

2V0000070

6/8 70

ok

MINISTERE DU DEVELOPPEMENT
RURAL

INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES
AGRICOLES (I.S.R.A.)

LABORATOIRE NATIONAL DE L'ELEVAGE
ET DE RECHERCHES VETERINAIRES

DAKAR-HANN

FONDATION INTERNATIONALE POUR LA SCIENCE
(F.I.S.)

SEMINAIRE SUR LA GESTION DE L'EAU ET DES RESSOURCES
NATURELLES POUR AMELIORER LA PRODUCTION AGRICOLE
NIAMEY 9 AU 14 MARS 1987

APPLICATION DE LA METHODE DU BILAN HYDRIQUE
ET DE LA TELEDETECTION A L'ESTIMATION DU DISPONIBLE
FOURRAGER DES PARCOURS NATURELS DU NORD SENE GAL (FERLO)

Par Kh. DIEYE

(REF. 37 / AGROSTO.)

S O M M A I R E

INTRODUCTION

1 - METHODE D'ESTIMATION DE LA PRODUCTION FOURRAGERE DES FORMATIONS LIGNEUSES

1.1 - Matériels et méthodes

1.2 - Applications à l'aménagement des parcours naturels

1.2.1 - Résultats

1.2.2 - Applications

II - EVALUATION DE LA BIOMASSE EPIGEE DES FORMATIONS HERBEUSES PAR LE BILAN HYDRIQUE

2.1 - Relation biomasse épigée/pluies utiles

2.1.1 - Matériel et méthodes

2.1.1.1 - Collecte des données

2.1.1.2 - Evaluation de la pluie utile

2.2 - Relation biomasse et réserve utile des sols

2.2.1 - Eléments bibliographiques

2.2.2 - Objectifs

2.2.3 - Matériel et méthodes

2.2.4 - Résultats

2.2.4.1 - Bilan hydrique mesuré

2.2.4.2 - Bilan hydrique simulé

2.2.4.3 - Validation application

III - EVALUATION DE LA BIOMASSE EPIGEE DES FORMATIONS HERBEUSES PAR LA TELEDETECTION

3.1 - Matériel et méthodes

3.2 - Résultats et applications

CONCLUSION

INTRODUCTION

Pour une saison pluvieuse donnée, il importe, en milieu sahélien, de pouvoir procéder, de façon rapide et suffisamment fiable, à l'évolution quantitative et qualitative du disponible fourrager. Cette démarche a pour but de parvenir dans le temps et dans l'espace, à définir les modalités d'exploitation rationnelle des parcours naturels. Il s'agit de produire régulièrement (tous les 10 jours) des cartes de biomasse élaborées du début jusqu'à la fin de la saison des pluies. Les cartes de biomasse fournies aux autorités permettront à ces dernières d'organiser, entre autres activités, la transhumance, la lutte contre les feux de brousse, la lutte contre les phénomènes de dégradation, etc.. La réalisation de cet objectif, repose sur la modélisation de la production primaire. La modélisation pose néanmoins des problèmes difficiles et fort complexes à résoudre, lorsqu'il s'agit des formations naturelles spontanées. En effet, il est bien connu que la production primaire d'un végétal est la résultante de l'action combinée de plusieurs facteurs. Ces derniers peuvent être propres aux plantes et particulièrement sur le plan physiologique. Ils sont également liés à l'alimentation minérale, aux facteurs hydriques et énergétiques. L'étude de tous ces facteurs nécessiterait des moyens matériels, financiers et humains dont nous ne disposons pas,

Cette communication expose les résultats obtenus par le service d'Agropastoralisme du LNERV/ISRA*, pour le développement de techniques fiables, relativement simples et directement opérationnelles au Ferlo* pour l'évaluation du disponible fourrager des formations ligneuses d'une part et d'autre part de la végétation herbacée spontanée. Dans le premier cas, les travaux effectués portent sur la recherche de relations allométriques entre la production foliaire et les paramètres tels que le biovolume du houppier et la circonférence de l'arbre. Dans le second cas, après l'analyse des relations entre la biomasse épiquée et la pluie totale, nous exposons les résultats partiels obtenus en travaillant directement sur le bilan hydrique déterminé suivant la méthode de FOREST et DANCETTE (IRAT/FRANCE), celle de PETIT et POPOV (FAO), celle de BROCHET et GERBIER (OMM/FRANCE) ainsi que celle de BACQUERO (Espagne).

