable pendant la phase 1 ( $RUR \geq 47\%$ ). L'état hydrique du sol permet à la culture d'absorber suffisamment d'eau pour maintenir un état d'hydratation satisfaisant.

Une autre relation débute lorsque la RUR est inférieure à 47 % (phase 2). Le potentiel hydrique diminue très rapidement. L'absorption racinaire devient insuffisante pour compenser les pertes d'eau et maintenir un état d'hydratation satisfaisant. La culture évolue sous des conditions hydriques de sol stressantes pendant cette phase.

La relation entre la RUR et le  $\Psi_{h7h}$  montre que la culture est en état de stress hydrique lorsque la RUR est inférieure à 47 %.

L'évolution du  $\Psi_{h13h}$  en fonction de la RUR comporte deux phases distinctes pouvant être décrites par deux fonctions linéaires (figure 9D).

Si  $RUR \geq 50\%$ ,  $\Psi_{h13h} = 0,006 \times RUR - 1,763$ ;  $r^2 = 0,097^{ns}$ ;  $n = 14$  (phase 1).

Si  $RUR < 50\%$ ,  $\Psi_{h13h} = 0,140 \times RUR - 8,462$ ;  $r^2 = 0,549^{**}$ ;  $n = 30$  (phase 2).

Le coefficient de détermination  $r^2$  non significatif indique que le  $\Psi_{h13h}$  est indépendant de la RUR durant la phase 1. Il est très significatif pour la phase 2 néanmoins il montre que 45 % de la variation du  $\Psi_{h13h}$  ne sont pas pris en compte par la fonction linéaire. La RUR n'est donc pas le seul paramètre ayant un effet sur l'évolution du  $\Psi_{h13h}$ . Cette fonction ne permet pas de caractériser la relation entre le  $\Psi_{h13h}$  et la RUR.

Durant la phase 1 ( $RUR \geq 50\%$ ), le  $\Psi_{h13h}$  reste élevé et relativement stable. L'état d'hydratation satisfaisant pendant cette période indique que le sol met suffisamment d'eau à la disposition de la culture. Son absorption racinaire permet de compenser ses pertes d'eau par transpiration et de satisfaire la demande évaporative.

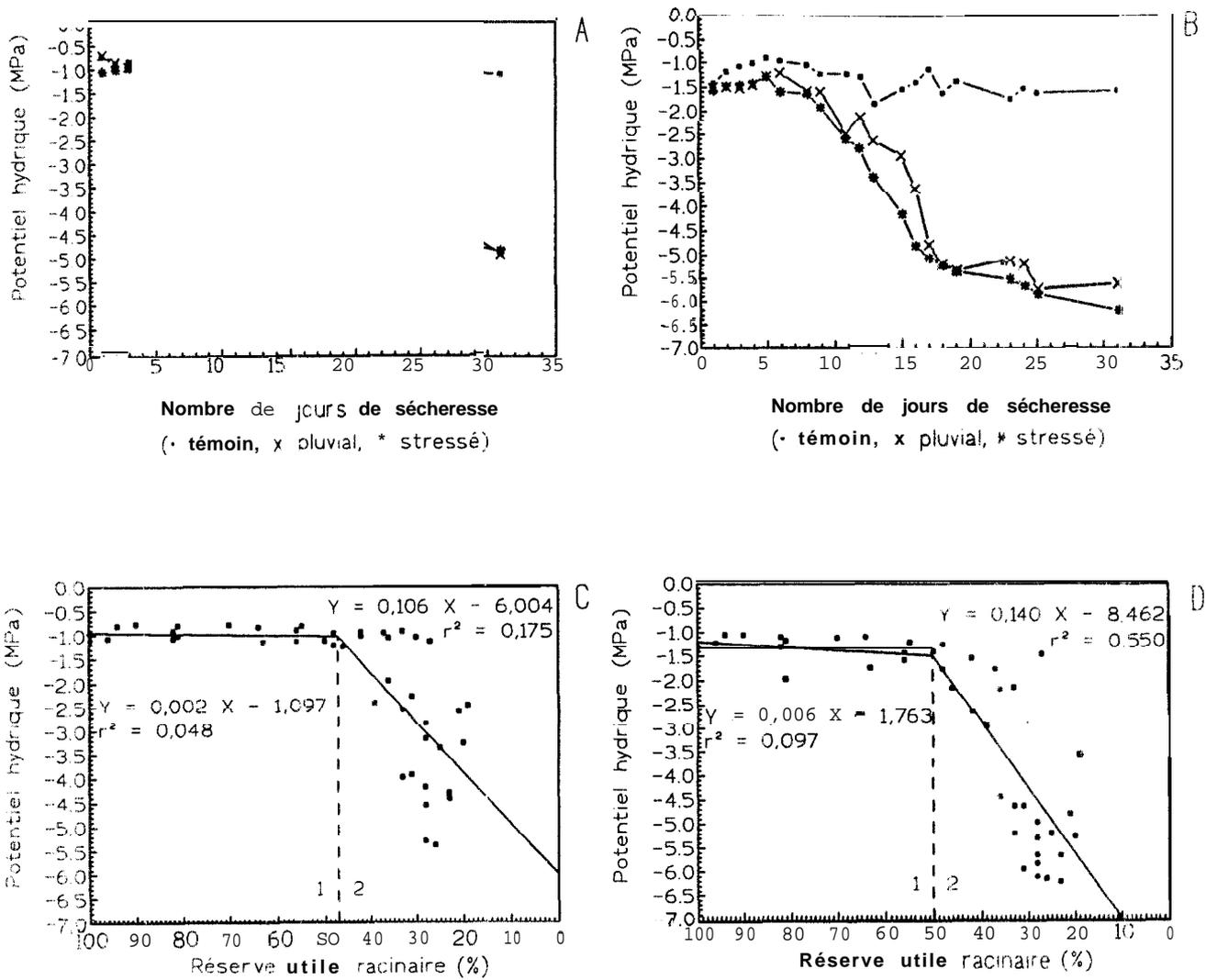


Figure 9 Evolution du potentiel hydrique foliaire mesuré à 7 h (A) et à 13 h (B) et relation entre la réserve utile racinaire et le potentiel hydrique foliaire mesuré à 7 h (C) et à 13 h (D)

Quand la RUR est inférieure à 50 %, le  $\Psi_{h13h}$  diminue très vite. La culture ne parvient plus à absorber suffisamment d'eau pour compenser ses pertes d'eau par transpiration. Elle se déshydrate progressivement et évolue en conditions de stress hydrique durant cette phase.

La relation entre le  $\Psi_h$  et la RUR durant une sécheresse montre qu'à partir d'une certaine valeur de la RUR, la culture est en état de stress hydrique. Les RUR seuils (47 % et 50 %) marquent le début de manifestation du stress hydrique au niveau des tissus foliaires. L'écart entre  $\Psi_{h7h}$  et  $\Psi_{h13h}$  durant la période où il n'y a pas de stress hydrique rend compte probablement de l'effet de la demande évaporative.

### **3.8) Effet de la sécheresse sur la conductance stomatique foliaire.**

#### **3.8.1) Suivi journalier de la conductance stomatique.**

Le suivi journalier de la conductance stomatique ( $G_s$ ) effectué après 2, 9, 25 et 31 jours de sécheresse montre que les cultures soumises au déficit hydrique tentent d'équilibrer leur bilan hydrique en ajustant leurs pertes en eau par la fermeture progressive des stomates au fur et à mesure que la contrainte atmosphérique augmente. Ce phénomène s'observe durant les heures de forte demande évaporative (figure 10A). Lorsqu'elles sont dans l'impossibilité d'équilibrer leur bilan hydrique, elles ferment leurs stomates. Suivant l'état hydrique du sol et l'intensité de la contrainte atmosphérique, elles ouvrent légèrement de nouveau leurs stomates le soir vers 17h (figure 10A). La fermeture complète survient de plus en plus tôt à mesure que la quantité d'eau disponible pour la culture devient de plus en plus faible (figures 10B, C et D). Par contre en conditions d'alimentation hydrique satisfaisante la conductance reste élevée ne s'annulant qu'à la tombée de la nuit ou aux périodes de faible éclaircissement (figure 10C). Pour le traitement témoin les variations observées durant la journée sont plutôt dues aux facteurs climatiques telles que la lumière, la température, l'humidité relative et la demande évaporative qui peuvent être très fluctuantes à l'échelle de la journée (figure 10D).

