



Estimation de la biomasse racinaire en fonction de la teneur en eau du sol chez les espèces sahéliennes : cas d'*Acacia tortilis* (Forsk.) Hayne ssp. *raddiana* (Savi) Brenand et de *Balanites aegyptiaca* (L) Del, en station et en milieu naturel

Jhonn LOGBO¹, Fidèle BADA², Léopold Simplicie GNANCADJA³, Thierry AMEGLIO⁴ et Léonard Elie AKPO⁵

¹Ecole Nationale Supérieure des Sciences et Techniques Agronomiques de Kétou ENSTA / Université d'Abomey-Calavi, BP: 95 Kétou, Bénin.

²Département de Biologie végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP : 4521 Cotonou, Bénin

³Département de Biologie végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP : 4521 Cotonou, Bénin

⁴INRA, UMR, PIAF, 234 avenue du Brèzet, Domaine de Crouël, 63039 Clermont-Ferrand Cedex 02, France

⁵Département de Biologie végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta DIOP, BP 5005 Fann-Dakar (Sénégal)

*Auteur correspondant ; E-mail : jhonn_logbo@hotmail.fr; Tél: 00 (229) 96-66-21-90

RESUME

Les écosystèmes sahéliens subissent une forte dégradation. Les problèmes majeurs auxquels sont confrontés les arbres de ces milieux demeurent l'alimentation en eau. Les systèmes racinaires de jeunes plants d'*Acacia tortilis* et de *Balanites aegyptiaca* sont étudiés par une évaluation des biomasses racinaires à partir d'échantillonnages destructifs en condition réelle et en station. La méthode d'excavation est utilisée en saison sèche chaude (SSC), en saison pluvieuse (SP) et en saison sèche fraîche (SSF). Les biomasses racinaires augmentent de la saison sèche chaude à la saison sèche fraîche. Les taux d'humidités du sol sont élevés dans les couches de surface en station et dans les couches profondes en milieu naturel. En station, les rapports PH/PE (phytomasse hypogée/phytomasse épigée) sont supérieurs à 1 chez *A. tortilis* en SSC et en SSF et inférieurs à 1 en SP. Chez *B. aegyptiaca*, les rapports PH/PE sont inférieurs à 1 pour les trois saisons. En milieu naturel, les rapports (PH/PE) sont supérieurs à 1 chez les deux espèces. Les proportions des biomasses racinaires par rapport aux biomasses totales sont élevées en milieu naturel contrairement aux proportions observées en station. Le rapport PH/PT (phytomasse hypogée/phytomasse totale) augmente en fonction des saisons. La compréhension des biomasses racinaires des espèces permet d'établir de solides connaissances sur les espèces autochtones en vue de leur promotion dans les travaux d'aménagement et de réhabilitation des écosystèmes dégradés.

© 2011 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Excavation, Biomasse, Taux d'humidité, *Acacia tortilis*, *Balanites aegyptiaca*

INTRODUCTION

Les arbres des écosystèmes sahéliens jouent un rôle essentiel dans le maintien de la

fertilité des sols et sont également source de résilience. Dans l'utilisation de l'eau, de nombreuses interactions favorisent soit les

© 2011 International Formulae Group. All rights reserved.

relations de complémentarité entre les individus de la même espèce ou d'espèces différentes, soit entraînent des relations de compétition interspécifique (Caldwell, 1987). Alors que la complémentarité favorise l'expression des potentialités de l'espèce, la compétition provoque des contraintes pour l'utilisation différentielle de la ressource. Les arbres sont confrontés à l'alimentation en eau, à la disponibilité des éléments nutritifs et au volume de sol explorable (Logbo et al., 2006). L'évaluation de la biomasse des arbres est importante dans la détermination de la productivité des écosystèmes (Le Goff et Ottorini, 2001 ; Richardson et zu Dohna, 2003 ; Claus et George, 2005). Des travaux sur la biomasse des arbres sont notés dans plusieurs écosystèmes (John et al., 2001 ; Helmissaari et al., 2002) dont les milieux arides (Groot et al., 1998). Les études sur les biomasses aériennes sont plus importantes (Ritson et Sochacki, 2003). La biomasse racinaire des ligneux sahéliens adultes a fait l'objet d'étude au Sénégal (Poupon, 1980) ; au Cameroun (Seghieri, 1990) ; au Mali (Groot et al., 1998). Ces études consistent en une description macromorphologique des racines et ne tiennent pas compte d'une quantité suffisante de racines fines permettant d'obtenir des données fonctionnellement pertinentes et statistiquement fiables (Konopka et al., 2006). La connaissance de la biomasse racinaire est donc essentielle pour comprendre les mécanismes d'adaptation des plantes en situation de contraintes hydriques. Cette étude porte sur *Acacia tortilis* et *Balanites aegyptiaca* qui sont des espèces socio économiquement non négligeables (fourniture de bois d'œuvre, bois de feu, fourrage d'appoint pour le bétail en période de soudure). Ces espèces fixent l'azote grâce aux symbioses multiples (Ducousso et al., 1991) ; les sols par leur système racinaire et participent à la lutte contre l'érosion des sols grâce à leur couvert (Akpo, 1996). L'objectif de l'étude est de quantifier les biomasses racinaires au cours de la croissance de jeunes plants en milieu sahélien.

MATERIEL ET METHODES

Sites d'études

Milieu naturel

L'étude est réalisée à Souilène (16°20'39 N et 15°25'40 W), à 400 km de Dakar-Sénégal (Figure 1). Le climat est tropical sec, de type sahélien (Le Houerou, 1989). La saison des pluies s'étale de juillet à septembre. La température moyenne de l'air est de 28,7 °C. L'évapotranspiration potentielle est de 2031 mm/an. La végétation est une steppe épineuse (*Mimosaceae*). La strate herbacée est composée d'annuelles à dominance graminéenne, parsemée d'arbres et d'arbustes (Poupon, 1980). La strate arborescente est composée d'*Acacia tortilis*, de *Balanites aegyptiaca*, de *Zizyphus mauritiana* et de *Boscia senegalensis*. La densité à l'hectare est de 151 individus avec une surface terrière de 3.87 m²/ha (Diouf et al., 2002). Les sols, subarides tropicaux et brun-rouge, sont formés de matériaux sableux pauvres en argile. L'effectif du cheptel est de 35 UBT. La présence permanente du bétail, par son piétinement, favorise l'infiltration des eaux pluviales (Lamachère, 1991). La mise en défens entrave la germination des espèces de la strate herbacée (Cornet, 1981).

Station

L'étude en station (Figure 2), est réalisée dans la Presqu'île du Cap Vert en Région de Dakar, Sénégal (longitudes 17°33' et 17°05'W et latitudes 14°55' et 14°35'N). Le régime pluviométrique est de type côtier. La saison des pluies s'étale de juillet à septembre avec des maxima de 493 mm et 365 mm respectivement en août et septembre. Des pluies irrégulières hors saison appelées "Heug" sont enregistrées entre décembre, janvier et février. Ces pluies contribuent à la recharge de la nappe phréatique (Cissé, 2000). La température moyenne annuelle sur la période de 1971 à 1988 est de 24 °C. Cette température inférieure à celle de la zone nord (29 °C), est fortement influencée par la mer. L'influence maritime entraîne, une faible différence de régime saisonnier marqué par des périodes chaudes et froides. La saison sèche fraîche va de novembre à février et

renferme les plus basses températures de l'année (20 °C et 23 °C). La saison sèche chaude est située entre mars et octobre avec les températures les plus hautes.