.../...

* ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

* Ferlo : Partie Septentrionale du Sénégal

1 - METHODES D'EVALUATION DE LA PRODUCTION FOLIAIRE DES FORMATIONS LIGNEUSES

Les formations ligneuses jouent un rôle prépondérant dans l'alimentation du cheptel dans la région sahélienne du Nord Sénégal (Ferlo). Ce rôle d'autant plus marqué au cours de la saison sèche, se traduit par des proportions élevées dans la ration alimentaire comme en attestent les travaux du LNERV ; bovins et ovins (25-50 %) ; caprins (75-85 %) (H. GUERIN, 1985).

Outre l'apport considérable sur le plan nutritionnel, les formations ligneuses revêtent également une importance capitale dans le domaine de l'inventaire, du suivi et de l'aménagement ; éléments qui représentent des actions de recherches démarrées depuis 1979 avec le projet LAT/(G. BOUDET 1979). Depuis 1985, nous avons travaillé sur la détermination de la production foliaire qui constituait une lacune dans nos activités. Parmi les multiples problèmes que suscitent l'estimation de la production foliaire des ligneux, l'approche méthodologique représente sûrement l'aspect le plus délicat à résoudre.

1.1 - Matériel et méthodes

1.1.1 - Eléments bibliographiques

Au Sénégal, les travaux de H. POUPON 1980 constituent l'unique référence bibliographique. Cet auteur utilise une équation de regression logarithmique, établie au préalable par KITTREDGE (in POUPON H. 1980). L'équation utilisée est de la forme $\log P = a + \log C$ (avec P = production foliaire en gr. et C = circonférence en cm). Les résultats obtenus restent cependant d'une application limitée à cinq (5) espèces : *Commiphora africana*, *Acacia senegal*, *Balanites aegyptiaca*, *Grewia bicolor* et *Boscia senegalensis*.

A la même époque, CISSE M.I. 1980 publiait les résultats des travaux réalisés au Mali avec la même formule et portant sur *Pterocarpus Zucens*, *Ziziphus mauritiana*, *Commiphora africana* et *Balanites aegyptiaca*.

Pour toutes les espèces, ces deux auteurs ont enregistré une corrélation hautement positive entre le logarithme de la biomasse et de la circonférence (Sénégal d'une part et d'autre part, la circonférence du tronc, la hauteur de l'arbre et la

surface de la couronne.

Parmi tous les paramètres étudiés, la relation production foliaire et la circonférence du tronc fournit les meilleurs résultats,

L'application de ces résultats aux formations ligneuses sur l'ensemble de la région étudiée (Ferlo) couvrant une superficie de 30 000 km², a posé des difficultés de deux ordres. D'abord, il est bien connu que les ligneux réagissent différemment sur le plan comportemental selon l'impact de la zone climatique. On note également une variabilité individuelle et interannuelle de la production foliaire (H. POUPON : 1980. Compte tenu de ces facteurs, nous avons inventoriés les espèces les plus représentatives du Ferlo à savoir 17 espèces sur lesquelles porte notre travail 1, à l'exception de *Commiphora africana* qui n'était pas en feuillaison lors de notre passage.

1.1.2 - Collecte des données

C'est en période de pleine feuillaison des arbres que les données ont été collectées suivant un transect Nord-Sud et couvrant les systèmes dunaires et la partie ferrugineuse. Sur chaque site, on a prélevé un nombre d'individus allant des arbustes jusqu'aux grands arbres. Pour chaque individu, les paramètres suivants ont été mesurés ou estimés : la hauteur du tronc (H_1) jusqu'à la base du houppier, la hauteur du houppier (H_2), la circonférence du tronc (cm) à la base du houppier, le grand axe (A_1), le petit axe (A_2) de la projection au sol de la surface du houppier.