La sécheresse affecte donc le degré d'ouverture des stomates. La culture pour équilibrer son bilan hydrique (absorption = transpiration), régule progressivement l'ouverture des stomates jusqu'à leur fermeture complète à mesure que le déficit hydrique s'accroît.

#### **3.8.2) Conductance stomatique mesurée à 10h.**

La conductance stomatique mesurée à 10 h ( $G_{s10h}$ ) indique le degré d'ouverture des stomates à une heure où généralement la sécheresse atmosphérique n'est pas encore très intense. Les  $G_{s10h}$  des traitements pluvial et stressé égales respectivement au départ à 0,517 cm/s et à 0,510 cm/s ont diminué progressivement par rapport à celle du traitement témoin comprise entre 0,652 cm/s et 0,295 cm/s. La différence par rapport au traitement témoin devient significative ( $\alpha = 1\%$ ) à partir du 9<sup>ème</sup> jour de sécheresse (figure 11A). La fermeture complète des stomates à 10h intervient après 15 jours de sécheresse.

#### **3.8.3) Conductance stomatique mesurée à 13h.**

La conductance stomatique mesurée à 13 h ( $G_{s13h}$ ) renseigne sur le degré d'ouverture des stomates au moment des fortes demandes évaporatives. Elle a diminué progressivement à partir d'une valeur de départ de 0,320 cm/s chez le traitement pluvial et de 0,314 cm/s chez le traitement stressé par rapport à celle du traitement témoin comprise entre 0,678 cm/s et 0,304 cm/s. La réduction par rapport au traitement témoin est significative ( $\alpha = 1\%$ ) dès le 4<sup>ème</sup> jour de sécheresse

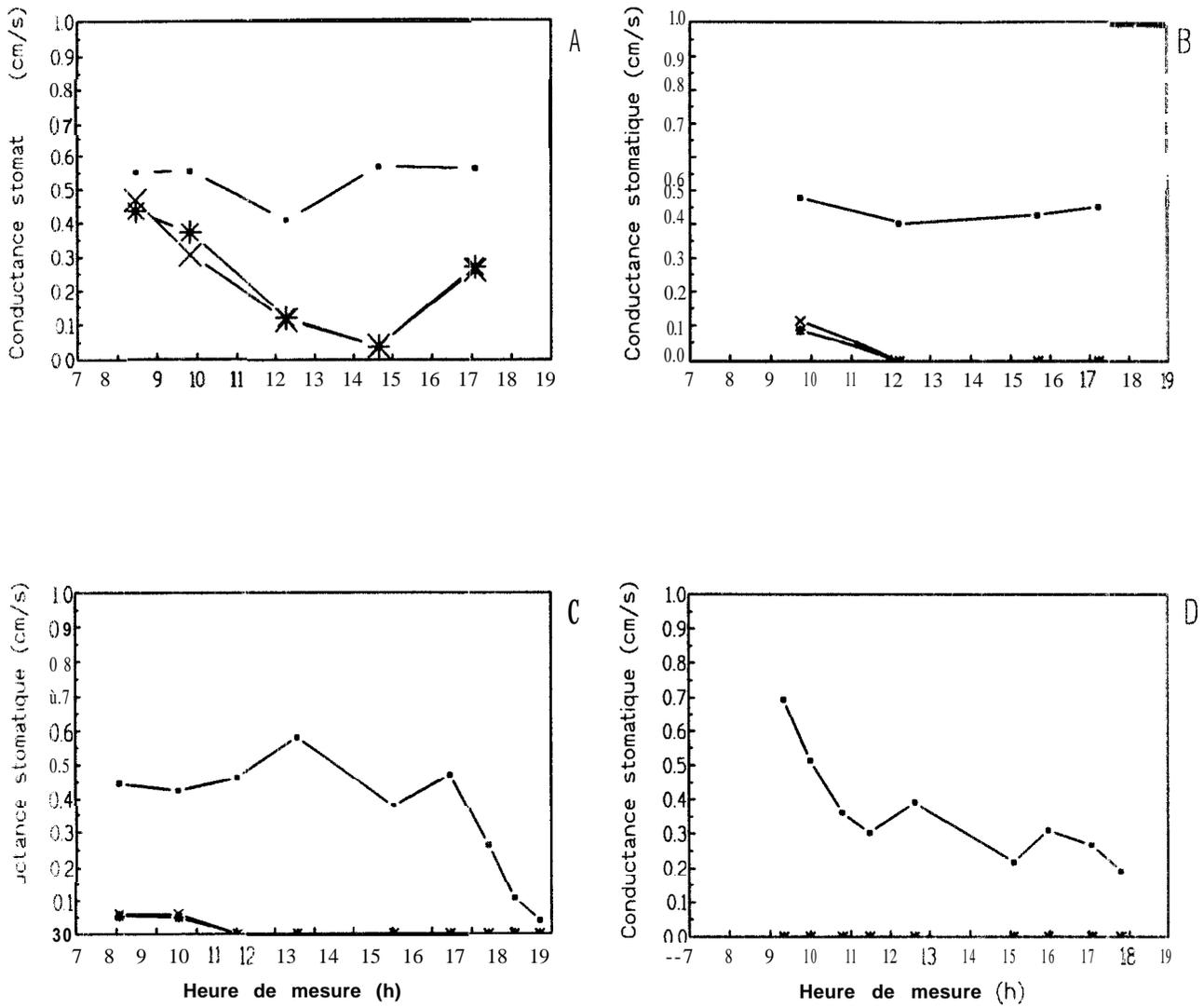


Figure 10 Suivi journalier de la conductance stomatique foliaire apres 2 (A), 9 (B), 25 (C) et 31 (D) jours de sécheresse. (• témoin, x pluvial, \* stressé)