Obtention des jeunes plants

Les jeunes plants en milieu naturel, proviennent d'une germination naturelle, favorisée probablement par le passage des semences dans le tractus digestif de petits ruminants. Ces jeunes plants sont repérés en fin de saison des pluies près des parcs à bétail et sont protégés par une clôture constituée de fil de fer barbelé (Figure 3). Le site en milieu naturel renferme 109 jeunes plants distribués de la façon suivante dans les parcelles. La parcelle P1, renferme 9 plants d'*Acacia tortilis* et 8 plants de *Balanites aegyptiaca* ; la parcelle P2, 4 plants d'*Acacia tortilis* et 6 plants de *Balanites aegyptiaca* ; la parcelle P3, 6 plants d'*Acacia tortilis* et 5 plants de *Balanites aegyptiaca* ; la parcelle P4, 6 plants d'*Acacia tortilis* et 6 plants de *Balanites aegyptiaca* ; la parcelle P5, 7 plants d'*Acacia tortilis* et 6 plants de *Balanites aegyptiaca* ; la parcelle P6, 9 plants d'*Acacia tortilis* et 6 plants de *Balanites aegyptiaca* ; la parcelle P7, 12 plants d'*Acacia tortilis* et 5 plants de *Balanites aegyptiaca* ; la parcelle P8, 9 plants d'*Acacia tortilis* et 5 plants de *Balanites aegyptiaca*. Le comptage du nombre de mois a débuté en fin de saison des pluies.

En station, les jeunes plants sont produits en pépinière au Centre National de Recherches Forestières (CNRF/ISRA) et mis à notre disposition. Au total, 182 jeunes plants âgés d'un mois ont été transplantés à la station expérimentale du centre IRD de Dakar sur une parcelle de 800 m² (Figure 4). L'extrémité Sud de la plantation est constituée de 8 lignes comptant chacune 13 plants d'*A. tortilis*. L'extrémité Nord de la plantation renferme 6 lignes de 13 plants de *B. aegyptiaca* chacune. Sur une même ligne, les jeunes plants sont équidistants de 1,50 m et entre deux lignes de 2,30 m. L'arrosage des plants se fait tous les deux jours à raison de 0,5 l à 1 l d'eau par plant. Par convention, l'âge des plants est défini en fonction de la date de mise en

germination des graines. Les excavations des systèmes racinaires sont réalisées à 210 jours ou saison sèche chaude (SSC), à 390 jours ou saison pluvieuse (SP) et enfin à 540 jours ou saison sèche fraîche (SSF) en station et en milieu naturel.

Biomasses racinaires et aériennes

Au cours de chaque campagne d'excavation, trois jeunes plants (n = 3) sont sacrifiés. Les biomasses souterraines (BS) et aériennes (BA) sont récoltées séparément dans des boîtes métalliques cylindriques et séchées à l'étuve (type : EU 500 EL/TS EXTR PROLABO) à une température de 80 °C pendant 48 heures jusqu'à poids constant. Les biomasses sont pesées à l'aide d'une balance de précision (Mettler type PM 2000). Les proportions des systèmes racinaires par rapport aux biomasses totales sont exprimées par les rapports : phytomasse hypogée sur phytomasse totale (PH/PT).

Accroissement relatif de la biomasse racinaire

Soit M_1 la biomasse racinaire au temps t_1 et M_2 la biomasse racinaire au temps t_2 ; l'accroissement relatif de la biomasse racinaire au temps (t_2-t_1) est calculé par la formule suivante :

$$A = [(M_2 - M_1) / M_1]$$

Disponibilité en eau du sol

Pour expliquer les proportions des biomasses racinaires dans le sol, les teneurs en eau du sol sous les espèces ont été évaluées. Des profils hydriques ont été réalisés en milieu naturel et en station chez *A. tortilis* et *B. aegyptiaca*. L'humidité du sol est déterminée à partir des échantillons prélevés à divers horizons du sol autour de l'arbre, à tous les 10 cm jusqu'à la profondeur maximale du pivot à raison de 3 prélèvements (n = 3) par horizons. Les poids frais (Pf) sont mesurés sur le terrain à l'aide d'une balance de précision (Mettler type PM 2000). Les poids secs (Ps), sont déterminés après séchage des échantillons à l'étuve (type : EU 500 EL/TS EXTR PROLABO) portée à une température de

105 °C jusqu'à poids constant. Ces deux paramètres permettent de déterminer d'une part, l'humidité pondérale (Hp), $H_p (\%) = [(Pf-Ps) / Ps] \times 100$ et d'autre part, l'humidité volumique du sol (Hv) : $H_v = H_p \times D.a.s$ (Hv : humidité volumique du sol (cm^3/cm^3); D.a.s, est la densité apparente sèche du sol. Sa valeur moyenne pour les sols sablo-argileux à argilo-sableux utilisés est 1.5 (Baize, 1988).

Traitement des données

Les données de terrain ont été saisies dans le tableur Excel, puis transférées dans le logiciel SPSS pour Windows ; Version 10.0.5, pour les analyses statistiques. Une analyse de comparaison des moyennes à partir d'un ANOVA à un facteur. Le test de significativité de différence des moyennes est réalisé à partir du test de Tukey au seuil de 5%.

RESULTATS

Biomasse racinaire

Les Figures 5 et 6 traduisent les biomasses racinaires d'*A. tortilis* et de *B. aegyptiaca* en station et en milieu naturel. Selon le traitement, la biomasse racinaire augmente suivant le temps. En station, les biomasses racinaires passent de 34 g et 161 g en SP à 219 g et 446 g en SSF. L'accroissement relatif de la biomasse racinaire est de 5 et 2 respectivement chez *A. tortilis* et *B. aegyptiaca* (Figure 5). Le test de Tukey montre que les différences de biomasses racinaires ne sont pas significativement différentes pour les périodes de SSC et de SP respectivement chez *A. tortilis* ($p < 0.987$; ddl = 6) et chez *B. aegyptiaca* ($p < 0.068$; ddl = 6). Des différences apparaissent chez *A. tortilis* ($p > 0.002$; ddl = 2) et chez *B. aegyptiaca* ($p > 0.003$; ddl = 2) en SSF au seuil de 5% (Figure 5). L'analyse statistique montre que les biomasses racinaires sont significativement différentes chez *A. tortilis* et *B. aegyptiaca* pour les trois stades ($p > 0.027$; ddl = 8) au seuil de 5%.

En milieu naturel, la biomasse racinaire de *B. aegyptiaca* passe de 6 g en SP à 11 g en

SSF, soit un accroissement relatif de 1. Chez *A. tortilis*, la biomasse racinaire varie de 11 g en SP à 29 g en SSF. L'accroissement relatif de la biomasse racinaire d'*A. tortilis* est de 2 (Figure 6). Ces valeurs de biomasses racinaires sont faibles par rapport à celles en station. L'analyse statistique révèle également que les différences entre les biomasses racinaires en SSC et SP ne sont pas significativement différentes chez *A. tortilis* ($p < 0,467$; ddl = 6) et *B. aegyptiaca* ($p < 0,145$; ddl = 6). Par contre, des différences entre les moyennes de biomasses racinaires observées en SSF chez *A. tortilis* ($p > 0,030$; ddl = 2) et *B. aegyptiaca* ($p > 0,023$; ddl = 2) sont significatives au seuil de 5%. Les différences des biomasses racinaires sont significativement différentes chez *A. tortilis* et *B. aegyptiaca* pour les trois stades ($p > 0,032$; ddl = 8) au seuil de 5%.