En assimilant le houppier à une calotte ellipsoïde, on détermine le volume de l'arbre en utilisant la formule :

$$V = 1/6 \pi D_1 H_2$$

Pour chaque individu "échantillon", la production foliaire a été déterminée par élagage et effeuillage de toutes branches. Les mesures sont exprimées en matière sèche à partir d'un échantillon vert à poids connu, séché et pesé après passage à l'étuve (105°C).

1.2 - Résultats et applications

1.2.1 - Choix de modèles appropriés et tests de validité

A raison de 25 échantillons à l'exception de *Combretum glutinosum* et de *Feretia apodanthera*, 415 échantillons ont été collectés pour seize (16) espèces.

Grâce au recours à l'ordinateur, l'exploitation des données a pu être réalisée en envisageant toutes les combinaisons possibles : en regression simple et en ajustement Logarithmique.

L'annexe 1 fournit les variables qui donnent les meilleures corrélations avec la production foliaire.

Sur la base de l'annexe 1, on a procédé à un classement par ordre décroissant des coefficients de regression significatifs entre la production foliaire (P) et les deux paramètres étudiées tels que le biovolume et la circonférence sur lesquels ont été effectués par ailleurs des transformations logarithmiques.

L'annexe 2 présente six (6) catégories d'équations.

Analysant ce document (annexe 2), on peut s'apercevoir que les meilleures corrélations sont obtenues entre la production foliaire et le biovolume. Cette dernière variable intervient 12 fois sur 16 ; logarithme (P)/biovolume et logarithme (P)/logarithme de la circonférence (C), interviennent ensuite respectivement 5 fois pour 16 espèces, logarithme (P)/circonférence dans l'équation de 3 et 4^{ème} ordre, logarithme (P)/biovolume et Production (P) et logarithme (C) pour l'équation de 5^{ème} ordre. Enfin (P)/logarithme (C) pour l'équation de 6^{ème} ordre.

TABLEAU N° 1 - CHOIX DES VARIABLES CORRESPONDANT A DES COEFFICIENTS
DE REGRESSION SIGNIFICATIFS SELON L'ORDRE DES EQUATIONS

TYPES D'EQUATIONS	1 ^{er} ORDRE	2 ^e ORDRE	3 ^e ORDRE	4 ^e ORDRE	5 ^e ORDRE	6 ^e ORDRE
* P = f(BV)	<u>12</u>	2	2	0	0	0
P = f(C)	0	3	0	3	1	0
P = f(LnC)	0	0	2	1	<u>4</u>	<u>5</u>
*Ln P = f(BV)	0	<u>5</u>	2	2	<u>4</u>	1
*Ln P = f(C)	0	1	<u>5</u>	<u>5</u>	2	2
Ln P = f(Ln BV)	2	0	0	1	0	0
Ln P = f(Ln C)	2	<u>5</u>	2	1	0	2

On observe également (annexe 2) que toutes les variables, en général présentent des coefficients de corrélation significatifs au seuil de probabilité de 0,05. Partant d'une stratification verticale des formations ligneuses : arbustes bas (1-125 cm), arbustes hauts (126-200 cm), des arbres bas (200-400 cm) et des arbres hauts (+ de 8 m), nous avons procédé à un test de validité de la production primaire obtenue pour chaque espèce, respectivement avec chacun des six modèles (Tableau N° 2).

Pour *Balanites aegyptiaca* (Tableau N° 3), la biomasse calculée est comparée, à titre d'exemple à la biomasse théorique obtenue respectivement par l'équation de 1^{er} et 2^{ème} ordre. Dans le premier cas, les valeurs de X^2 trouvée chez les arbustes "bas", arbustes "hauts" et arbres "bas", sont inférieures au $X^2 (0,05)$. Le biovolume semble par conséquent refléter une réalité certaine et les différences observées sont imputables aux erreurs d'échantillonnage.

