



Déterminisme de la feuillaison de *Acacia tortilis* (Forsk.) dans la réserve sylvo-pastorale de Sogobé, Ferlo, Nord-Sénégal

Mayécour DIOUF^{1,2*}, Jhonn LOGBO³, Frédéric C. DO⁴ et Léonard-Elie AKPO⁵

¹ISRA/CRZ BP 53 Kolda, Sénégal.

²ISRA/CNRF, BP 2312, Dakar, Sénégal.

³Ecole Nationale Supérieure des Sciences et Techniques Agronomiques (ENSTA/Kétou), Université d'Agriculture de Kétou (UAK), BP 43 Kétou, Bénin.

⁴IRD, UMR Eco&Sols, SupAgro-INRA, 34060 Montpellier, France.

⁵Laboratoire d'Ecologie Végétale FST/UCAD, BP 5005 Fann – Dakar, Sénégal.

*Auteur correspondant, E-mail : dioufmy@yahoo.fr ; dioufmycnf@gmail.com

RESUME

Ce travail présente l'étude de la phénologie foliaire de *Acacia tortilis* dans la réserve sylvo-pastorale de Sogobé (16° 20' N et 15° 25' W) au Nord-Sénégal. Le suivi a porté sur les paramètres climatiques et les différents stades de la feuillaison. Les données du suivi phénologique ont été soumises à une analyse en composantes principales. Les précipitations de la pleine saison des pluies (août, septembre) sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle (ETP) de 35% alors que le déficit de saturation de l'air plus élevé en période sèche est consécutif à une ETP plus importante en 2000. En outre, les réserves hydriques du sol ont été plus importantes en 1999 qu'en 2000 à l'exception du mois de septembre. Trois grands événements caractérisent le cycle de la feuille de *Acacia tortilis*. Le débourrement foliaire, qui dure 2 à 4 mois, présente deux vagues de bourgeons dont le maintien de la première vague dépend de la précocité des précipitations alors que la vitesse d'épanouissement de la seconde vague est fonction de l'abondance et de la régularité des pluies. La croissance et maturité s'étalent sur 7 mois. La sénescence foliaire qui s'installe lorsque la réserve hydrique du sol est inférieure à 20%, est soit précoce (janvier, février) soit tardive (mars, avril). A fin de mieux caractériser la disponibilité du fourrage vert de cette espèce dans cette sylvo-pastorale, il s'avère opportun d'évaluer la variabilité de la production de biomasse foliaire.

© 2013 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Déterminisme, phénologie foliaire, *Acacia tortilis*, Ferlo, Nord-Sénégal.

INTRODUCTION

Dans les écosystèmes sahéliens, l'eau est le facteur limitant des productions végétales ; elle constitue la contrainte principale du milieu (Cornet, 1981). L'eau détermine la diversité et la distribution des espèces animales et végétales. Les conditions édapho-climatiques et topographiques et les perturbations agissent sur la répartition des espèces

végétales. Le sol peut ainsi compenser ou aggraver l'aridité climatique (Koechlin, 1989).

Au Ferlo (Nord-Sénégal), le paysage est formé par des dunes de sables de faibles amplitudes non orientées délimitant de petites dépressions fermées (Michel, 1969). La forme de ces toposéquences qui participent à la redistribution des eaux dans le milieu (Diouf et

© 2013 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i5.27>

al., 2012), joue un rôle important sur la physiologie et le fonctionnement de la végétation (Floret & Pontanier, 1984).

Plusieurs travaux ont été réalisés sur la phénologie des espèces ligneuses. On peut citer entre autres ceux de Grouzis (1990), de Stevenson (2004), de Do et al. (2005), de Tshibangu (2010) et de Mbow et al. (2013). Ils ont tous mis en évidence l'importance des facteurs climatiques et édaphiques sur le cycle phénologique d'espèces ligneuses. L'effet de ces facteurs sur le déterminisme de la feuillaison de *Acacia tortilis*, espèce clé de voûte de la réserve sylvopastorale de Sogobé a été peu ou pas abordé. Or, dans cette réserve sylvopastorale, l'élevage est traditionnel, de type extensif et l'alimentation du bétail repose exclusivement sur la végétation naturelle. En saison des pluies, les herbacées constituent l'essentiel de l'aliment alors qu'en saison sèche, la contribution du fourrage aérien est souvent supérieure à 20% (Le Houérou, 1980 ; Karembé 2001). La maîtrise du déterminisme de la feuillaison permettrait sans doute de mieux cerner les périodes où le fourrage ligneux vert de cette espèce est disponible. Ce travail a pour objectif de mettre en évidence le déterminisme de la phénologie foliaire de *Acacia tortilis* dans la réserve sylvopastorale de Sogobé Nord-Sénégal.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Site d'étude

L'étude a été menée dans la réserve sylvopastorale de Sogobé au Ferlo Nord-Sénégal (Figure 1), près de Souilène (16° 20'N et 15° 25' W), à 400 km de Dakar et à 25 km au sud de Dagana (Sharman, 1982 ; Fournier, 1995).