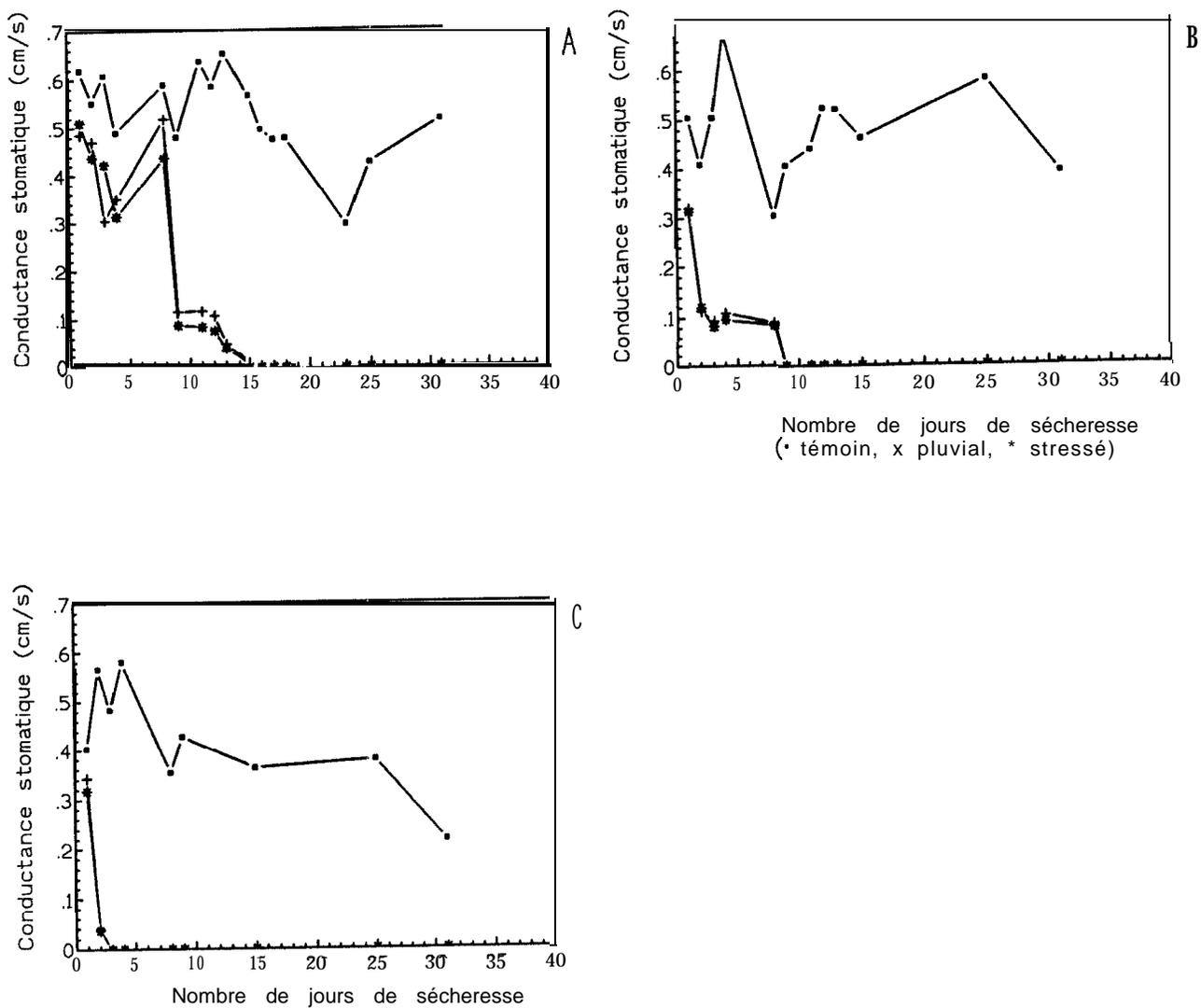


Figure 11 : Evolution de la conductance stomatique foliaire mesurée à 10 h (A), à 13 h (B) et à 15 h (C).

(figure 11 B). A partir du 9<sup>ème</sup> jour de sécheresse les traitements pluvial et stressé soumis au déficit hydrique et à une forte sécheresse atmosphérique ont leurs stomates complètement fermés à 13 h.

### 3.8.4) Conductance stomatique mesurée à 15h.

La conductance stomatique mesurée à 15h ( $G_{s15h}$ ) rend compte du degré d'ouverture des stomates à une heure où la demande évaporative est encore très élevée. Les  $G_{s15h}$  du traitement pluvial ( $\leq 0,343$  cm/s) et du traitement stressé ( $\leq 0,318$  cm/s) ont diminué progressivement par rapport à celle du traitement témoin comprise entre 0,581 cm/s et 0,218 cm/s. Cette diminution par rapport au traitement témoin est significative ( $\alpha = 1\%$ ) dès le deuxième jour de sécheresse. A partir du troisième jour de sécheresse les stomates des traitements pluvial et stressé sont complètement fermés à 15 h (figure 1 IC).

Sous l'effet du déficit hydrique une réduction continue du degré d'ouverture des stomates est observée jusqu'à leur fermeture complète. Cette fermeture complète se manifeste de plus en plus tôt que la demande évaporative augmente à l'échelle de la journée. L'importance de cette régulation stomatique pourrait être mieux cernée à partir de l'étude de la relation entre la  $G_s$  et la RUR.

### 3.8.5) Discussion

La relation entre la  $G_{s13h}$  et la RUR a été choisie puisqu'elle décrit l'effet de l'état hydrique du sol sur la  $G_{s13h}$  à un moment où la contrainte atmosphérique est élevée et les paramètres hydriques de la culture sont mesurés ( $CRE_{13h}$  et  $\Psi_{h13h}$ ). La courbe illustrant la relation entre la réserve utile racinaire et la conductance stomatique peut être subdivisée en trois phases distinctes 1, 2, 3 (figure 12) Ces phases peuvent être décrites par les fonctions linéaires suivantes :

$$\text{Si } RUR > 64 \% \text{ (phase 1)} \quad G_{s13h} = 0,0001 \times RUR + 0,538 \quad r^2 = 0,003^{ns}$$

n = 13

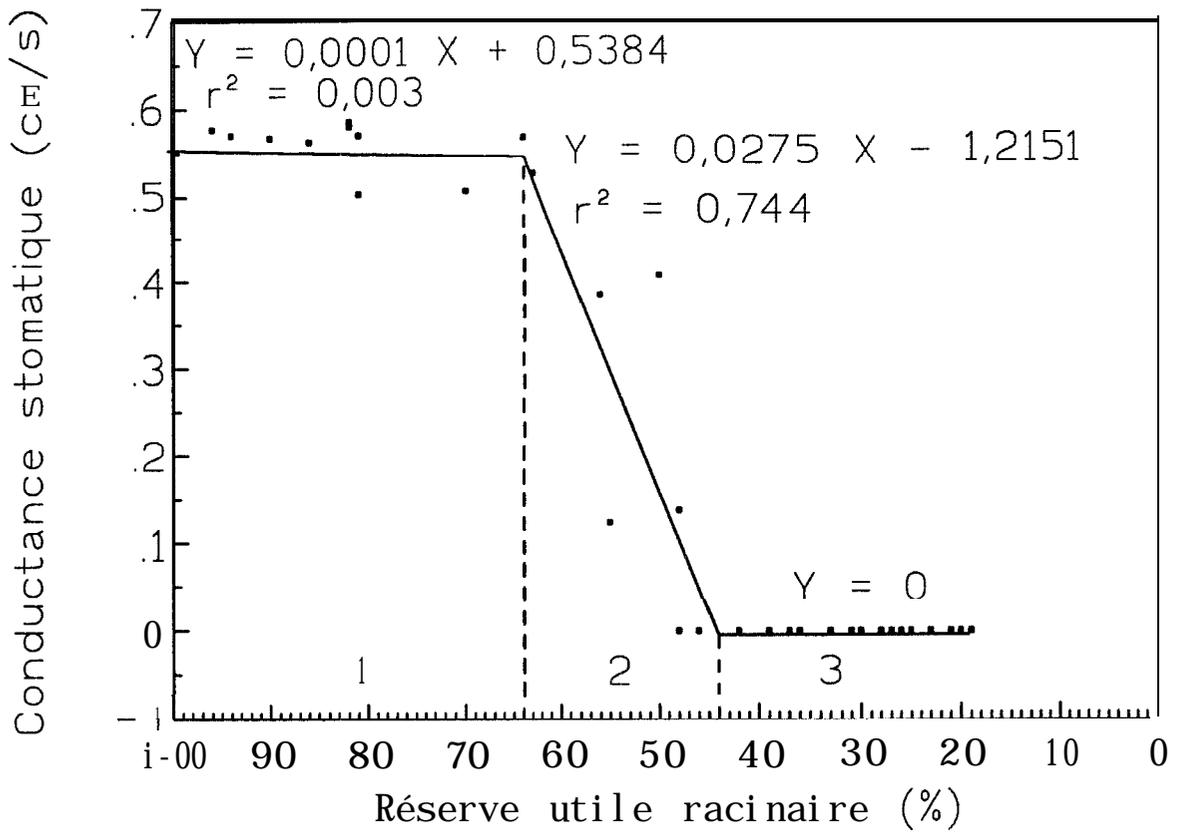
$$\text{Si } 44 \% < RUR \leq 64 \% \text{ (phase 2)} \quad G_{s13h} = 0,0275 \times RUR - 1,215 \quad r^2 = 0,744^{**}$$

n = 10

$$\text{Si } RUR < 44 \% \text{ (phase 3)} \quad G_{s13h} = 0 \quad n = 22$$

Le coefficient de détermination  $r^2$  obtenu pendant la phase 1 indique que la variation de RUR ne rend pas compte de celle de la  $G_{s13h}$  observée entre 100 % et 64 % de RUR. La  $G_{s13h}$  est indépendante de la RUR. Elle reste élevée ( $> 0,5$  cm/s) durant cette phase.