Par contre l'équation de 2^{ème} ordre, semble introduire des divergences significatives ($X^2 = 0,05$), dès qu'on rentre dans la catégorie des ligneux "hauts" (arbuste: hauts, arbres bas) (Tableau N° 3). On note également, pour cette deuxième équation, que l'hypothèse de divergence n'est pas vérifiée dans les arbustes hauts ($X^2_{0,01}$). Chez les arbustes la divergence est constatée dans tous les cas. (tableau n° 3)

TABLEAU N° 2 - RELATION ENTRE LA PRODUCTION FOLIAIRE DES LIGNEUX ET LES PARAMETRES
MESURES : BIOVOLUME (m³) ET CIRCONFERENCE (cm),

ESPECES	NOMBRE D'INDIVI- DUS COUPES	PERIODE DE FEUILLAISSON				REGRESSION SIMPLE	r	EQUATIONS DE RE- GRESSION (Ajustement loga- rithmique)	r
		NAVETT juil-Oct.	LOLLI Nov.-Janv	NOR fév.-Avr.	TIOVONE Mai-Juin				
ilanites aegyptiaca	25	(A.X	FrF)			BM = 0,402 BV + 0,033	0,913	LnP=1,8830 + 1,40 LnC	0,900
acia senegal	25	(A.X	Fr) 1/2			LnP= 3,04 - 2,04 LnC	0,972	LnP= 3,041 LnC - 2,04	0,971
acia raddiana	25	(TA.X	Fv.Fr)			P = 0,153 BV = 0,612	0,893	LnP= 0,748 LnBV+0,893	0,872
acia seyal	25	(A)				LnBM = 2,23 + 0,98LnC	0,908	LnP=0,0739 C + 5,595	0,824
olérocarya birrea	25	(A.X	Fr)			LnBM= 0,7008 BV= 9,265	0,817	P = 0,651 BV - 64,215	0,786
ziphus mauritiana	25	(A)				P = 0,342 BV - 9,161	0,951	P = 1,853 C - 87,52	0,803
uhinia rufescens	25	(A.X	F. Fr)			P = 0,256 BV + 2,72	0,896	Ln = 2,343 + 1,41 LnC	0,806
iera senegalensis	20	(A)				P = 0,627 BV + 1,872	0,970	Ln = 2,43 + 1,59 LnC	0,902
érocarpus lucens	25	(TA. Bo	F.Fr)			P = 0,684 BV - 13,71	0,877	Ln = 1,951+2,680 LnC	0,779
retia apodanthera	25	(A.X	F)			LnBM= 0,164 BV + 7,06	0,721	P = 0,897 BV - 0,645	0,459
albergia melanoxylon	25	(A.X	Fv.FsFr)			P = 0,194 BV + 8,47	0,817	LnP= 0,0093 BV + 9,05	0,713
ewia bicolor	25	(TA. Bo	F) 1/2			P = 0,820 BV + 4,65	0,940	LnP= 0,228 BV + 9,36	0,914
ogrissus leiocarpus	25	(A.Bo	jF.jr)			P = 0,157 BV + 22,05	0,752	P = 0,0023 BV + 10,2	0,72
tiagnina inermis	25	(TA ou c	p Fv Fr)			P = 0,980 BV - 2,30	0,874	LnP= 0,017 BV + 9,56	0,833
oscia senegalensis	25	(PA	AX F.Fr)			P = 0,848 BV + 1,246	0,961	LnP= 2,442 + 1,78 C	0,878
ombretum acculeatum	25	(TA	X Frjr)			P = 0,790 BV - 0,134	0,947	LnP= 0,542 BV + 5,47	0,893

. P = Production foliaire (kg MS)

BV = Biovolume (m³)

C = Circonférence

. Appétabilité de quelques espèces ligneuses

* PA = peu appréciée

A = appréciée ou recherchée

TA = très appréciée

X = tous les animaux

Bo = bovin

. Ln : Logarithme népérien

* F = feuille verte ou sèche

Fv= feuille verte

Fr= fruit vert ou sec

jr= jeunes rameaux

TABLEAU N° 3 - VERIFICATION DE LA VALIDITES DES MODELES
DE 1^{er} ET 2^{eme} ORDRE DE *BALANITES AEGYPTIACA*

($P = c^{1,883} \times c^{1,4}$: en gr pour la 2^{ème} équation)