Sur le plan géomorphologique, la zone du Ferlo Nord-Sénégal appartient aux formations de dunes de sables et se caractérise par un ensemble de rides asymétriques séparées par des dépressions longitudinales. Selon la classification de Ségalien et al. (1979), ces toposéquences sont à pentes très douces à douces (Diouf et al., 2012).

Le sol du site a une texture sablo-argileuse grisâtre localement calcaire. Il est hydromorphe à engorgement temporaire (Michel, 1969) et appartient à la catégorie des sols bruns rouges subarides. Ce type de sol est neutre à faiblement acides ($5,8 < \text{pH} < 7,2$) avec 90 à 95% de sable grossier et 3 à 5% d'argile dans les couches supérieures d'une part et 80 à 90% de sables, 8 à 10% d'argiles dans les couches inférieures d'autre part (Fournier, 1995). Les sols sont pauvres en matières organiques.

Le climat est sahélien. La température moyenne annuelle s'établit à 28,6° C tandis que les températures moyennes mensuelles minimale et maximale sont respectivement de 14,1° C (janvier) et 40,4° C (mai). La pluviométrie moyenne du site de 1990-1998 est de 206 mm avec un coefficient de variation de 34%. (Diouf et al., 2002). Les pluies s'étendent de juillet à septembre. Ainsi dans l'année, on distingue classiquement deux périodes : une période sèche de 8 à 9 mois (octobre à juin) et une saison des pluies de 3 à 4 mois. En fin de saison des pluies, la végétation se présente sous la forme d'un tapis herbacé continu piqueté d'arbres et d'arbustes. Les arbres et arbustes fréquemment épineux ne forment pas une strate continue. Dans cette steppe épineuse dominant *Balanites aegyptiaca* (L.) Del., *Acacia tortilis* (Forsk) et *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. Ex. Poir. (Diouf et al., 2004). La strate herbacée est caractérisée par la dominance d'espèces annuelles, notamment des Poacées à limbes étroits et pliés ou enroulés (*Schoenefeldia sp.*, *Aristida sp.*, *Cenchrus sp.*, *Chloris sp.*). Ce type de végétation est largement répandu au Ferlo (Sénégal).

Méthodes

Description de *Acacia tortilis* (Forsk.) (Arbonier, 2002)

Acacia tortilis (Forsk.) appartient à la famille des mimosacées. C'est une espèce semi-sempervirente épineuse, à fût cylindrique et plus ou moins court (2 à 13 m de hauteur), à cime étalée en parasol et à feuillage plus ou moins dense (Photo 1).

Les feuilles sont alternes, bipennées et présentent plusieurs paires de pinnules portant des foliolules de petite taille. L'écorce est peu crevassée à fissurée, brune, à tranche brun rosé avec le rhytidome marron foncé. Les épines droites pour la plupart, atteignant 5 à 9 cm de longueur disposées par deux à la base des feuilles, blanches. L'inflorescence est un fascicule disposé à la base des feuilles et composée de 3 à 6 capitules sphériques d'environ 2,5 cm de long, blanchâtres, pédonculés de 0,5 à 1 cm. Le fruit est une gousse plus ou moins enroulée en spirale vert pâle à jaunâtre à maturité pouvant contenir jusqu'à 10 graines. La graine, de 4 à 7 mm de diamètre, est brune, plus ou moins bombée, elliptique ou ronde.

Données climatiques

Le dispositif d'acquisition des données météorologiques est un système d'enregistrement automatique et continu à l'aide d'une centrale de type Campbell. Les paramètres mesurés sont la température de l'air, l'humidité relative de l'air, le rayonnement global, la vitesse du vent et les précipitations. L'importance des paramètres climatiques sur le fonctionnement des agrosystèmes a été signalée par Salack et al. (2011).

Etat hydrique du sol

Pour déterminer l'état hydrique du sol, une sonde à neutron de type "Solo 25" a été utilisée. Le dispositif expérimental est constitué de tubes en duralium (D = 41 - 45 mm) descendant jusqu'à une profondeur de 4,5 m. Les mesures sont effectuées tous les 10 cm jusqu'à 1 m de profondeur, puis tous les 20 cm jusqu'à 2 m et les 50 cm jusqu'à 4,5 m de profondeur. La rétention en eau de tous les niveaux d'un tube constitue la réserve en eau du profil complet. Les mesures ont portées sur les 9 tubes de la parcelle expérimentale (Diouf et al., 2012) à raison de trois répétitions par tube soit 27 mesures chaque mois.