Rapport de la biomasse souterraine et de la biomasse aérienne

La relation entre les différentes parties de plante porte sur les rapports de phytomasse hypogée à la phytomasse épigée (PH/PE) et sur la phytomasse hypogée à la phytomasse totale (PH/PT). En station, le rapport (PH/PE) est supérieur à 1 chez *A. tortilis* en SSC et en SSF mais inférieur à 1 en SP (Tableau 1). Chez *B. aegyptiaca*, les rapports (PH/PE) sont inférieurs à 1 pour les trois saisons. Par contre, en milieu naturel les rapports (PH/PE) sont supérieurs à 1 quelque soit la saison aussi bien pour *A. tortilis* que pour *B. aegyptiaca* (Tableau 2). En station, les systèmes racinaires représentent 49% en SSC et 56% en SSF de la biomasse totale chez *A. tortilis* (Tableau 3). Chez *B. aegyptiaca*, les proportions sont de 41% en SSC et de 22% en SSF. En SP, les proportions racinaires sont de 45% et 31% respectivement chez *A. tortilis* et *B. aegyptiaca*. En condition naturelle, les proportions des systèmes racinaires chez *A. tortilis* sont élevées contrairement aux valeurs observées en station (Tableau 4). Les proportions sont de 60% et 63% chez *A. tortilis* et de 61% et 60% chez *B. aegyptiaca* en SSC et en SSF. Ces proportions sont de

62% et 56% respectivement chez *A. tortilis* et *B. aegyptiaca* en SP.

Taux d'humidité du sol

Les Figures 7 et 8 montrent les profils hydriques du sol réalisés en milieu naturel et en station. Les taux d'humidité du sol des espèces sont suivis jusqu'aux profondeurs 210 cm. En station, les taux d'humidité du sol sont plus importants en surface qu'en profondeur pour les stades SSC, SP et SSF. La différence entre les taux d'humidité du sol entre la surface et la profondeur est significative chez *A. tortilis* ($p > 0,0001$; ddl = 20) et *B. aegyptiaca* ($p > 0,0001$; ddl = 20). Les taux d'humidité du sol en surface, sont plus importants en SP que ceux notés en SSC et en SSF. Les humidités du sol atteignent $6,44 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ et $7,14 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ en surface, puis $1,75 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ et $3,50 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ en profondeur respectivement chez *A. tortilis* et *B. aegyptiaca* en SP. La teneur en eau du sol sous *B. aegyptiaca* est le double de celle d'*A. tortilis* dans l'horizon 155 cm. En SSC, les taux d'humidité du sol sont de $3,83 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ et $4,69 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ en surface et de $2,00 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ et $3,06 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ en profondeur respectivement chez *A. tortilis* et *B. aegyptiaca*. Les horizons

de surface sont plus humides. En SSF, le même phénomène est observé. Les taux d'humidité du sol sont élevés en surface ($3,40 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ et $3,96 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) et faibles en profondeur ($1,83 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ et $2,36 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) respectivement chez *A. tortilis* et *B. aegyptiaca*. En station, les horizons de surface sont donc plus humides que les couches situées en profondeur. En milieu naturel, le phénomène inverse est observé. Les taux d'humidité du sol sont faibles en surface ($0,40 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ et $0,72 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) et élevés en profondeur ($2,35 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ et $2,95 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) en SSC. Le même phénomène est observé en SSF avec des taux d'humidité du sol de $0,30 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ et $0,78 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ en surface et de $2,94 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ et $3,56 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ en profondeur respectivement chez *A. tortilis* et *B. aegyptiaca*. En SP, les taux d'humidité du sol décroissent de la surface ($7,35 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ et $8,91 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) vers la profondeur ($2,46 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ et $3,30 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) respectivement chez *A. tortilis* et *B. aegyptiaca*. Les couches de surface sont plus humides que les couches profondes.

Tableau 1 : Rapport phytomasse hypogée et la fraction épigée (PH/FE) des plants en station.

Saisons	SSC	SP	SSF
<i>A. tortilis</i>	1,17	0,89	1,47
<i>B. aegyptiaca</i>	0,66	0,48	0,20

Tableau 2 : Rapport phytomasse hypogée et fraction épigée (PH/FE) des plants en milieu naturel.

Saisons	SSC	SP	SSF
<i>A. tortilis</i>	1,49	1,61	1,73
<i>B. aegyptiaca</i>	1,26	1,25	1,48

Tableau 3 : Rapport phytomasse hypogée et fraction totale (PH/FT) des plants en station (%).

Saisons	SSC	SP	SSF
<i>A. tortilis</i>	49	45	56
<i>B. aegyptiaca</i>	41	31	22

Tableau 4 : Rapport phytomasse hypogée et la fraction totale (PH/FT) des plants en milieu naturel (%).

Saisons	SSC	SP	SSF
<i>A. tortilis</i>	60	62	63
<i>B. aegyptiaca</i>	61	56	60

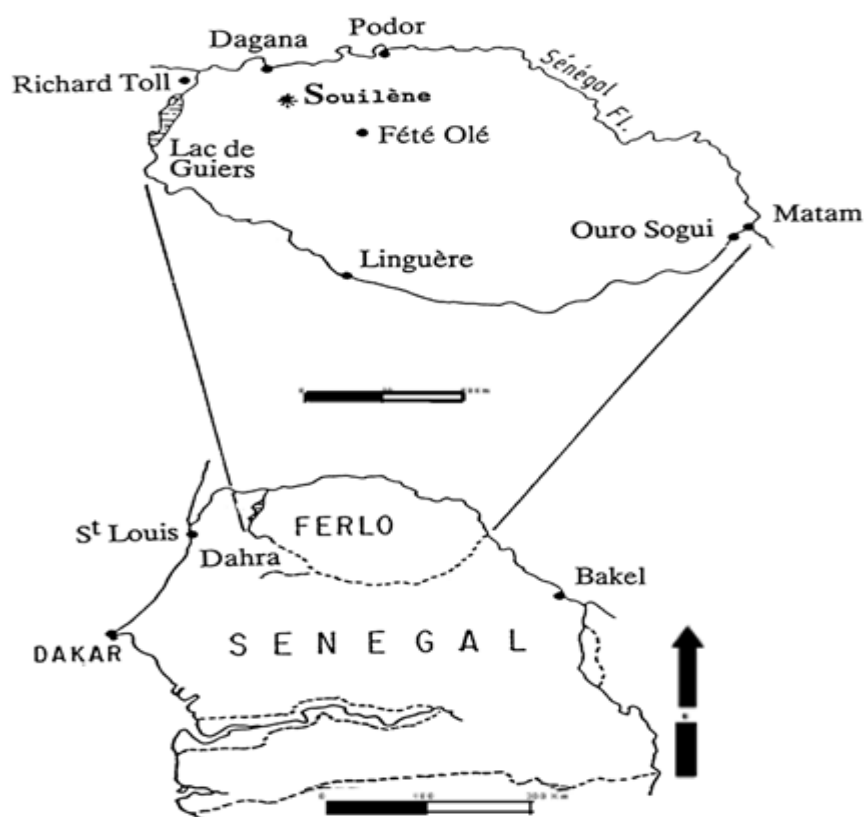


Figure 1 : Site en milieu naturel à Souilène dans le Nord-Sénégal (Fournier, 1995).