CLASSES DE HAUTEUR (cm)	CIRCON- FERENCE DU TRONC (cm)	BIOVOLUME (m ³)	PRODUCTION FOLIAIRE (kg MS)			AJUSTEMENT	
			Calculée (1)	P = f(BV) (2)	P = f(LnC) (3)	1 et 2	1 et 3
3 : (50-75)	3	0,170	0,177	0,101	0,031	ddl = 7	= 7
3 : (50-75)	4	0,094	0,028	0,071	0,006		
3 : (50-75)	8	0,046	0,050	0,050	0,121	$X^2_{0,03} = 14,07$	= 14,07
4 : (75-100)	10	0,419	0,429	0,201	0,165		
4 : (75-100)	10	0,216	0,133	0,120	0,165		
5 : (100-125)	7	0,079	0,065	0,065	0,100	$X^2_{0,01} = 18,48$	= 18,48
5 : (100-125)	7	0,163	0,347	0,098	0,100		
5 : (100-125)	13	0,451	0,385	0,214	0,238	$X^2_{Cal} = 1,11$	= 1,95
6 : (125-150)	18	1,727	0,958	0,787	0,376		
6 : (125-150)	10	0,146	0,180	0,092	0,165	ddl = 9	9
6 : (125-150)	17	1,357	1,365	0,58	0,347	$X^2_{0,05} = 10,92$	= 10,92
6 : (125-150)	12	0,730	0,540	0,326	0,213		
7 : (150-175)	13	0,932	0,765	0,410	0,238	$X^2_{0,01} = 21,67$	= 21,67
7 : (150-175)	16	0,617	0,624	0,281	0,319		
7 : (150-175)	17	1,924	0,652	0,806	0,347	$X^2_{Cal} = 5,5$	= 15,21
8 : (175-200)	13	1,414	0,819	0,601	0,238		
8 : (175-200)	25	0,994	1,587	0,432	0,238		
8 : (175-200)	15	3,351	0,743	1,380	0,596		
9 : (200-400)	26	4,477	1,491	1,833	0,629	ddl = 6	6
9 : (200-400)	40	14,996	2,368	6,061	1,150	$X^2_{0,05} = 12,59$	= 12,59
9 : (200-400)	21	3,534	1,444	1,454	0,466		
9 : (200-400)	27	4,72	2,976	1,927	0,663	$X^2_{0,01} = 16,81$	= 16,81
9 : (200-400)	39	15,71	4,626	1,930	1,110		
10 : (400-800)	57	29,322	15,341	11,82	1,887		
10 : (400-800)	30	15,71	2,667	6,348	0,769	$X^2_{Cal} = 9,83$	=

1.2.2 - Applications des résultats à l'aménagement des parcours naturels

De nos jours, l'évaluation du disponible fourrager des parcours naturels sénégalais, est déterminée sur la base des espèces **berbacées** annuelle, la composante ligneuse n'étant pas prise en compte. Les travaux de J. VALENZA et A.K. DIALLO, 1972 montrent qu'en saison sèche et sur cinq types de sols, l'estimation de la valeur fourragère en apport énergétique varient de 0,30 à 0,42 par kg MS. La valeur azotée digestible (MAD) ne dépasse guère 19 g MAD par Kg MS. Confrontant ces valeurs à celles établies par G. BOUDET et RIVIERE, 1968; les formations herbacées spontanées qui constituent l'essentiel de l'alimentation du cheptel, ne permettent que la couverture des besoins d'entretien de l'UBT. Pour cette dernière, G. BOUDET et RIVIERE définissent les besoins d'entretien, y compris les déplacements (15 km), à 3,1 UF et 181 MAD par jour. Or, les nombreuses analyses bromatologiques montrent l'importance de la composante ligneuse surtout pendant la saison sèche. Ces travaux ont été réalisés par de nombreux auteurs parmi lesquels Maïmouna S. DICKO au Mali, H. GUERIN au Sénégal, 1985. On citera également les travaux de H.N. LE HOUEROU, 1980.