Observations phénologiques

Les suivis ont été réalisés de mai 1999 à avril 2001 sur 145 individus de *Acacia tortilis*.

L'échantillonnage a été effectué dans une station non perturbée avec des effectifs élevés et sur plusieurs cycles comme le préconisent Frankie et al. (1974). Les observations ont porté sur des individus d'âges variables représentant les différentes classes de diamètres (Diouf et al., 2002). Elles sont effectuées tous les quinze jours pendant la saison des pluies et une fois par mois pendant la saison sèche.

La caractérisation des différents stades de la feuillaison est faite à partir de la méthode proposée par Grouzis et Sicot (1980). A cet effet, les principaux événements caractérisant la feuillaison sont mis en évidence à l'échelle du houppier à partir des stades suivants :

- V0 : défeuillaison complète ;
- V1 : gonflement des bourgeons, pas de feuilles développées ;
- V2 : bourgeons foliaires + feuilles épanouies (plus de 10% et moins de 50% des rameaux de l'individu) ;
- V3 : feuilles épanouies en majorité, stade de pleine feuillaison ;
- V4 : feuilles vertes + début de sénescence, feuilles sèches ou ayant changé de couleur (plus de 10% et moins de 50%)
- V5 : sénescence, plus de 50% des rameaux de l'individu ont des feuilles sèches, chute des feuilles.

Le stade 1 correspond à l'installation et le stade 5 à la disparition de la phase. Les stades 1, 2, 3 et 4 représentent pour un individu l'évolution au sein d'une phase déterminée. Le stade V0 est utilisé pour caractériser l'absence de feuille.

Le traitement des données

Une analyse en composantes principales (ACP) a été portée sur les données phénologiques. L'ACP réalisée est une approche qui utilise un tableau de variables quantitatives. Cette ACP, basée sur une corrélation de matrice, est utilisée pour décrire les relations entre les relevés (mois) et les variables phénologiques (stades).

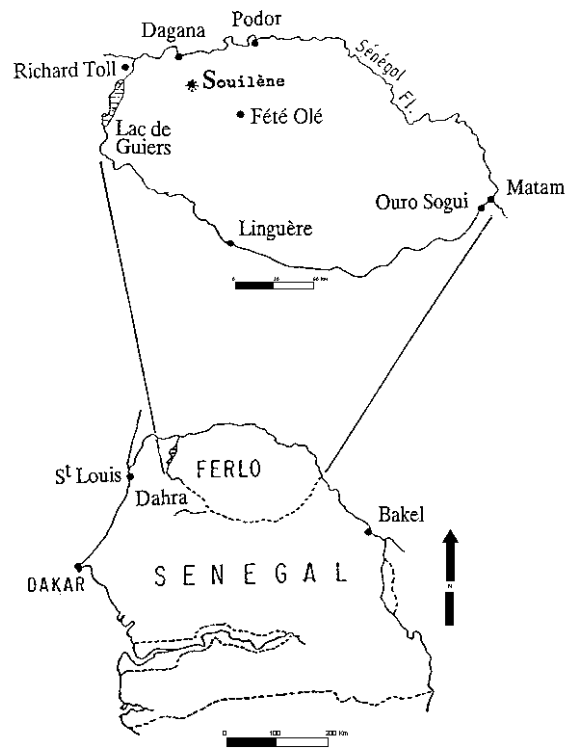


Figure 1 : Localisation géographique du Ferlo (Sharman, 1982) et de la station de Souilène (Fournier, 1995).



Photo 1 : Individu de *Acacia tortilis* en phase de débourrement foliaire en début de saison des pluies (Photo M. Diouf).

RESULTATS

Caractéristiques des précipitations et de la réserve hydrique du sol

La saison des pluies s'étend en moyenne de juillet à octobre (Figure 2). Les premières précipitations recueillies sont de 26 mm en 1999 (6 juillet) et de 11 mm en 2000 (25 juillet). Les mois de juillet, août et septembre concentrent plus de 90% des précipitations. Cela permet ainsi de distinguer dans l'année deux périodes : une période sèche de 8 ou 9 mois (octobre à mai ou juin) et une saison des pluies de 3 ou 4 mois (de juillet à septembre ou octobre).

Les précipitations recueillies lors des deux années de suivi sont de 317 mm en 1999 et 219 mm en 2000 réparties sur 31 et 24 jours respectivement. Deux mois ont été particulièrement pluvieux en 1999 ; ce sont les mois d'août et d'octobre avec des amplitudes mensuelles respectives de 122 et 104 mm. Pour la saison de 2000, le mois de septembre a été le plus pluvieux avec une amplitude de 83 mm. Le mois d'août n'a reçu que 76 mm. Les dernières précipitations ont toujours été enregistrées durant le mois d'octobre (18 octobre en 2000).