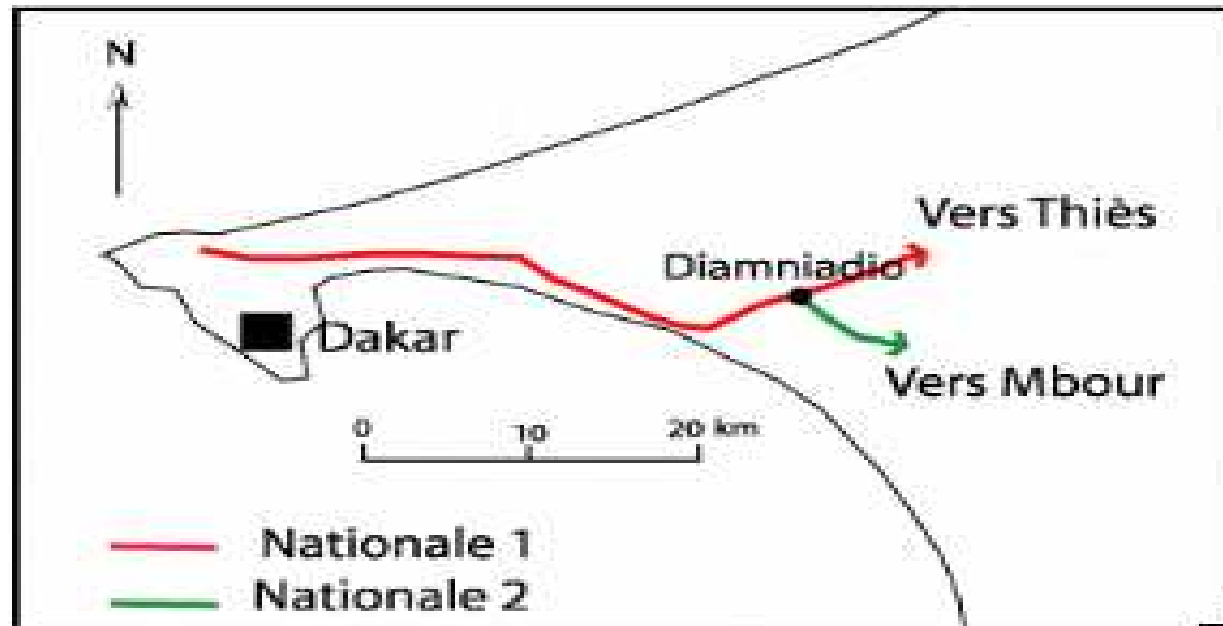


Figure 2 : Site en station à Bel-air, Région de Dakar (Centre Ouest du Sénégal).

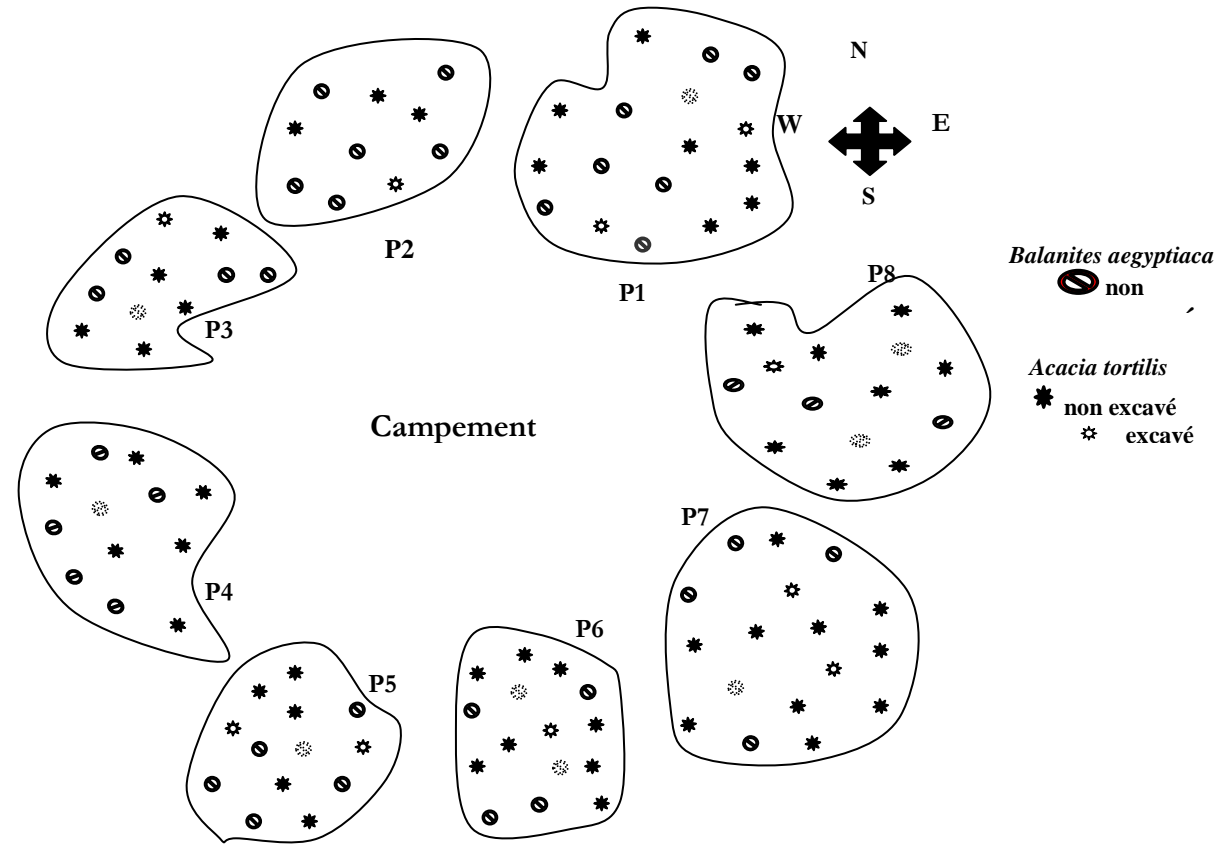


Figure 3 : Dispositif expérimental des jeunes plants en milieu naturel au Ferlo P1, P2 ...P8 : parcelles de 1 à 8.

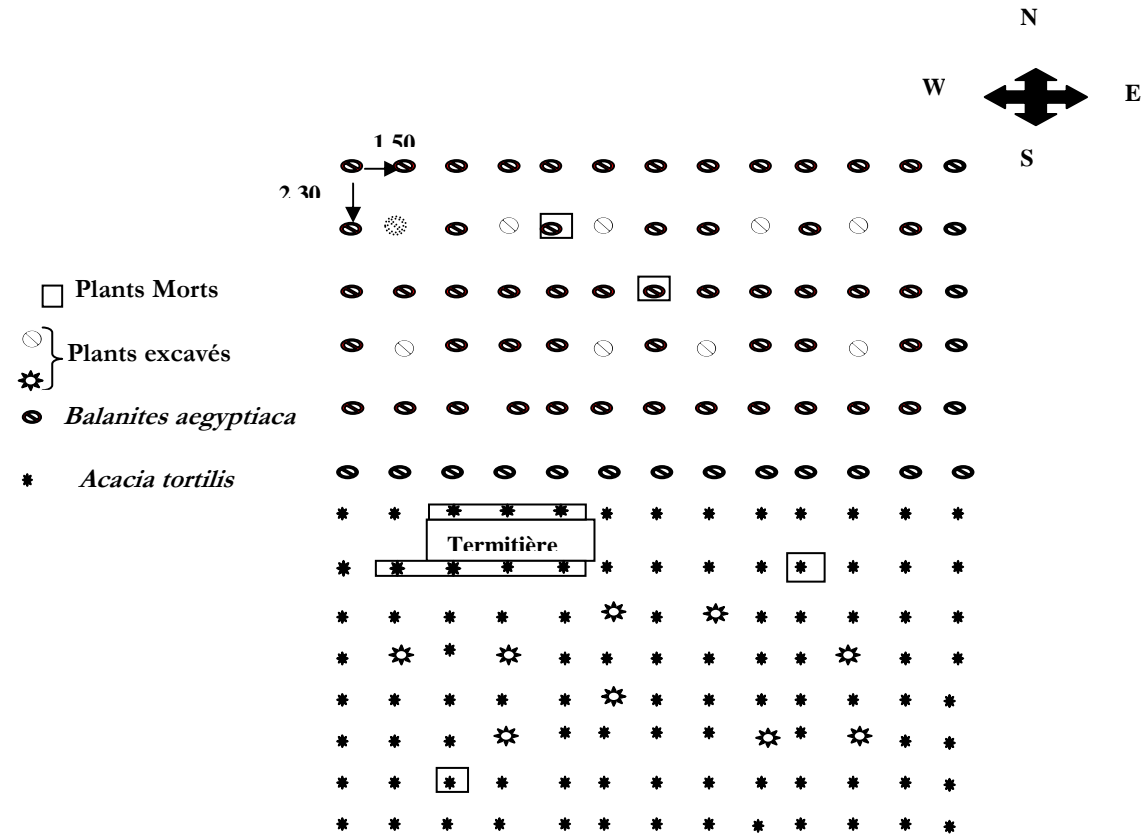


Figure 4 : Dispositif expérimental des plants en station.