Depuis 1985, le fourrage ligneux est pris en compte dans l'expression de la capacité de charge. Toutefois, une des difficultés majeures réside dans la détermination de la biomasse accessible aux animaux.

La production foliaire des ligneux dépend de la densité des individus à l'hectare et de la stratification verticale, C'est dans ce contexte que nous avons complété le protocole de suivi continu du projet LAT/GRIZA, initié par G. BOUDET (1979-80-81) et celui du projet écosystèmes pastoraux (1983) en mesurant les paramètres suivants :

- Petit axe et grand axe de la projection de la surface du houppier
- Hauteur du tronc et du houppier en utilisant une perche de 2 m graduée en classe de 25 cm : Classe 1 (0-25 cm) ; classe 2 : (26-50) ; classe 3 : (51-75 cm) ; classe 4 (76-100 cm) ; classe 5 : (101-125 cm) ; classe 6 : (126-150 cm) ; classe 7 : (151-175 cm) ; classé 8 : (175-200 cm), classe 9 (2 à 4 m) ; classe 10 : (4-8 m) ; classe 11 : (+8 m)

Cette division en classe a permis de déterminer la production foliaire accessible, celle qui ne l'est pas directement par les animaux mais susceptible d'être élaguée. (Tableau N° 4).

TABLEAU N° 4 - DETERMINATION DE LA PRODUCTION FOLIAIRE LIGNEUSE ACCESSIBLE PAR LES ANIMAUX
(Kg MS ha⁻¹ Ex de MB. 22. 1985)

ESPECES	CLASSES (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	NOMBRE D'INDI- VIDUS ha ⁻¹	
		0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-400	4-8 m	+8 m	Fr. Abs, Totale	Fr. rel. Totale
<i>Alanites egyptiaca</i>	Fr. abs.							<u>1</u>		<u>18</u>			<u>25</u>	28,7
	P. (kg MS)							12		40,8				
<i>Acacia negalensis</i>	Fr. abs.	<u>2</u>	<u>4</u>	<u>12</u>	<u>7</u>					<u>18</u>			<u>43</u>	49,4
	P. (kg MS)	3,04	5,28	19,54	19,42					32,2				
<i>Acacia negal</i>	Fr. abs.				<u>10</u>				<u>9</u>				19	21,8
	P. (kg MS)				7,22				48,78					
Fréquence ab- solute totale	Fr. abs.	<u>2</u>	<u>4</u>	<u>12</u>	<u>17</u>			<u>1</u>	<u>9</u>	<u>36</u>			<u>Σ = 87</u>	
Fréquence re- lative totale	Fr. rel. (%)	2,3	4,6	13,8	19,5			8,06	10,3	41,4				99,9
Production accessible	47,28 kg MS ha ⁻¹					-								
Production non accessible	-					140,70 47,28 kg MS ha ⁻¹								
Production totale	187,98 kg MS ha ⁻¹													

(En souligné les fréquences absolues)

CONCLUSION

Disposant de placeaux fixes, répartis sur la quasi totalité du Nord Sénégal (30 000 km²) et implantés systématiquement à 2 et 5 km des forages, (G. BOUDET, 1979) les recherches sur les arbres fourragers constituent un élément du programme agro-pastoraliste.

L'inventaire et le suivi continu de ces placeaux fixes, feront l'objet d'un traitement informatique grâce à l'utilisation de formulaires préparés à cet effet. Toutefois, il est certain que le choix du modèle le plus approprié et son application concrète nécessitent d'être approfondis et en prenant compte notamment la variabilité des facteurs stationnels, temporels, en termes de croissance, adaptation à la coupe, comportement phénologique, etc...

II - EVALUATION DU DISPONIBLE FOURRAGER DES FORMATIONS HERBACEES PAR LE BILAN HYDRIQUE

De nombreux auteurs ont cherché à établir des relations analytiques entre biomasse épigée des formations herbeuses et la pluie totale ou des indices de pluies utiles. On citera les travaux de J.C. BILLE (1977) et de A. CORNET (1981), réalisés à Pété Qlé dans le Nord Sénégal et de ceux de H. BREMAN et al. (1982) dans le ranch de Niono (Mali). SICOT et GROUZIS (1981), de même que H.N. LE HOUEROU et Ch. HOSTE (1977) entreprirent, respectivement le même travail dans la zone sahélienne du Burkina Faso et de la Tunisie.