Les réserves hydriques enregistrées lors de la saison des pluies (juillet à octobre) sont toujours plus importantes (Figure 2). Du mois de janvier au mois de juin, les réserves hydriques sont identiques. Les réserves hydriques varient aussi d'une année à l'autre. Elles ont été nettement plus importantes en 1999 qu'en 2000 exception faite pour le mois de septembre dont l'arrêt des pluies en 1999 a fortement réduit la réserve hydrique du sol si bien que la teneur en eau du sol en septembre 2000 est plus élevée.

D'une manière générale, la variabilité de la réserve hydrique du sol est plus accentuée lors de la saison des pluies (juillet à octobre).

Caractéristiques de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et du déficit de saturation de l'air (dsat)

Entre octobre et novembre, les pertes d'eau par évapotranspiration ont été moins importantes en 1999 qu'en 2000 (Figure 2).

Malgré la différence des quantités de pluie enregistrées, le déficit de saturation de l'air (dsat) est sensiblement le même au cours des deux années à l'exception des mois d'avril de 2000 et de 2001 (Figure 3). Les valeurs les plus faibles sont de 0,71 kPa en août 1999 et 0,72 kPa en août et septembre 2000. A la fin de la saison des pluies (au cours du mois d'octobre), les valeurs du dsat sont inférieures à 2,5 kPa. En saison sèche chaude, les valeurs les plus élevées ont été enregistrées en avril 2000. Le déficit de saturation de l'air de la période allant de mai 1999 à avril 2000 est nettement plus important que celui de mai 2000 à avril 2001. De même, l'ETP de mai 1999 à avril 2000 est plus importante que celle de mai 2000 à avril 2001 (Figure 3).

Phénologie foliaire

Grands événements du cycle foliaire

Dans le Tableau 1 et la Figure 4 sont présentés les résultats de l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Ainsi, l'information apportée par le premier axe factoriel (axe F1) est nettement plus élevée (50,8%) que celle du second (33,4%). Ces deux premiers axes, qui constituent le plan principal, expriment 84,2% du tableau des données brutes. L'information semble aussi se stabiliser autour du 2^{ème} axe. Ces deux axes permettent donc de discriminer nettement le cycle phénologique de la feuille. C'est sur ce plan formé par les axes F1 et F2 que l'essentiel de l'analyse a porté. Les stades V3 ($r=0,95$), V0 ($r=0,86$) et V1 ($r=0,84$) sont bien corrélés à l'axe F1 (Figure 4) pour lequel ils apportent une part importante d'information (76,5%). Les stades V2 et V1, dans les abscisses négatives de l'axe F1, caractérisent la mise en place des feuilles et V3 le développement des feuilles. L'axe F2 fortement corrélé au stade V4 ($r=0,88$) explique 70,5% de la variation. Ce stade correspond à la chute partielle des feuilles.

Le plan principal formé par les axes F1 et F2 met ainsi en évidence trois grands événements dans le cycle de la feuille de *Acacia tortilis* dont l'initiation et la mise en place (ou le débourrement) des feuilles (V1 et V2), le développement et la croissance des feuilles

(V3) et la chute des feuilles (V4, V5 et V0). Cette chute des feuilles peut être partielle (V4 et V5) ou totale (V0). La chute partielle est soit précoce (V4), soit tardive (V5). La chute des feuilles commence au mois de janvier et concerne 37% des individus et 48% en février. La défeuillaison est plus importante au mois de mars (40% des individus en V4 et 40% en V5). Ce mois de mars compte aussi 18% des individus en V0. Ce stade V0 se retrouve aussi chez 34% des individus en avril.

Durée moyenne des événements identifiés

Dans le Tableau 2 est présentée la durée des événements de la phénologie foliaire de *Acacia tortilis* au Ferlo (Nord-Sénégal)

Il a été observé deux phases consécutives de débourrements foliaires pour chaque année. Le premier débourrement a été observé pendant la saison sèche chaude (avril-mai) et le second en juin et juillet. La seconde vague de bourgeonnement d’amplitude moins importante est intervenue à la suite d’une défeuillaison entre mai et début juillet. La croissance et la maturité des feuilles varient en moyenne de 7 à 8 mois alors que la défeuillaison dure 3 à 4 mois.

Tableau 1 : Information (% inertie) des axes factoriels.

AXES	F1	F2	F3	F4
Valeurs propres	3,05	2,00	0,64	0,30
Inertie (%)	50,80	33,40	10,70	5,00
Cumul Inertie(%)	50,80	84,20	94,90	99,90

Tableau 2 : Durée des événements de la phénologie foliaire de *Acacia tortilis* au Ferlo (Nord-Sénégal).