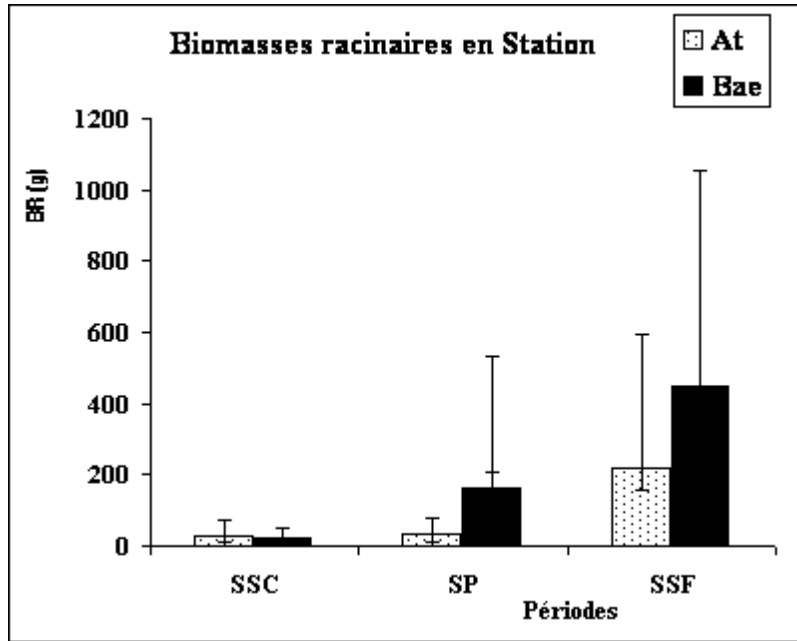


Figure 5 : Biomasse racinaire d'*A. tortilis* et de *B. aegyptiaca* en station. At : *Acacia tortilis* ; Bae : *Balanites aegyptiaca*.

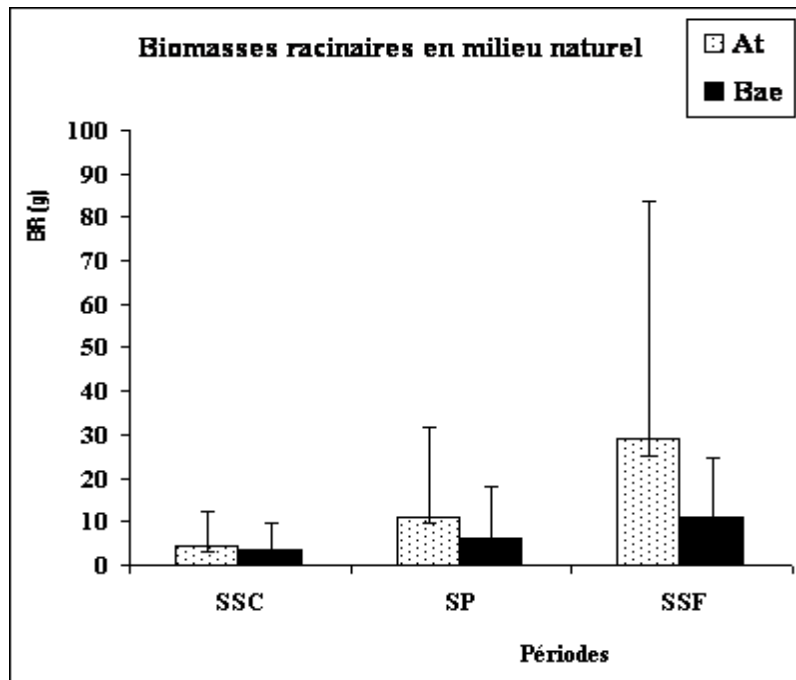


Figure 6 : Biomasse racinaire d'*A. tortilis* et de *B. aegyptiaca* en milieu naturel. At : *Acacia tortilis*; Bae : *Balanites aegyptiaca*.

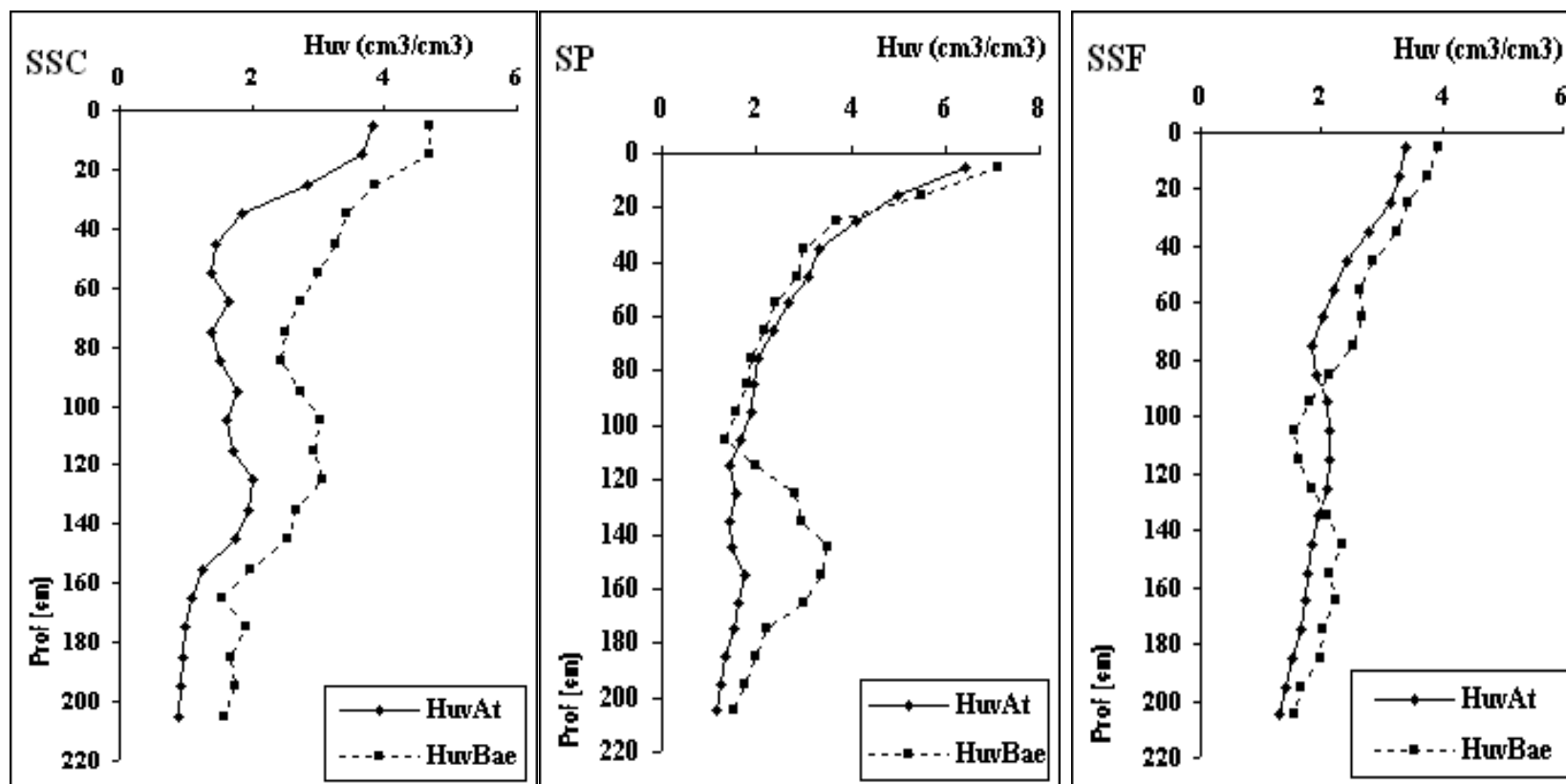


Figure 7 : Variation de l'humidité du sol des plants aux stades SSC, SP et SSF en station.