Le  $r^2$  obtenu durant la phase 2 indique une bonne corrélation entre la  $G_{s13h}$  et la RUR. La fonction linéaire qui prend en compte 74 % de la variation de la  $G_{s13h}$ , permet de caractériser la relation entre la  $G_{s13h}$  et la RUR. La  $G_s$  diminue rapidement avec la RUR et s'annule dès qu'elle atteint 44 %. L'effet de l'état hydrique du sol débute quand la RUR est égale à 64 %. Cette valeur constitue le seuil de réaction des stomates au déficit hydrique. La régulation stomatique est observée durant cette phase. La fermeture des stomates est une réponse de la plante au stress hydrique du sol perçu par les racines. Ces dernières, soumises au stress hydrique du sol, ne peuvent plus absorber suffisamment d'eau pour éviter la déshydratation. Les racines déshydratées synthétisent de l'acide abscissique (ABA). Cet ABA migre par voie hormonale vers les feuilles où il déclenche la fermeture des stomates avant la déshydratation des tissus foliaires. D'où l'hypothèse selon laquelle les racines détecteraient le stress hydrique du sol lorsque la RUR est égale à 64 %.



**Figure 12** : Relation entre la conductance stomatique mesurée à 13 h et la réserve utile racinaire.

La  $G_{s13h}$  est nulle lorsque la RUR est inférieure à 44 % (phase 3). Une RUR de 44 % correspond au seuil de fermeture complète des stomates. Ceci est en accord avec les résultats d'Allen et *al.* (1976). Ils ont montré que l'arachide fermait ses stomates quand la majeure partie de l'eau disponible est absorbée.

La régulation stomatique qui est un mécanisme d'évitement du stress hydrique s'est exprimée pour des RUR comprises entre 64 % et 44 %.

#### 4) DISCUSSION GENERALE.

Le mécanisme de régulation stomatique permet à la culture de réduire sa transpiration. En effet la transpiration se fait essentiellement à travers les stomates. Cette réduction permet à la culture d'ajuster sa transpiration par rapport à son absorption et de maintenir ainsi un bilan hydrique équilibré (transpiration = absorption). Un bilan hydrique équilibré correspond à un taux d'hydratation élevé et se traduit au niveau foliaire par un CRE et un  $\Psi_h$  élevés. Afin de préciser l'efficacité de la régulation stomatique, il est nécessaire d'analyser la courbe illustrant la relation entre la Gs et la RUR en tenant compte de l'évolution de l'état hydrique de la culture. L'exploitation de la figure 13 confrontant les relations RUR-Gs<sub>13h</sub> (figure 13A), RUR- $\Psi_h$ <sub>13h</sub> (figure 13B) et RUR-CRE<sub>13h</sub> (figure 13C) devrait permettre de déterminer la plage d'efficacité de ce mécanisme et d'émettre des hypothèses sur la nature des autres mécanismes d'adaptation mis en œuvre au cours de cette sécheresse. La figure 13 peut être subdivisée en quatre phases numérotées de 1 à 4.

La phase 1 (RUR  $\geq 64$  %) est caractérisée par un état hydrique satisfaisant (CRE<sub>13h</sub> et  $\Psi_h$ <sub>13h</sub> élevés) et une Gs élevée. Le taux d'hydratation élevé de la culture montre qu'elle n'est pas en état de stress hydrique. Son absorption permet de satisfaire entièrement la demande transpiratoire.

Lorsque la RUR est comprise entre 64 % et 50 % (phase 2), la Gs diminue alors que le CRE<sub>13h</sub> et le  $\Psi_h$ <sub>13h</sub> sont élevés. Le taux d'hydratation élevé correspond à un bilan hydrique équilibré. L'absorption racinaire compense les pertes d'eau par transpiration de la culture. En réduisant le degré d'ouverture des stomates, la culture ajuste sa transpiration par rapport à son absorption racinaire. La régulation stomatique est efficace durant cette période où la culture est soumise au stress hydrique du sol.

Pendant la phase 3 (50 %  $\geq$  RUR > 44 %), la GS diminue pour atteindre des valeurs très basses. En même temps le CRE<sub>13h</sub> reste élevé et le  $\Psi_h$ <sub>13h</sub> diminue. La réduction des pertes en eau est moins efficace puisqu'elle ne permet pas d'éviter la diminution du  $\Psi_h$ <sub>13h</sub>. La culture entre en état de stress hydrique quand la RUR est égale à 50 %. Cependant le contenu relatif en eau est maintenu élevé probablement par l'absorption racinaire.

Quand la RUR est inférieure à 44 % (phase 4), la Gs est nulle, le CRE<sub>13h</sub> et le  $\Psi_h$ <sub>13h</sub> diminuent. La culture se déshydrate progressivement probablement du fait de la transpiration cuticulaire et de la transpiration qui a lieu au moment de l'ouverture des stomates en début de journée. Elle est en état de déshydratation. Seuls les mécanismes de tolérance à la déshydratation peuvent jouer un rôle important durant cette période.

Une RUR de 44 % marque le début de la fermeture complète des stomates sur un sol de type dior-deck durant la phase de formation et de remplissage des gousses. Elle est atteinte au 67<sup>ème</sup> jas (9<sup>ème</sup> jds) au cours de cet essai (figure 5B). Les plantes soumises au stress hydrique présentent une production de matière sèche semblable à celle du traitement témoin jusqu'au 80<sup>ème</sup> jas (22<sup>ème</sup> jds tableau 2). Cependant leurs rendements sont inférieurs (tableau 3). Le remplissage des gousses s'est donc poursuivi correctement après la fermeture complète des stomates à 13 h. Cette poursuite peut être expliquée par une activité photosynthétique de la culture lorsque les stomates sont ouverts durant les premières heures de la journée et par une mobilisation des réserves des feuilles, des tiges ou des racines vers les gousses. La fermeture complète des stomates à

10 h qui intervient 6 jours après celle de 13 h confirme la première hypothèse (figure 11)

Les écarts significatifs sur les rendements des traitements pluvial et stressé par rapport au traitement témoin sont apparus pendant les 10 derniers jours du cycle. Durant cette période de remplissage des gousses la diminution de la RUR s'est accompagnée probablement d'une réduction de la production de matière sèche. Au 80<sup>ème</sup> jas la RUR est égale à 31 %. Cette valeur marque probablement le début de manifestation des effets négatifs du stress hydrique sur le remplissage des gousses.