Dans le cadre de la synthèse des travaux agrostologiques effectués dans le Nord Sénégal durant les vingt dernières années, nous avons collationner une série de données concernant la biomasse. Ces données sont analysées en termes de relations analytiques avec la pluie totale et une formulation simple du bilan hydrique. Les résultats obtenus montrent l'existence de facteurs limitant la généralisation de ces modèles et qui sont liés essentiellement aux différents types de sols et à leurs caractéristiques hydriques. Pour cette raison, nos travaux ont été orientés, depuis 1984, vers une autre démarche méthodologique faisant intervenir le bilan hydrique.

2.1 - Relation biomasse épigée/pluies utiles

2.1.1 - Matériel et méthodes

2.1.1.1 - Collecte des données

La compilation des documents agrostologiques relatifs à la région Nord Sénégal a permis de collationner depuis 1979, 779 données de biomasse effectuées par des auteurs, travaillant en équipe et utilisant la même démarche méthodologique : J. VALENZA et A.K. DIALLO (1972), J. VALENZA et Kh. DIEYE (1983), G. BOUDET et al. (1983), A. GASTON (1980-83), Kh. DIEYE et A. GASTON (1984-85-86) .

Chaque biomasse est complétée par une localisation géographique du site de prélèvement, d'éléments descriptifs de variables stationnelles (topographie, type de sols) et des variables temporelles (pluies annuelles). La finalité de ce travail cherche à établir des relations entre la biomasse et la pluie utile selon la distance aux postes pluviométriques le plus proches et des différents types de sols.

2.1.1.2 - Evaluation de la pluie utile

Dans la pratique, on a longtemps considéré le mois comme unité de temps d'observations pluviométriques.

A l'évidence, les moyennes mensuelles saisonnières, tout au moins, en milieu sahélien, ne peuvent pas refléter la qualité de la répartition de la pluie dans le temps et dans l'espace, encore moins les conséquences sur le cycle végétatif de la strate herbacée. Pour conférer à la pluie une signification réellement biologique, il a été défini la notion de pluies utiles, qui équivaut à la quantité de pluies enregistrées, diminuées des pertes par évapotranspiration (ETP) et par ruissellement. Cette quantité d'eau serait suffisante pour provoquer une bonne germination et assurer le bon développement et la croissance végétale, à condition que la première pluie soit supérieure ou égale à 6 mm suivie par des pluies de 2 mm par jour au cours de la première décade suivante sinon le cycle est stoppé (G. BOUDET : 1983). Très peu de renseignements existent dans la bibliographie concernant les pertes par ruissellement des sols sahéliens. Des valeurs de pertes par ruissellement et percolation sont néanmoins admises. (Memento de l'agronome . Min. coop. Française, 1980).

- a> sol sableux : 5 % de ruissellement (R) et 40 % de percolation soit 45 %
- b) sol moyen : 40 % de ruissellement (R) et 10 % de percolation soit 50 %
- c) sol argileux : 15 % de ruissellement et 5 % de percolation soit 20 %.

Les valeurs moyennes de l'ETP ont été calculées sur 5 ans d'après les mesures effectuées à Pété 01é et à Dahra en appliquant aux mesures d'évaporation, les coefficients de DANCETTE (1981) (0,78 en hivernage et 0,65 en saison sèche)

	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE
ETP/j. (mm)	6,70	5,4	4,70	4,30

Les données collectées ont permis d'établir des corrélations entre la biomasse et la pluie totale d'une part et d'autre part la pluie utile ($P_u = P - ETP - R$). Les meilleurs résultats sont obtenus par la relation pluie totale et biomasse. Une transformation logarithmique de cette dernière variable permet d'améliorer les coefficients de corrélation (tableaux N°5 et 6). Toutefois, ces résultats suscitent des réserves lorsqu'il s'agit de leurs généralisations. L'analyse des tableaux 5 et 6 appellent à cet effet, deux remarques.