Événements	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov	Déc.	Jan.	Fév.	Mars
Débourrement												
Croissance et maturité												
Chute des feuilles												

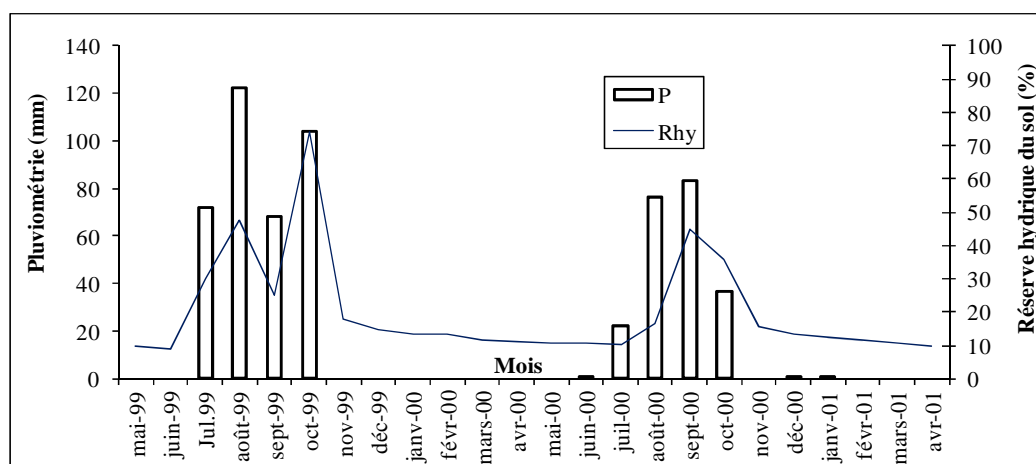


Figure 2 : Evolution mensuelle de la pluviométrie (Pi) et de la réserve hydrique du sol (Rhy) de mai 1999 à avril 2001.

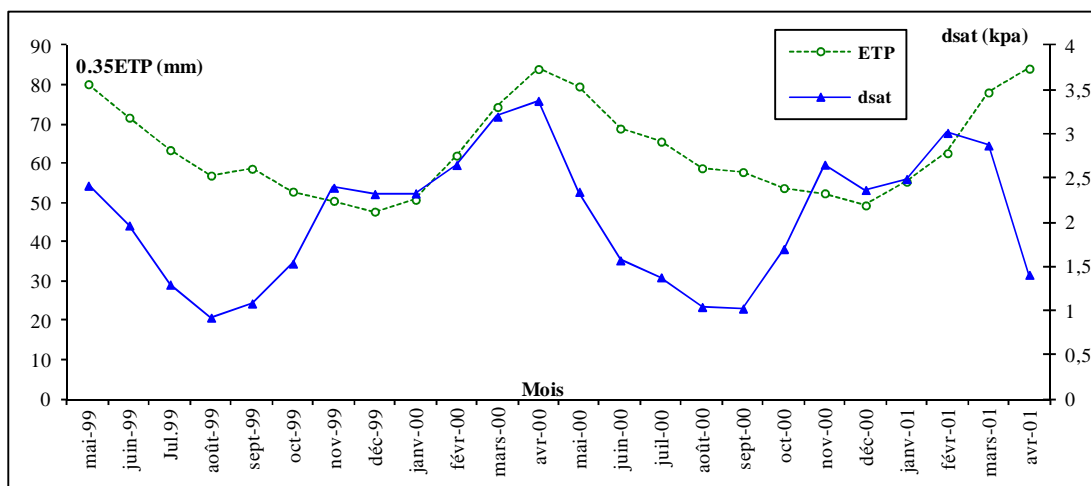


Figure 3 : Evolution mensuelle de l'évapotranspiration potentiel (ETP) et du déficit de saturation de l'air (dsat) de mai 1999 à avril 2001.