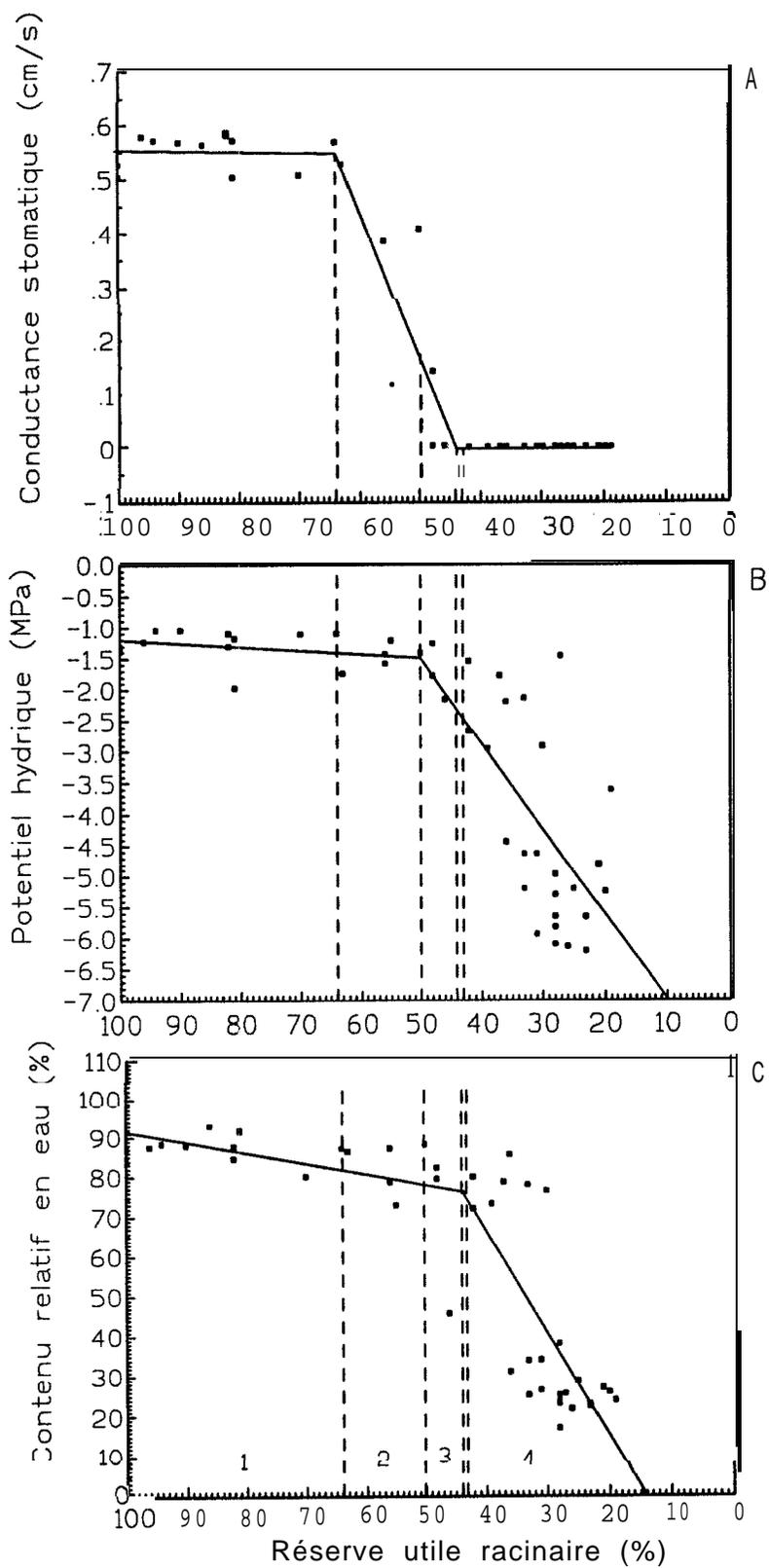


Figure 13 Relation entre la conductance stomatique (A), le potentiel hydrique (B), le contenu relatif en eau (C) mesurés à 13 h et la réserve utile racinaire

## 5) CONCLUSION ET PERSPECTIVES.

Lors de cette expérimentation l'effet d'un déficit hydrique de fin de cycle sur l'état hydrique et le fonctionnement de la variété 55-437 a été étudié. Il s'agissait de mettre en relation l'état hydrique du sol (RUR) avec l'état hydrique et la réaction stomatique de cette variété. Cette approche a permis au laboratoire d'obtenir ses premiers résultats dans ce domaine.

Les principaux mécanismes utilisés par la variété 55-437 pour éviter la déshydratation et maintenir un bilan hydrique équilibré sont l'amélioration de l'absorption racinaire et la régulation stomatique. L'absorption racinaire est efficace pour des valeurs de RUR supérieures à 64 %. La culture est soumise au stress hydrique du sol à partir de cette valeur. La régulation stomatique permet d'éviter le stress hydrique du sol quand la RUR est comprise entre 64 % et 50 %. Sa plage d'efficacité représente 14 % de la réserve utile maximale. Elle est égale à 17 mm pour un sol dior-deck dont la réserve utile maximale est de 120 mm sur 100 cm de profondeur. L'ETR est égale à 2,5 mm/j en moyenne durant cette période. La régulation stomatique peut donc contribuer à assurer un bilan hydrique équilibré pendant 7 jours. L'acide abscissique (ABA) intervient dans le déclenchement du processus de fermeture des stomates. Le suivi des teneurs en acide abscissique des racines et des feuilles en relation avec l'état hydrique du sol peut permettre de mieux comprendre le rôle de l'ABA dans le contrôle des pertes en eau chez l'arachide.

La culture entre en état de stress hydrique quand la RUR est de 50 % mais elle ne ferme complètement ses stomates qu'à 44 % de RUR. Le stress hydrique affecte le remplissage des gousses à partir de 31 % de RUR. Les mécanismes d'adaptation à la sécheresse sont donc efficaces pour des RUR comprises entre 64 % et 31 %. L'efficacité de l'évitement s'exprime jusqu'à 50 % de RUR et celle de la tolérance jusqu'à 31 % de RUR.

L'entrée en état de stress hydrique de la plante ne s'accompagne pas immédiatement d'une diminution de la production de matière sèche même après la fermeture complète des stomates. Le décalage entre la fermeture complète des stomates et le début de manifestation du stress hydrique imposée par le sol sur la production de matière sèche rend compte de la poursuite du remplissage des gousses. La matière sèche utilisée peut provenir de la photosynthèse qui a lieu durant les premières heures de la matinée et de la mobilisation des réserves. Le suivi de la conductance stomatique, des échanges gazeux et de l'état hydrique de la culture pendant ces heures peut apporter une meilleure précision à la caractérisation de l'état hydrique du sol correspondant à la diminution puis à l'arrêt de la photosynthèse. Ces informations pourront être utilisées par des modèles de simulation de la production tel qu'ARABHY.

Les résultats de cette expérimentation concernent une variété précise à une phase bien définie de son cycle de développement. Ils ne peuvent pas être extrapolés a priori aux autres phases de développement et aux autres variétés surtout de cycle différent. L'étude doit être faite pour chacune des phases de développement des différentes variétés actuellement vulgarisées au Sénégal.

La même approche (relation sol-plante-atmosphère) peut permettre de délimiter les plages d'efficacité des différents mécanismes d'adaptation à la sécheresse et d'apprécier l'importance relative de chaque mécanisme d'adaptation mis en évidence chez une variété donnée à une période précise de son cycle de développement. Les résultats pourront être utilisés pour réévaluer les différentes variétés vulgarisées.

Lorsque l'ETR diminue, le taux de satisfaction en eau (Tsat) qui est égal au rapport ETR/ETM, diminue. Ce taux est un indicateur de l'état d'alimentation hydrique d'une culture. Il est utilisé dans le modèle ARABHY pour déterminer les périodes de stress hydrique. Pour le modèle la culture est en état de stress hydrique quand Tsat est inférieur à 0,7. Cet essai a permis de montrer que l'effet du stress hydrique sur la production débute en réalité quand la RUR est égale à 31 %. Ce seuil a été utilisé comme indicateur de stress du modèle sur la variété 55-437 cultivée sur un sol dior-deck pendant l'hivernage 1993 (tableau 5). La comparaison des résultats de simulation suivant que le modèle utilise  $T_{sat} = 0,7$  ou  $RUR = 31 \%$  montre que le dernier indicateur détecte le stress plus précocement. Le stress débute au 71<sup>ème</sup> jas au lieu du 77<sup>ème</sup> jas. Le nouvel indicateur de stress apporte une précision de 7 jours. Cela signifie qu'une précision supplémentaire peut probablement être apportée à la simulation des effets de la sécheresse sur les rendements.