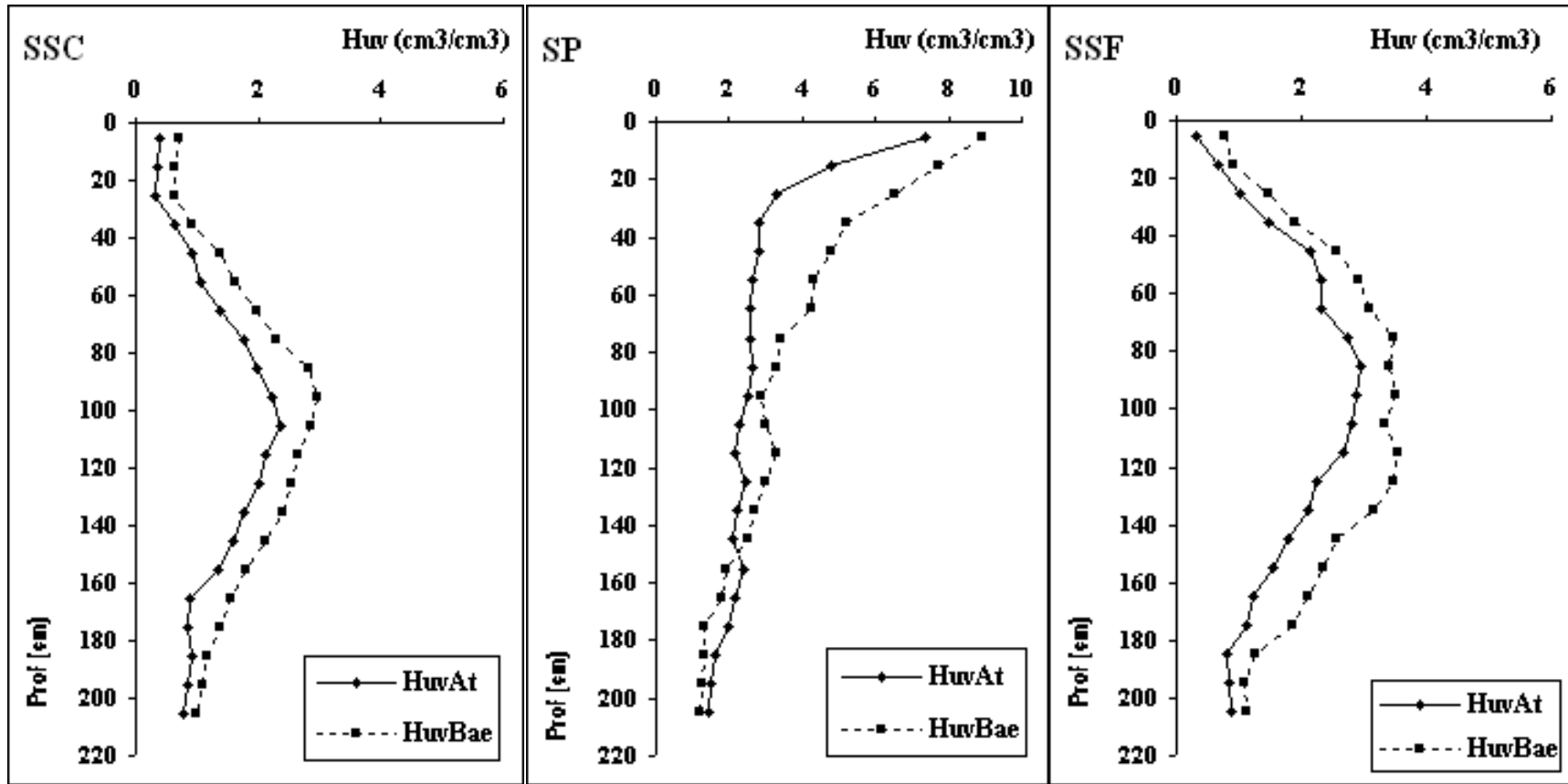


Figure 8 : Variation de l'humidité du sol des plants aux stades SSC, SP et SSF en milieu naturel.

DISCUSSION

Biomasse racinaire

La biomasse racinaire de *B. aegyptiaca* est plus importante en station. *B. aegyptiaca* développe donc son système racinaire lorsque les conditions du milieu sont favorables. *A. tortilis* présente une biomasse racinaire élevée en milieu naturel. *A. tortilis* est une espèce qui développe mieux son système racinaire lorsque les conditions du milieu sont défavorables. L'eau est déterminante dans les différences de comportements observées chez les deux espèces. En absence d'eau, *B. aegyptiaca* développe une biomasse racinaire faible pour assurer la survie et la croissance de son système racinaire. Un comportement inverse est observé chez *A. tortilis*, qui recherche l'eau et les nutriments en développant une biomasse racinaire importante. Ces résultats sont similaires aux observations de certains auteurs qui montrent en plantation que la biomasse racinaire des espèces dépend des conditions écologiques (Fujimaki et al., 2007). Le développement de la biomasse racinaire varie en fonction de la croissance de la partie aérienne (Levy et al., 2004). Cette interdépendance, exprimée par le rapport du poids de matière sèche des parties souterraines et aériennes permet de prédire les performances au champ des plants (Parr et Cameron, 2004). Le développement racinaire des plants d'*A. tortilis* se fait très tôt au détriment de la partie aérienne. Un rapport inférieur à 1, traduit une biomasse aérienne plus importante que la biomasse souterraine. Inversement un rapport supérieur à 1 traduit une biomasse souterraine plus importante que la biomasse aérienne. Les rapports PH/PE sont supérieurs à 1 en station et en milieu naturel chez *A. tortilis*. Ce développement de la partie souterraine au détriment de la partie aérienne s'explique par les difficiles conditions subies par les plants en milieu naturel. La valeur du rapport inférieure à 1 notée en SP pourrait s'expliquer probablement par la présence des eaux de pluies qui auraient favorisé le développement de la partie aérienne au détriment de la partie souterraine. *A. tortilis* présente une croissance aérienne lente et un

rapport PH/PE élevé. *A. tortilis* est donc une espèce ligneuse possédant un système racinaire de type 1, caractérisé par une croissance racinaire rapide et un rapport PH/PE élevé. Chez *B. aegyptiaca*, le rapport est inférieur à 1 en station et supérieur à 1 en milieu naturel. Le système racinaire de *B. aegyptiaca* en milieu naturel est de type 1 ; caractérisé par une croissance racinaire rapide et un rapport PH/PE élevé. En station, *B. aegyptiaca* dispose d'une croissance racinaire lente et un rapport PH/PE faible. Le rapport (PH/PE) est déterminant dans les différentes conditions de développement du système racinaire (Drexhage et Colin, 2001). Le rapport PH/PE supérieur à 1, montre que le manque d'eau limite la croissance de la partie aérienne (Kramer, 1983) et traduit l'existence de conditions hydriques difficiles (Akpo, 1996). Ces observations s'apparentent à celles des Chamephytes adultes des régions arides où les rapports sont supérieurs à 1 (Kane, 1996) et de celles des zones arides chaudes avec des rapports supérieurs à 1 (Rundel et Nobel, 1991). Par contre, ces résultats s'éloignent de ceux des zones arides froides (Rundel et Nobel, 1991) et de ceux observés en milieu contrôlé et quelque soit le régime hydrique appliqué des rapports inférieurs à 1 (Ourcival, 1992). Les valeurs comprises entre 2,71 et 3,74 trouvées dans les garrigues espagnoles (Cañellas et San Miguel, 1998) qui sont des écosystèmes différents des écosystèmes sahéliens sont largement supérieures à 1. La biomasse souterraine est formée en grande partie d'organes de réserve et de la nécromasse. Une surestimation de la biomasse souterraine entraîne par conséquent une surestimation du rapport PH/PE (Ourcival, 1992). Les différences entre les résultats pourraient s'expliquer par la faible teneur en eau de ces tissus dans les racines d'*A. tortilis* et de *B. aegyptiaca*. Ce qui traduit les faibles valeurs du rapport PH/PE obtenues dans les différents stades de développement entre les espèces en station et celles en milieu naturel. En ce qui concerne le rapport PH/PT, en station chez *A. tortilis*, les phytomasses hypogées passent de 49% en SSC à 45% en

SP. Entre les deux saisons, on assiste à une perte de biomasse racinaire et en SSF on a un renouvellement de la biomasse racinaire. Le même phénomène est observé chez *B. aegyptiaca*. En milieu naturel, de la SSC (60%) à la SSF (63%) en passant par la SP (62%), on observe chez *A. tortilis* un renouvellement constant de la biomasse racinaire.