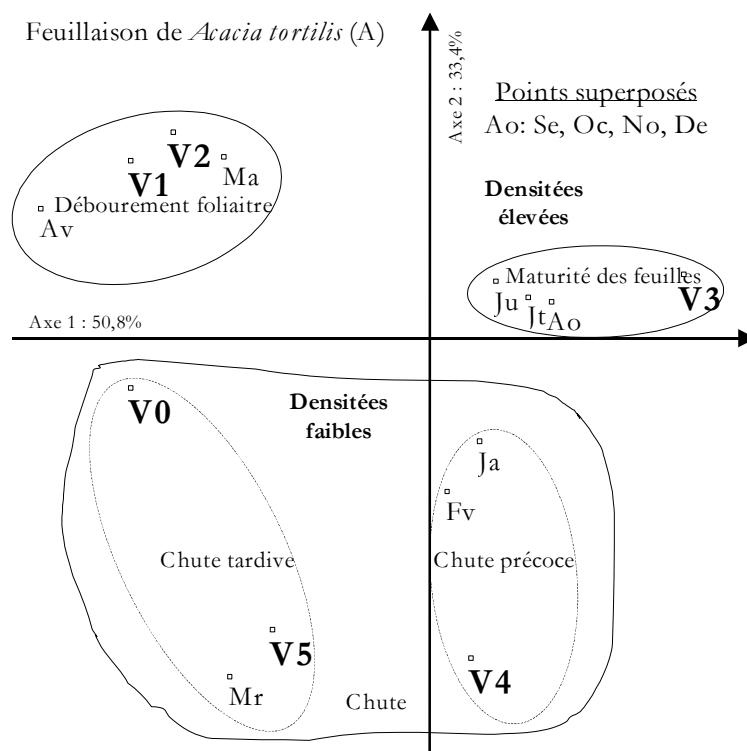


Figure 4 : ACP de la phénologie foliaire de *Acacia tortilis* dans le plan formé par les axes 1 (horizontal) et 2 (vertical).

DISCUSSION

Au Ferlo, les réserves hydriques du sol varient d'une saison à l'autre et d'une année à l'autre. Elles sont ainsi plus élevées en saison des pluies et particulièrement au mois d'août et septembre. Les quantités de pluie recueillies et la réserve hydrique du sol ont été plus importantes pendant la saison des pluies de 1999. Le cumul de précipitations des deux années permet de situer le site entre les isohyètes 200 et 400 mm qui correspond à la zone sahélienne. Cette variabilité des quantités de pluies enregistrées d'une année à l'autre caractérise l'irrégularité quasi constante des pluies dans la zone sahélienne, par ailleurs décrite par Akpo (1993). C'est dans ces conditions de variabilité climatique que le déterminisme de la feuillaison de 145 individus de *Acacia tortilis* a été étudié au Ferlo Nord-Sénégal.

Deux périodes de débourrement foliaire des arbres ont été identifiées. La première, qui concerne l'essentiel des individus de la population, a lieu entre avril et mai alors que la seconde intervient entre juin et juillet. Elles sont qualifiées de débourrement précoce et de débourrement tardif. Le débourrement précoce apparaît généralement avant l'installation des pluies. La disponibilité en eau de surface ne paraîtrait donc pas prépondérante pour la première mise en place du feuillage. Cela corrobore les observations de Do et al. (2005). Plusieurs hypothèses sont généralement émises pour expliquer le débourrement précoce d'espèces ligneuses. Selon Partanen et al. (1998), la mise en place des feuilles serait sous la dépendance de la photopériode. Diagne (2000), soutient que l'induction du bourgeonnement foliaire est liée à l'augmentation de l'humidité atmosphérique au mois de mai alors que Linkosalo et Lechowicz (2006) associent à la photopériode des paramètres climatiques. En effet, De Bie et al. (1998) estiment que le débourrement avant les pluies serait lié à une disponibilité des ressources d'eau détectée par les racines profondes des espèces ligneuses à feuilles caduques. Même

si le débourrement précoce est fonction des facteurs climatiques, le maintien des bourgeons et le développement des feuilles précocement épanouies dépendent de l'installation de la saison des pluies. Ces résultats notés en zone sahélienne sont contradictoires avec ceux obtenus sur des espèces ligneuses en forêt tropicale humide par Smith et al. (1992) qui stipulent que la fréquence d'épanouissement des feuilles serait de 8,5 fois plus faible en saison des pluies qu'en saison sèche.

A la suite d'un retard dans l'installation des pluies, une seconde vague de bourgeons se met en place entre juin et juillet chez *A. tortilis*. Pendant les deux années consécutives de suivi, un même arbre a présenté donc les deux types de bourgeonnement foliaire, c'est-à-dire précoce et tardif.

Même si l'influence des précipitations n'est pas établie dans la mise en place des feuilles, le développement et la croissance de celles-ci requièrent de l'humidité. Chez *A. tortilis*, la deuxième vague de bourgeons épanouis a été plus importante au cours de la seconde année d'observation dont les précipitations ont été plus régulières.

Dans la zone sahélienne, la saison des pluies ne dure que 3 à 4 mois mais, la réserve hydrique du sol en fin de saison des pluies devrait vraisemblablement assurer la poursuite de la croissance et la maturité des feuilles 2 à 3 mois après l'arrêt des précipitations. Ainsi, la durée de cet événement est de 7 mois. Ainsi, Do et al. (2005) expliquent en effet la poursuite de la phénologie des arbres pendant la saison sèche lorsque les réserves hydriques de surface sont épuisées par un prélèvement de l'eau dans les couches profondes du sol. En effet, Ces auteurs soulignent la présence de racines de *A. tortilis* au niveau de la nappe d'eau à 31 m de profondeur. En outre, Logbo et al. (2013) révèlent que la forte densité des racines ainsi que leur extension dans les couches profondes du sol sont favorables à une alimentation hydrique de la plante. Ces auteurs ajoutent que la présence de deux types de systèmes racinaires (horizontal et vertical)

chez *Acacia tortilis* ainsi que le développement de pivots surnuméraires en profondeur permettraient à cette espèce de s'alimenter en eau à partir de la nappe en période sèche (Logbo et al., 2013).