**Tableau 5** : comparaison de deux indicateurs de stress durant l'hivernage 1993.

Jas	RUR sim (%)	Tsat	Etalhy Tsat	Etalhy RUR
59	69	1,00	0	0
60	65	1,00	0	0
61	62	1,00	0	0
62	58	1,00	0	0
63	55	1,00	0	0
64	52	1,00	0	0
65	49	1,00	0	0
66	46	1,00	0	0
67	42	1,00	0	0
68	39	1,00	0	0
69	36	1,00	0	0
70	33	1,00	0	0
71	30	1,00	0	-1
72	27	1,00	0	-1
73	24	1,00	0	-1
74	20	1,00	0	-1
75	17	1,00	0	-1
76	14	0,88	0	-1
77	13	0,19	-1	-1
78	13	0,04	-1	-1
79	13	0,01	-1	-1
80	13	0,00	-1	-1
81	13	0,00	-1	-1
82	13	0,00	-1	-1
83		0,00	-1	-1
84	13	0,00	-1	-1
85	13	0,00	-1	-1
86	13	0,00	-1	-1
87	13	0,00	-1	-1
88	13	0,00	-1	-1
89	13	0,00	-1	-1
90	13	0,00	-1	-1

Jas : nombre de jours après semis.

RUR : réserve utile racinaire.

Tsat : taux de satisfaction en eau (ETR/ETM).

Etalhy tsat : état d'alimentation hydrique déterminé en utilisant tsat égal à 0 '7 comme indicateur de stress hydrique.

Etalhy RUR : état d'alimentation hydrique déterminé en utilisant la RUR égale à 31 % comme indicateur de stress hydrique.

0 : période sans stress hydrique.

-1 : période de stress hydrique.

## 6) BIBLIOGRAPHIE.

- ACKERSON R.C. and R.R. HEBERT. 1981.** Osmoregulation in cotton in response to water stress. I. Alterations in photosynthesis, leaf conductance, translocation, and ultrastructure. *PLANT PHYSIOLOGY*, 67, pages 484-488.
- ALLEN L.H., BOOTE K J and L.C. HAMMOND, 1976.** Peanut stomatal diffusion resistance affected by soil water and solar radiation. *SOIL AND CROP SCIENCE SOCIETY OF FLORIDA*. 35, pages 42-46.
- ANNEROSE D.J.M. 1985.** Réponses d'une variété d'arachide soumise à des sécheresses d'intensité croissante durant différentes phases de son cycle. *DOC. CNRA de Bambey*, 40 pages.
- ANNEROSE D.J.M. 1988.** Critères physiologiques pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. *OLEAGINEUX*, vol. 43, n°5, pages 218-222.
- ANNEROSE D.J.M. et M. DIAGNE. 1990.** Caractérisation de la sécheresse agronomique en zone semi-aride. I. Présentation d'un modèle simple d'évaluation appliqué au cas de l'arachide cultivée au Sénégal. *OLEAGINEUX*, vol. 45, n°12, pages 547-554.
- ANNEROSE D.J.M. 1990.** Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogaea*) cultivée au Sénégal. Thèse. Université de Paris VII. 282 pages.
- ANNEROSE D.J.M. 1991.** Caractérisation de la sécheresse agronomique en zone semi-aride. II. Evaluation des formes de sécheresse agronomique de l'arachide au Sénégal par la simulation du bilan hydrique de la culture. *OLEAGINEUX*, vol. 46, n°2, pages 61-65.
- BARET F.1980.** Caractérisation hydrodynamique d'un sol de la région de NIORO DU RIP. *DOC. C.N.R.A. de Bambey*. 8 pages.
- BARET F. et M. BEYE 1980.** Caractérisation hydrodynamique d'un sol de la région de Bambey. *DOC. C.N.R.A. de Bambey*. 26 pages.
- BATES L.M. and A.E. HALL.1981.** Stomatal closure with soil water depletion not associated with changes in bulk leaf water status. *CECOLOGIA*, 50, pages 62-65.
- BIDINGER F.R., MAHALAKSHMI V. and G.D.P. RAO. 1987.** Assesement of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L) Leeke). I. Factors affecting yield under stress. *AUSTR. J. AGRIC. RES.*, 38, pages 37-48.
- BOOTE K.J. and D.L. KETRING. 1990.** Peanut. in B.A. Stewart and Nielson (eds.) *Irrigation of AGRICULTURAL CROPS. AGRON. MONOGR.* 30. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, pages 675-717.
- CHOPART J.L. 1980.** Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide, mil, sorgho, riz pluvial). Thèse Institut National Polytechnique de Toulouse. 204 pages.

- CORNISH K. and J.A.D. ZEEVAART. 1985.** Abscisic acid accumulation by roots of *Xanthium strumarium* L and *Lycopersicum esculentum* Mile, in relation to water stress. PLANT PHYSIOLOGY, 79, pages 653-658
- DANCETTE C. and A.E.. HALL. 1979.** Agroclimatology applied to management in the soudanian and sahelian zones of Africa. In "AGRICULTURE IN SEMI-ARID ENVIRONMENTS". Ecological studies, 34, Hall A.E., Cannell G.M. and Lawton A.W. (eds) Berlin Heidelberg New-York, pages 98-118.
- DAVIES W.J., METCALFE J., LODGE T.A. and A.R. DA COSTA. 1986.** Plant growth substances and the regulation of growth under drought. AUSTRALIAN JOURNAL PLANT PHYSIOLOGY, 13, pages 105-125
- GILLIER P. et P. SILVESTRE. 1969.** L'arachide. Maisonneuve et Larose (eds). 292 pages.
- GOLLAN T., TURNER N.C. and E.D. SCHULZE. 1985.** The responses of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. III. In the sclerophyllous woody species *Nerium oleander*. CECOLOGIA, 65, pages 356-362.
- HUBER S.C., ROGERS H.H. and F.L. MOWRY. 1984.** Effects of water stress on photosynthesis and carbon partitioning in soybean (*Glycine max* (L) Merr.) plants grown in the field at different CO<sub>2</sub> levels. PLANT PHYSIOLOGY, 76 pages 244-249.
- KETRING D.L. and J.L. REID. 1993.** Growth of peanut roots under field conditions AGRONOMY JOURNAL, 25, pages 80-85.
- KHALFAOUI J.L.B. et D.J.M. ANNEROSE. 1987.** Création variétale d'arachide adaptée aux contraintes pluviométriques des zones semi-arides In "Actes du symposium : Agrométéorologie de l'arachide" ICRISAT, OMN, FAO, Août 1988 Niamey Pages 127-134.
- KRIEDEMANN P.E., LOVEYS B.R. and A.C. LEOPOLD. 1972.** Abscisic acid and stomatal regulation PLANT PHYSIOLOGY, 49, pages 842-847.
- LACHNO D.R. and D.A. BAKER. 1986.** Stress induction of abscisic acid in maize roots. PHYSIOLOGIA PLANTARUM, 67, pages 215-221.
- LANG A.R. G. 1967.** Osmotic coefficients and water potentials of sodium chloride solutions from 0 to 40°C. AUSTR. J. CHEM, 20, pages 2017-2023.
- LOUKOUBAR T. 1990.** Modélisation du développement de l'arachide (*Arachis hypogaea* Lin) au Sénégal. Mémoire de fin d'études, Institut National de Développement Rural (INDR) de Thies. 44 pages.
- MATHIEU C.P.L. 1990.** Contribution à la modélisation de la croissance de l'arachide au Sénégal (*Arachis hypogaea* Lin). Mémoire de fin d'études! Ecole Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles Dijon - Quetigny. 46 pages.
- PASSIOURA J.B. 1982,** The role of root system characteristics in the drought resistance of crop plants. In "Drought resistance in crops with emphasis on rice" IRRI (eds), pages 71-82.
- PHAM THI A.T. 1976.** Quelques aspects de l'influence de la carence hydrique sur la photosynthèse la photorespiration et la respiration obscure chez deux espèces

de cotonnier l'une résistante à la sécheresse, l'autre sensible. Thèse de Doctorat d'Etat. Université Paris VII.