Par contre, entre les stades SSC (61%) et SP (56%) chez *B. aegyptiaca*, on assiste à une réduction de biomasse racinaire. De la SP à la SSF, les taux de biomasse racinaire passent de 56% à 60%. De nouvelles racines apparaissent dans le système racinaire de *B. aegyptiaca*; ce qui augmente le taux de biomasse racinaire. Ces taux de réduction de la biomasse racinaire observés chez *B. aegyptiaca*, sont inférieurs aux taux de 15% notés en forêt humide et de 35% à 40% en savane humide et au dessus de 50% en végétation semi-aride (Baddeley et Watson, 2005). En milieu moins humide, les espèces utilisent comme stratégie de résistance, la réduction de leur croissance aérienne au détriment de leur croissance racinaire qui montrent que l'apparition de nouvelles racines surtout les racines fines peuvent aussi dépendre des facteurs exogènes tels que la température du sol (Dunbabin et al., 2002), l'air (Danjon et al., 2005 ; Tamasi et al., 2005), de l'humidité du sol (Majdi, 2001) et de la disponibilité des nutriments (Steingrobe et al., 2001).

Taux d'humidité du sol

Le sol dont le front réhumectation n'atteint qu'exceptionnellement 3 mètres de profondeur (Cornet, 1981), constitue la seule réserve en eau pour la plante. Cette réserve varie suivant les précipitations de l'année et assure l'alimentation hydrique des ligneux pendant la saison sèche (Fournier, 1995). La répartition des taux d'humidité du sol dans les profils hydriques montre des couches superficielles et profondes humides chez les plants en station. Par contre, seules les couches profondes sont humides en milieu naturel. Cette différence dans les résultats

entre les profils réalisés en station et en milieu naturel pourrait s'expliquer d'une part par l'absorption racinaire et la transpiration qui sont intenses chez les plantes et d'autre part, par l'évaporation de l'eau du sol qui est rapide en milieu naturel. Ces résultats expliquent les différences de valeurs de biomasse aérienne et racinaire et les différences entre les biomasses racinaires entre les couches superficielles et profondes du sol observées en station et en milieu naturel. Les teneurs en eau en surface chez *A. tortilis* sont faibles par rapport à celles notées chez *B. aegyptiaca* en milieu naturel. L'eau favorise donc le bon développement des parties aériennes et racinaires. L'eau absorbée par les racines sert à dissiper l'énergie solaire non utilisée par la partie aérienne au cours de la photosynthèse. Les besoins en eau de la plante sont directement liés au climat. La présence ou l'absence de l'eau entraîne le développement d'un compartiment par rapport à l'autre. En saison sèche, les couches superficielles du sol sont déshydratées sous l'action de l'évaporation de l'eau et de l'absorption racinaire. Ce phénomène est visible sous *A. tortilis* qui serait une espèce plus exigeante en eau, une sclérophYTE arido passive et une espèce caducifoliée qui perd les feuilles en saison sèche.

B. aegyptiaca, par contre, garde ses feuilles et possède des rameaux photosynthétiquement actifs en saison sèche. Les réponses de la plante face au stress hydrique sont complexes et dépendent de son intensité, de sa durée et de la phase de développement de la plante (Bationo et al., 2001). Le stress hydrique réduit la quantité d'eau disponible et influence le métabolisme et les processus physiologiques qui contrôlent la croissance, le développement de la plante (Coners et Leuschner, 2002) et les processus biochimiques du fonctionnement de la plante dont la photosynthèse nette (Stewart et Blomley, 1994 ; Dupuy et al., 2003a). Les effets du stress hydrique se répercutent par la suite sur les composantes de la plante et sur la qualité du rendement (Passioura, 1997 ; Dupuy et al., 2003b). Pour lutter contre le stress, la plante extrait l'eau du sol en exerçant

une force de succion qui débutant dans les feuilles, se communique à la tige, puis au système racinaire et enfin au sol.

Conclusion

Ce travail porte sur une question essentielle de l'écologie fondamentale et appliquée. Le suivi du fonctionnement hydrominéral de l'espèce dépend de la biomasse racinaire et du rapport phytomasse hypogée sur la phytomasse épigée (PH/PE). Les espèces en présence ou en absence d'eau ont des comportements différents. Des variabilités morphologiques importantes sont notées dans les parties aériennes et racinaires. En milieu naturel, le déficit hydrique affecte négativement tous les paramètres racinaires et aériens. En station, un équilibre s'établit entre les différents paramètres racinaires avec une tendance à l'augmentation. En absence d'eau, *B. aegyptiaca* développe une biomasse racinaire faible pour assurer la survie et la croissance de son système racinaire. *A. tortilis* recherche l'eau à travers une biomasse racinaire importante. La distribution de la biomasse sèche entre racine et la partie aérienne est sous contrôle d'une balance de répartition de l'eau. *B. aegyptiaca* à travers sa biomasse racinaire est relativement plus résistant à la sécheresse. Il peut être utilisé dans les programmes d'aménagement et d'amélioration des écosystèmes dégradés et dans les systèmes agroforestiers, car sa biomasse racinaire ne rentre pas en compétition avec celle des cultures. *A. tortilis* développe une biomasse racinaire importante, donc plus exigeant en eau pour répondre à la perte d'eau importante au niveau de sa surface foliaire par transpiration.

REMERCIEMENTS

Ce travail est réalisé dans le cadre d'une collaboration scientifique entre le Département de Biologie végétale de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD, Dakar-Sénégal) et l'UMR 547 PIAF de l'INRA Clermont-Ferrand – France. Cette collaboration est rendue possible grâce au financement de l'Agence Universitaire de la

Francophonie (AUF). Nous remercions le Laboratoire d'Ecologie Végétale de l'IRD au Sénégal pour son appui technique.

REFERENCES

- Akpo LE. 1996. Production d'une phytomasse sahélienne: Phytomasse hypogée sous et hors couverts ligneux. *Vie et Milieu*, **46**(1): 87-92
- Baddeley JA, Watson CA. 2005. Influences of root diameter, tree age, soil depth and season on fine root survivorship in *Prunus avium*. *Plant Soil*, **276**: 15–22.
- Baize D. 1988. *Guide des Analyses Courantes en Pédologie. Choix, Expression, Présentation et Interprétation*. INRA: Paris ; 172p.
- Bationo BA, Ouédraogo SJ, Alexandre DY, Guinko S. 2001 Statut hydrique de quatre espèces ligneuses soudaniennes dans la forêt de Nazinon, Burkina Faso. *Sécheresse*, **12**(2): 87-94.
- Caldwell MM. 1987. Competition between root system in natural root grafting in eastern white pine *Pinus strobus*. *Ecology*, **40**: 677-691.
- Cañellas I, San Miguel A. 1998. Litter fall and nutrient turnover in kermes oak (*Quercus coccifera* L.) stands in Valencia (eastern Spain). *Ann. Sci. For.*, **55**: 589-597.
- Cissé I. 2000. Utilisation des pesticides dans le système de production horticole dans la zone des Niayes : les produits et leur impact sur la nappe phréatique. Doctorat de 3^{ème} cycle, UCAD, 187 p.
- Claus A, George E. 2005. Effect of stand age on fine-root biomass and biomass distribution in three European forest chronosequences. *Can. J. For. Res.*, **35**: 1617–1625.
- Coners H, Leuschner C. 2002. In situ water absorption by tree fine roots measured in real time using miniature sap-flow gauges. *Funct. Ecol.*, **16**: 696-703.
- Cornet A. 1981. Le bilan hydrique et son rôle dans la production de la strate herbacée de quelques phytocénoses sahéliennes au