La durée de la défeuillaison est de 3 ou 4 mois. La défeuillaison débute en décembre et peut se maintenir jusqu'en avril. Elle coïncide ainsi avec le débourrement précoce des individus en avril. Or, durant cette période, une baisse de la réserve hydrique du sol et de la température de l'air est notée. De plus, c'est la période des jours plus courts que les nuits. Certains auteurs expliquent la sénescence des feuilles par des processus physiologiques qui régulent la quantité d'acide abscissique (ABA) dans le xylème en cas de stress hydrique (Correia et al., 1999 ; Chen et al., 2002). Or l'inhibition de la croissance des feuilles de *Acacia tortilis* intervient pendant la saison post-pluvieuse donc en période de stress hydrique. D'autres auteurs relient la sénescence des feuilles d'espèces ligneuses aux facteurs climatiques (De Medeiros et al., 2007 ; Yadav et Yadav, 2008 ; Rich et al., 2008), qui agiraient aussi sur le taux d'acide abscissique. La chute des feuilles pourrait aussi avoir une origine hydraulique dont la cavitation et l'embolie des éléments conducteurs (Cruziat et al., 2001).

Cette étude a mis en évidence trois grands événements qui caractérisent le cycle foliaire de *A. tortilis* dans la réserve sylvopastorale de Sogobé. A fin de mieux caractériser la disponibilité du fourrage ligneux vert de *A. tortilis* dans cette réserve, il s'avère opportun d'évaluer la variabilité de la production de biomasse foliaire.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été supportée par le projet Minimising competition in dryland agroforestry, INCO-DC/UE, l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) et l'ERA/USAID dont nous remercions. Nous remercions aussi le Professeur John W. B. SHIPLEY du département de Biologie végétal de l'Université de

Sherbrooke (Québec, Canada) pour son accueil et son appui durant notre séjour postdoctoral dans son laboratoire.

REFERENCES

- Akpo LE. 1993. *Influence du Couvert Ligneux sur la Structure et le Fonctionnement de la Strate Herbacée en Milieu Sahélien*. ORSTOM: Paris; 174.
- Arbonnier M. 2002. *Arbres, Arbustes et Lianes des Zones Sèches d'Afrique de l'Ouest*. Edn. CIRAD/MNHN: Quae, Paris.
- Chen S, Wang S, Hüttermann A, Altman A. 2002. Xylem abscisic acid accelerates leaf abscission by modulating polyamine and ethylene synthesis in water-stressed intact poplar. *Trees*, **16** : 16-22.
- 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 Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, p. 353.
- Correia M J, Rodrigues ML, Osório ML, Chaves MM. 1999. Effects of growth temperature on the response of lupin stomata to drought and abscisic acid. *Australian Journal of Plant physiology*, **26**: 549-559.
- Cruziat P, Améglio T, Cachard H. 2001. La cavitation : un mécanisme perturbant la circulation de l'eau chez les végétaux. *Mécanique & Industries*, **2**(4): 289-298.
- De Bie S, Ketner P, Paasse M, Geerling C. 1998. Woody plant phenology in the West Africa savanna. *Journal of Biogeography*, **25**: 883-900.
- De Medeiros DPW, Lopes AV, Zickel CS. 2007. Phenology of woody species in tropical coastal vegetation, northeastern Brazil. *Flora*, **202**: 513-520
- Diagne AL. 2000. Influence d'un déficit pluviométrique sur le fonctionnement hydrique foliaire de *Acacia tortilis* en zone semi-aride (Ferlo-Nord, Sénégal), Thèse