- PREVOT P et M. OLLAGNIER. 1957.** Le problème de l'eau dans l'arachide. *OLEAGINEUX*, 4, pages 215-233.
- PURSEGLOVE J.W. 1987,** Tropical crops dicotyledons. Longman Scientific and Technological (eds). 719 pages.
- RAO R.C., SINGH S., SIVAKUMAR M.V.K., SRISTAVA K.L. and J.H. WILLIAMS. 1985.** Effect of water deficit at different growth phases of peanut. I. Yield responses. *AGRONOMY JOURNAL*, 77, pages 782-786.
- ROSENTHAL W.D., ARKIN G.F., SHOUSE P.J. and W.R. JORDAN. 1987.** Water deficit effects on transpiration and leaf growth. *AGRONOMY JOURNAL*, 79, pages 1 019-1 020.
- SCHURR U., GOLLAN T. and E.D. SCHULZE. 1992.** Stomatal response to drying soil in relation to changes in the xylem sap composition of *Helianthus annuus*. II. Stomatal sensitivity to abscisic acid imported from the xylem sap. *PLANT, CELL AND ENVIRONMENT*, 15, pages 561-567.
- STANSELL J.R. and JR J.E. PALLAS. 1985.** Yield and quality response of Florunner peanut to applied drought at several growth stages. *PEANUT SCIENCE*, 12, pages 64-70.
- TARDIEU F and D.J. WILLIAM. 1992 a.** Stomatal response to abscisic acid is a function of current plant water status. *PLANT PHYSIOLOGY*, 98, pages 540-545.
- TARDIEU F., ZHANG J. and W.J. DAVIES. 1992 b.** What information is conveyed by an Aba signal from roots in drying field soil? *PLANT, CELL AND ENVIRONMENT*, 15, pages 185-1 91.
- TURNER N.C. 1974** Stomatal response to light and water under under field conditions. In : R.I. Bielecki, A.R. Fergusson and M.M. Cresswell (eds), *MECANISMS OF REGULATION OF PLANT GROWTH*. BULL. R. SOC. N.Z., 12, pages 423-432.
- TURNER N.C., SCHULZE E.D. and T. GOLLAN. 1985.** The response of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. II. In the mesophytic herbaceous species *Helianthus annuus*. *CECOLOGIA*, 50, pages 62-65.
- TURNER N.C. 1986.** Adaptation to water deficits a changing perspective. *AUST. J. PLANT PHYSIOLOGY*, 13, pages 175-1 90.
- VIEIRA DA SILVA J.B. 1976.** Water stress, ultrastructure and enzymatic activity. In "water and plant life : problems and modern approaches " Lange O.L., Kappen I. and Schulze E.D. (eds) Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. *Ecological Studies*, 19, pages 207-224.
- ZHANG J., SCHURR U. and W.J. DAVIES. 1987.** Control of stomatal behaviour by abscisic acid which apparently originates in the roots. *J. EXP. BOT.*, 38, pages 1174-1181.

## LISTE DES ABREVIATIONS.

ABA	Acide abscissique.
ARABHY	ARAchide Bilan HYdrique.
C.B.C.	Captafol, Bénomyl, Carbofuran.
C.D.H.	Centre de Développement pour l'Horticulture.
cm	Centimètre.
cm <sup>2</sup>	Centimètre carré.
C.N.R.A.	Centre National de Recherches Agronomiques.
CRE	Contenu Relatif en Eau (%).
CRE <sub>7h</sub>	Contenu Relatif en Eau mesuré à 7 h (%).
CRE <sub>13h</sub>	Contenu Relatif en Eau mesuré à 13 h (%).
ddp	Différence De Potentiel (microvolts).
Eéch	Pression de vapeur de l'échantillon (kg/m <sup>3</sup> ).
E.N.S.A.	Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture.
Esat	Pression de vapeur saturante de l'air à la température ambiante (kg/m <sup>3</sup> ).
ETM	EvapoTranspiration Maximale (mm).
ETR	EvapoTranspiration Réelle (mm).
g	Gramme.
GS	Conductance stomatique (cm/s).
GS <sub>10h</sub>	Conductance stomatique mesurée à 10 h (cm/s).
GS <sub>13h</sub>	Conductance stomatique mesurée à 13 h (cm/s).
GS <sub>15h</sub>	Conductance stomatique mesurée à 15 h (cm/s).
h	Heure.
ha	Hectare.
HR	Humidité Relative de l'air (%).
HV	Humidité Volumique (%).
I.R.A.T.	Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des cultures vivrières.

J	Joule.
jas	Jour Après Semis.
jds	Jour De Sécheresse.
Kg	Kilogramme.
Ln	Logarithme Népérien.
m	Mètre.
mm	Millimètre.
<b>MPa</b>	Mégapascal (10 bars).
<b>m<sup>2</sup></b>	mètre carré.
<b>NaCl</b>	Chlorure de sodium.
nm	nanomètre.
ns	Non Significatif.
P	Pluviométrie.
PAR	Rayonnement photosynthétiquement actif (joules/cm <sup>2</sup> ).
PF	Poids Frais (g).
P.N.V.A.	Programme National de Vulgarisation Agricole.
PS	Poids Sec (g).
PT	Poids Turgescant (g).
R	Constante des gaz parfaits (8.32 joules/mole/°K).
RS	Résistance Stomatique (s/cm).
RUR	Réserve Utile de la zone d'extraction Racinaire (%).
RURm	Réserve Utile Maximale de la zone d'extraction Racinaire (mm).
r <sup>2</sup>	Coefficient de détermination.
S	Stock en eau (mm).
s	seconde.
t	Température en degré Celsius (°C).
T	Température en degré Kelvin ("k).
Tsat	Taux de SATisfaction en eau d'une culture
Ψh	Potentiel hydrique (MPa).

$\Psi_{7h}$	Potentiel hydrique mesuré à 7 h (MPa).
$\Psi_{13h}$	Potentiel hydrique mesuré à 13 h (MPa).
$\Psi_0$	Potentiel osmotique (bars).
%	Pourcent.
x	Multiplié par.
+	Additionné de.
-	Retranché de
=	Egal à.
$\leq$	Inférieur ou égal à.
$>$	Supérieur à.
$<$	Inférieur à.
/	par ou divisé par.
**	Hautement significatif ( $\alpha = 0.01$ ).
*	Significatif ( $\alpha = 0.05$ ).
°	Degré
°C	Degré Celsius.

## LEXIQUE.

<b>Adaptation</b>	modifications morphologiques ou physiologiques apparaissant sur un être vivant en réponse à des variations des conditions du milieu.
<b>Absorption hydrique</b>	pénétration d'eau du milieu extérieur dans un milieu inerte ou vivant.
<b>Bigraine</b>	gousse contenant deux graines.
<b>Bilan hydrique</b>	résultante des apports et des pertes en eau calculée sur une période déterminée d'un système vivant (animal, végétal) ou d'un volume de sol.
<b>Bioclimatologie</b>	branche de l'écologie qui étudie les relations entre les êtres vivants et les caractéristiques physiques du milieu ambiant.
<b>Capacité au champ</b>	teneur maximale en eau d'une couche de sol après trois jours de ressuyage.
<b>Conductance stomatique</b>	inverse de la résistance stomatique.
<b>Contenu relatif en eau</b>	teneur en eau par rapport à la turgescence (teneur maximale)
<b>Déficit hydrique</b>	différence entre la quantité maximale d'eau que peut contenir un sol, une plante, ou l'air et la quantité réelle à un instant donné dans un même volume ou pour une même masse.
<b>Déshydratation</b>	perte d'eau d'un corps humide (sol, tissu organique, végétal, matière hydratée).
<b>Développement</b>	ensemble de manifestations morphologiques et physiologiques successives d'un organisme au cours de sa vie. Il comprend la croissance (augmentation des dimensions) et la différenciation (acquisition de propriétés nouvelles, morphologiques et fonctionnelles).
<b>Dormance</b>	état d'inaptitude interne à la vie active d'une graine ou d'un organe végétal même si les conditions externes sont favorables à la croissance, par suite de l'action d'inhibiteurs.
<b>Durée d'insolation</b>	durée pendant laquelle l'intensité du rayonnement solaire est suffisante ( $2\ 120\ \text{w/m}^2$ ) pour impressionner un capteur d'héliographe.
<b>Eclairement</b>	flux lumineux reçu par unité de surface.