- Sénégal. Thèse. Univ. Des Sces et Tech du Languedoc, 353p.
- Danjon F, Fourcaud T, Bert D. 2005. Root architecture and wind-firmness of mature *Pinus pinaster*. *New Phytol.*, **168**: 387-400.
- Diouf M, Akpo LE, Rocheteau A, Do F, Goudiaby V, Diagne AL. 2002. Dynamique du peuplement ligneux d'une végétation sahélienne au Nord-Sénégal (Afrique de l'Ouest). *Journal des Sciences*, **2**(1): 1-9.
- Drexhage M, Colin F. 2001. Estimating root system biomass from breast-height diameters. *Forestry*, **74** : 491-497.
- Ducouso M, Colonna JP, Badji S, Thoen D. 1991. Influence de l'azote et du phosphore sur l'établissement de la symbiose quadripartite. *Acacia holosericea-Bradyrhizobium sp-Glomus mosseae-Pisolithus sp*" *Ouvrage sur la Physiologie des Arbres et Arbustes en Zone Arides et Semi Arides*. Nancy 20/3-6/4/1990. Groupe d'Etude de l'Arbre et Observatoire du Sahara et du Sahel J. Libbey Ed : 215-228.
- Dunbabin V, Diggle AJ, Rengel Z, van ungten R. 2002. Modelling the interactions between water and nutrient uptake and root growth. *Plant and Soil*, **239**: 19-38.
- Dupuy L, Drénou C, Fourcaud T. 2003a. Sols, racines et ancrage des arbres forestiers. *Forêt Entreprise*, **153**: 39-43.
- Dupuy L, Fourcaud T, Lac P, Stokes A. 2003b. *Modelling the Influence of Morphological and Mechanical Properties on the Anchorage of Root Systems*. Ruck B, Kottmeier C, Mattheck C, Quine C and Wilhelm G eds Proc. Int. Conf. 'Wind Effects on Trees' Universität Karlsruhe, Germany; 315-322.
- Fournier C. 1995. *Fonctionnement Hydrique de Six Espèces Ligneuses Coexistent dans une Savane Sahélienne (région du Ferlo, Nord Sénégal)*. TDM, ORSTOM Ed: Paris; 165p.
- Fujimaki R, Tateno R, Tokuchi N. 2007. Root development across a chronosequence in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantation. *J. For. Res.*, **12**: 96-102.
- Groot JJR, Traoré M, Koné D. 1998. Description du système racinaire de trois espèces fourragères en zone soudano-sahélienne : *Andropogon gayanus*, *Vigna unguiculata* et *Stylosanthes hamata*. *Biotechnol. Agron. Environ.*, **2**(2): 106-119.
- Helmisaari HS, Makkonen K, Kellomaki S, Valtonen E, Malkonen E. 2002. Below and above-ground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stands in eastern Finland. *For. Ecol. Manage.*, **165**: 317-326.
- John B, Pandey HN, Tripathi RS. 2001. Vertical distribution and seasonal changes of fine and coarse root mass in *Pinus kesiya* Royle Ex. Gordon forest of three different ages. *Acta Oecol.*, **22**: 293-300.
- Kane I. 1996. Influence de l'alimentation en eau sur la croissance et le fonctionnement hydrique de jeunes plants d'Acacia. Application à 3 espèces au Sénégal : *Acacia tortilis* (Forsk.) Hayne *subsp. raddiana* (Savi) Brenan ; *Acacia senegal* (L) Willd ; *Acacia dudgeoni* Craib. Ex *Holl*. Thèse de 3^e cycle, UCAD de Dakar.
- Konopka B, Noguchi K, Sakata T, Takahashi M, Konopkova Z. 2006. Fine root dynamics in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) plantation throughout the growing season. *For. Ecol. Manage.*, **225**: 278-286.
- Kramer PJ. 1983. *Water Relations of Plants.*, Academic Press: New-York; p. 489.
- Lamachère JM. 1991. Aptitude au ruissellement et à l'infiltration d'un sol sableux fin après sarclage. *Soil Water Balance in the Suabno-sahelian Zone*. Proceedings of Niamey Workshop, *IAHS Publ.*, **199**: 109-119.
- Le Goff N, Ottorini JM. 2001. Root biomass and biomass increment in a beech (*Fagus sylvatica* L.) stand in North-East France. *Ann. For. Sci.*, **58**: 1-13.
- Le Houerou HN. 1989. The Grazing Land Ecosystems of the African Sahel.

- Ecological Studies* (75), Springer- Verlag Ed: 282p.
- Levy PE, Hale SE, Nicoll BC. 2004. Biomass expansion factors and root : shoot ratios for coniferous tree species in Great Britain. *Forestry*, **77**: 421–430.
- Logbo J, Diouf M, Do F, Akpo LE. 2006. Architecture racinaire de jeunes plants d'espèces ligneuses sahéliennes au Ferlo (Nord – Sénégal) : *Acacia tortilis* Forsk et *Balanites aegyptiaca* (L) Del. *Journal des Sciences*, **6**(2): 85-99.
- Majdi H. 2001. Changes in fine root production and longevity in relation to water and nutrient availability in a Norway spruce stand in northern Sweden. *Tree Physiol.*, **21**: 1057–1061.
- Ourcival JM. 1992. Réponses de deux Chamephytes de la Tunisie présaharienne à différentes contraintes et perturbation. Thesis, Univ. of USTL, Montpellier, France, 175 p.
- Parr A, Cameron AD. 2004. Effects of tree selection on strength properties and distribution of structural roots of clonal Sitka spruce. *For. Ecol. Manage*, **195** : 97–106.
- Passioura JB. 1997. Drought and drought tolerance. Plant cellular responses to water deficit. *Plant Growth Regulation*, **20**: 119-124.
- Poupon H. 1980. Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au Nord du Sénégal. Travaux et documents n°115. ORSTOM: Paris, 351p.
- Richardson AD, zu Dohna H. 2003. Predicting root biomass from branching patterns of Douglas-fir root systems. *Oikos*, **100**: 96-104.
- Ritson P, Sochacki S. 2003. Measurement and prediction of biomass and carbon content of Pinus pinaster trees in farm forestry plantations, south-western Australia. *For. Ecol. Manage*, **175**: 103-117.
- Rundel PW, Nobel PS. 1991. Structure and function in desert root system. In *Plant Root Growth. An Ecological Perspective*, Atkinson A (ed). Blackwell Scientific Publication; 478p.
- Seghier J. 1990. Dynamique saisonnière d'une savane Soudano Sahélienne au Nord Cameroun. Th. Doc., USTL, 200p.
- Steingrobe B, Schmid H, Claassen N. 2001. Root production and root mortality of winter barley and its implication with regard to phosphate acquisition. *Plant Soil*, **237**: 239–248.
- Stewart M, Blomley T. 1994. Use of Melia volkensii in a semi-arid agroforestry system in Kenya. *Commonwealth Forestry Review*, **73**(2): 128-131.
- Tamasi E, Stokes A, Lasserre B, Danjon F, Berthier S, Fourcaud T, Chiatante D. 2005 Influence of wind loading on root system development and architecture in oak seedlings (Quercus robur L.). *Trees*, **19**: 374-384.