- de doctorat de 3^e cycle IES, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, p. 111.
- 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.
- Diouf M, Do F, Akpo LE, Goudiaby V, Rocheteau A. 2004. Variations spatiales de la structure spécifique d'un peuplement ligneux en milieu sahélien (Ferlo, Nord – Sénégal). *Ann. Bot. Afr. O.*, **3**: 75-86.
- Diouf M, Logbo J, Do F, Akpo LE. 2012. Variations topographiques de la fructification d'une espèce ligneuse fourragère, *Acacia tortilis* (Forst.) au Ferlo, Nord-Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(6) : 4094-5007.
- Do F, Goudiaby V, Gimenez O, Diagne AL, Diouf M, Rocheteau A, Akpo LE. 2005. Environmental influence on canopy phenology in the dry tropics. *Forest Ecology and Management*, **215**: 319-328.
- Floret C, Pontanier R. 1984. Aridité climatique, aridité édaphique. *Bul. Soc. Bot. Fr.*, **131**, Actual. Bot. (**2/3/4**) : 265-275.
- Fournier C. 1995. *Fonctionnement Hydrique de Six Espèces Ligneuses Coexistent dans une Savane Sahélienne (Région du Ferlo, Nord-Sénégal)*. TDM, Edn. ORSTOM, Paris; 166.
- Frankie GW, Baker HG, Opler PA. 1974. Tropical plant phenology: Applications for studies in community ecology. In *Phenology and Seasonality Modeling*, Lieth H (ed). Springer-Verlag: Berlin; 287-296.
- Grouzis M, Sicot M, 1980. A method for the phenological study of browse populations in the Sahel: the influence of some ecological factors. In *Browse in Africa, the Current State of Knowledge*, Le Houérou (éd). ILCA: Addis Abeba; 233-240).
- Grouzis M. 1990. *Phénologie des Ligneux Sahéliens : Aspects Méthodologiques et Influence des Facteurs du Milieu*. Edn. ORSTOM: Dakar; 10.
- Karembé M. 2001. Production végétale et utilisation des ressources pastorales des jachères en zone soudanienne-nord au Mali. Thèse de doctorat, Université de Bamako, Option Population-environnement, Bamako, p. 159
- Koehlin J. 1989. Adaptation des systèmes agro-pastoraux aux milieux du Niger et dans la Paraiba. In *Les Hommes Face aux Sécheresses*, Bret B (ed). IHEAL et EST, collection «Travaux et Mémoires», **42** : 317-321.
- Le Houérou HN. 1980. Rôle des ligneux fourragers dans les zones sahéliennes et soudanaises. CIPEA/ALCA, Actes et colloques sur les fourrages ligneux en Afrique, Addis-Abéba, Avril 1980, 85-101.
- Linkosalo T, Lechowicz MJ. 2006. Twilight far-red treatment advances leaf bud burst of silver birch (*Betula pendula*). *Tree Physiology*, **26**: 1249–1256.
- Logbo J, Diouf M, Ngaryo TF, Ameglio T, Akpo LE. 2013. Effet du stress hydrique sur l'architecture racinaire de jeunes plants d'*Acacia tortilis* (Forsk.), de *Balanites aegyptiaca* (L) Del., et de *Zizyphus mauritiana* Lam. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **7**(3) : 1011-1033.
- Mbow MA, Ngom S, Diouf M, Akpo LE, 2013. Prédiction de la qualité fourragère des feuilles de *Sterculia setigera* Del. par la méthode de la Spectroscopie Proche Infra Rouge (SPIR). *Journal of Applied Biosciences*, **62**: 4628– 4636.
- Michel P. 1969. Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. Doctorat ès sc., Strasbourg, p. 1167.
- Partanen J, Koksi V, Hänninen H. 1998. Effects of photoperiod and temperature on the timing of budburst in Norway spruce (*Picea abies*). *Tree Physiology*, **18**: 811-816.
- Rich PM, Breshers DD, White AB. 2008. Phenology of mixed woody–herbaceous ecosystems following extreme events:

- net and differential responses. *Ecology*, **89**(2): 342–352.
- Salack S, Muller B, Gaye AT Gaye, 2011. Rain-based factors of high agricultural impacts over Senegal. Part I : integration of local to subregional trends and variability. Theoretical and Applied Climatology. doi : 10.1007/s00704-011-0414-z.
- Sarmiento G, Manasterio M. 1983. Life forms and phenology. In *Ecosystems of World 13 : Tropical Savanna*, Bourlière F (ed). Elsevier : Amsterdam, 79-108.
- Ségalien P, Frauck R, Lamouroux M, Perraud A, Quantin P, Roederer P, Viellefon J. 1979. *Projet de Classification des Sols*. ORSTOM : Paris ; 301.
- Sharman M, 1982. *Rapport sur les Vols Systématiques de Reconnaissance au Ferlo*. EP/SEN./001. FAO, Rome, UNEP: Nairobi; 48.
- Smith AP, Hogan KP, Idol JL. 1992. Spatial and temporal patterns of light and canopy structure in a lowland tropical moist forest. *Biotropica*, **24**: 503-511.
- Stevenson PR. 2004. Phenological patterns of woody vegetation at Tinigua park, Colombia: methodological comparisons with emphasis on fruit production. *Caldasia*, **26**(1): 125-150.
- Tshibangu KWT. 2010. Etude corrélative entre la phénologie du *Pericopsis elata* HARMS et les paramètres écoclimatiques dans la région de Yangambi en République Démocratique du Congo. *Geo-Eco-Trop.*, **34**: 127 – 138.
- Yadvav RK, Yadav AS. 2008. Phenology of selected woody species in a tropical dry deciduous forest in Rajasthan, India. *Tropical Ecology*, **49**(1): 25-3.