<b>Eclairement photosynthétiquement actif (PAR)</b>	éclairage photonique dans la gamme de longueur d'onde 350-750 nanomètres
<b>Enracinement</b>	développement et/ou répartition des racines dans le sol.
<b>Evaporation</b>	émission de vapeurs d'eau par une surface liquide ou un milieu humide à une température inférieure au point d'ébullition.
<b>Evapotranspiration</b>	quantité globale d'eau évaporée par le sol nu et transpirée par les plantes.
<b>Evapotranspiration réelle ETR</b>	quantité d'eau évapotranspirée par une culture. durant un intervalle de temps en conditions hydriques de sol quelconques et dans les conditions climatiques habituelles.
<b>Evapotranspiration réelle maximale ETM</b>	quantité d'eau évapotranspirée par une culture durant un intervalle de temps en conditions hydriques de sol optimales et dans les conditions climatiques habituelles.
<b>Flétrissement</b>	ramollissement et rétraction d'un organe végétal par manque d'eau.
<b>Gousse</b>	fruit sans paroi médiane s'ouvrant à maturité par deux valves.
<b>Graine</b>	organe résultant chez les phanérogames du développement et de la maturation de l'ovule après fécondation et renfermant l'embryon.
<b>Hivernage</b>	saison des pluies dans certaines régions tropicales.
<b>Humidité pondérale du sol</b>	rapport de la masse d'eau contenue dans le sol sur la masse de terre sèche.
<b>Humidité volumique du sol</b>	rapport du volume d'eau contenu dans le sol sur le volume apparent de terre (terre + espace poreux).
<b>Hormone</b>	substance chimique élaborée par une glande endocrine qui agit à faible dose et de façon spécifique sur un processus physiologique.
<b>Inflorescence</b>	ensemble des fleurs groupées autour d'un même rameau principal et leur mode de groupement.
<b>Irrigation par aspersion</b>	méthode d'irrigation qui consiste à imiter l'apport d'eau naturel par la pluie en projetant l'eau sur la parcelle au moyen d'appareils appelés asperseurs.

<b>Isohyète</b>	ligne d'égale valeur <b>de</b> la hauteur des pluies tracée sur une carte géographique.
<b>Logiciel</b>	ensemble des travaux de logique, d'analyse, de programmation, nécessaires au fonctionnement d'un ensemble de traitement de l'information.
<b>Maturité</b>	état d'un fruit mûr ou d'une graine qui a atteint son plein développement.
<b>Modèle</b>	représentation d'un phénomène physique, chimique, biologique, social ou économique réalisée dans le but de l'étudier plus facilement.
<b>Monograine</b>	gousse contenant une graine.
<b>Photosynthèse</b>	création de matière organique par les végétaux contenant de la chlorophylle à partir de l'énergie lumineuse du soleil, l'eau du sol et le gaz carbonique de l'air.
<b>Physiologie</b>	étude des fonctions des organismes vivants (reproduction, respiration, photosynthèse végétale et digestion animale.).
<b>Pluviosité</b>	quantité de pluies reçue en un lieu donné durant une période déterminée.
<b>Point de flétrissement permanent</b>	humidité critique du sol à laquelle la plante se fane irréversiblement.
<b>Potentiel hydrique</b>	Travail à exercer sur l'unité de masse d'eau pour la faire passer d'un état de référence (eau libre) à l'état de liaison qu'elle a dans un système considéré (sol, organisme vivant ou mort).
<b>Potentiel osmotique</b>	force d'affinité de l'eau pour les molécules dissoutes.
<b>Potentiel de turgescence</b>	pression hydrostatique sur la paroi élastique de la cellule.
<b>Profil hydrique</b>	répartition verticale de la teneur en eau d'un sol en fonction de la profondeur.
<b>Profondeur d'extraction racinaire</b>	la profondeur maximale à laquelle une plante absorbe de l'eau à un moment donné.
<b>Rayonnement global</b>	ensemble des rayonnements solaires direct et diffus reçus par une surface horizontale donnée.
<b>Régulation stomatique</b>	contrôle de l'ouverture des stomates par la plante en fonction des conditions du milieu extérieur (lumière, température, teneur en CO <sub>2</sub> ) et de son état hydrique.

<b>Réserve utile</b>	Quantité d'eau d'un sol disponible pour la plante qui correspond à la différence entre la quantité d'eau à la capacité au champ et la quantité d'eau au point de flétrissement permanent.
<b>Réserve utile racinaire</b>	quantité d'eau disponible pour la plante sur la profondeur d'extraction racinaire.
<b>Réserve utile racinaire maximale</b>	réserve utile racinaire quand le sol est à la capacité au champ.
<b>Résistance</b>	capacité de s'opposer aux effets d'une contrainte
<b>Résistance stomatique</b>	résistance à la diffusion <b>de</b> la vapeur d'eau des stomates vers l'atmosphère. Exprimée en s/cm elle correspond au temps mis par la vapeur d'eau à parcourir le segment stomatique.
<b>Sécheresse</b>	déficit hydrique par rapport à un état normal ou maximal.
<b>Stomate</b>	dispositif anatomique de l'épiderme végétal constitué de deux cellules dites de garde qui laissent entre elles un orifice appelé l'ostiole.
<b>Stress hydrique</b>	contrainte relative à l'eau.
<b>Sunfleck</b>	surfaces claires sous un couvert végétal qui reçoivent la radiation solaire directe
<b>Surface foliaire</b>	surface de l'ensemble des feuilles d'un couvert végétal.
<b>Système racinaire pivotant</b>	système racinaire possédant une forte racine principale.
<b>Température</b>	grandeur intensive traduisant la sensation de froid ou de chaud par rapport à l'homme.
<b>Tolérance</b>	capacité pour une plante de supporter une contrainte sans perte de vigueur ou sans réduction de la récolte.
<b>Transpiration</b>	chez les végétaux c'est l'émission d'eau sous forme de vapeurs à travers les stomates et la cuticule.
<b>Turgescence</b>	état normal d'une cellule bien alimentée en eau dont le contenu de la vacuole fait pression sur la paroi cellulaire.

## LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

### Figures

- Figure 1 Plan de l'essai.
- Figure 2 Parcelle n°1 stocks en eau au stade végétatif.
- Figure 3 Conditions climatiques de l'hivernage : température (A), insolation (B), humidité relative (C), rayonnement global (D) et évaporation bac classe A (E).
- Figure 4 Evolution de la profondeur d'extraction racinaire.
- Figure 5 Evolution de la réserve utile racinaire exprimée en mm (A) et en % (B).
- Figure 6 Evolution de l'évapotranspiration réelle journalière (A), cumulée (B) et relation entre l'évapotranspiration réelle journalière et la réserve utile racinaire (C).
- Figure 7 Evolution du recouvrement du sol.
- Figure 8 Evolution du contenu relatif en eau mesuré à 7 h (A) et à 13 h (C) et relation entre la réserve utile racinaire et le contenu relatif en eau mesuré à 7 h (B) et à 13 h (D).
- Figure 9 Evolution du potentiel hydrique foliaire mesuré à 7 h (A) et à 13 h (C) et relation entre la réserve utile racinaire et le potentiel hydrique foliaire mesuré à 7 h (B) et à 13 h (D).
- Figure 10 Suivi journalier de la conductance stomatique foliaire 2 (A), 9 (B), 25 (C) et 31 (D) jours de sécheresse.
- Figure 11 Evolution de la conductance stomatique foliaire mesurée à 10 h (A), 13 h (B) et 15 h (C).
- Figure 12 Relation entre la conductance stomatique mesurée à 13 h et la réserve utile racinaire.
- Figure 13 Relation entre la conductance stomatique, le potentiel hydrique, le contenu relatif en eau mesurés à 13 h et la réserve utile racinaire.

## **Tableaux**

Tableau 1	Quantités d'eau reçues par traitement.
Tableau 2	Suivi du développement de la culture.
Tableau 3	Analyse de récolte.
Tableau 4	Analyse de maturité.
Tableau 5	Comparaison de deux indicateurs de stress durant l'hivernage 1993.