En terme de quantité de matière sèche (P) produite par un millimètre de pluie, la distance du site de prélèvement de la biomasse par rapport aux postes pluviométriques, ne semble pas jouer un rôle déterminant dans la variabilité de la biomasse. Par contre, on observe que cette quantité de matière sèche élaborée par un millimètre de pluie varie d'un type de sol à un autre : 4,5 à 5,5 kg MS mm⁻¹(PS) 2,6 à 3,8 kg MS mm⁻¹(PA), 3,5 à 4 kg MS mm⁻¹(D) ; 2,5 à 3 kg MS mm⁻¹(G)

- Sur la base du coefficient de corrélation, il se dégage des tableaux 5 et 6, que les meilleures corrélations sont obtenues sur les systèmes dunaires (D) suivis par les parcours de type PS, et de type PA.

Les parcours de type "G" sont manifestement plus sujets aux phénomènes de dégradation. Les corrélations sont négatives voire positives mais non significatives sur les 5 premiers kilomètres. Au-delà, la corrélation est positive bien que faible. Cependant, elles ne sont significatives qu'au seuil de 95 %.

Par ailleurs, le traitement de la totalité des données, compte non tenu de la différenciation des types de sols constitue inévitablement une source de sous-estimations ou de surévaluation du disponible fourrager (Tableaux 5 et 6).

1.2.1 - Résultats

1.2.1.1. - Relations simples entre biomasse/pluie totale et pluie utile

TABEAU 5 - ESTIMATIONS DE LA BIOMASSE ET COEFFICIENTS DE CORRELATION

a. Relation pluies totales/biomasse

b. Relation pluie utile (P = ETP)

DISTANCES AUX POSTES		TYPE DE PARCOURS					TYPES DE PARCOURS				
PLUVIOMETRIQUES		PS	PA	D	G	Totalités relevées	PS	PA	D	G	Totalités relevées
KM2	P N r	5,5 96 0,51 (S) (S)	3,84 10 0,67 (S) (NS)	-	2,51 9 0,32 (NS)	4,55 116 0,45 (S)	5,32 96 0,36 (S)	1,50 10 0,32 (NS)		0,65 9 0,06 (NS)	3,4 116 0,27 (S)
KM5	P N r	4,79 216 0,54 (S)	2,64 31 0,54 (S)	3,39 7 0,73 (SN)	3,88 21 0,30 (NS)	4,2 281 0,50 (S)	5,4 216 0,43 (S)	0,63 31 0,13 (NS)	7,01 4 0,86 (S)	0,59 4 0,03 (NS)	3,76 286 0,33 (S)
KM10	P N r	4,67 802 0,59 (S)	2,88 51 0,60 (S)	3,5 9 0,75 (S)	3,16 32 0,41 (S)	4,16 406 0,56 (S)	5,77 302 0,49 (S)	1,94 51 0,39 (S)	7,20 9 0,86 (S)	2,52 32 0,22 (NS)	4,36 406 0,42 (S)
KM15	P N r	4,42 858 0,58 (S)	3,12 73 0,59 (S)	3,90 17 0,75 (S)	3,05 44 0,45 (S)	3,95 515 0,55 (S)	5,1 358 0,47 (S)	1,48 73 0,26 (S)	6,41 17 0,73 (S)	3,02 44 0,3 (NS)	3,84 515 0,39 (S)
	P N r	4,44 402 0,58 (S)	3,23 98 0,52 (S)	4,08 21 0,76 (S)	2,85 61 0,46 (S)	3,94 611 0,55 (S)	5,2 402 0,46 (S)	2,13 98 0,35 (S)	6,71 21 0,75 (S)	3,17 61 0,35 (S)	3,94 611 0,41 (S)
Totalité des parcours		P = 3,71 N = 779 (S) r = 0,53					P = 3,60 N = 779 r = 0,39 (S)				

* PS = Sols sableux à sablo-argileux
 * PA = Sols sablo-argileux à argilo-sableux
 * D = Sols sableux (formations dunaires)
 * G = Sols squelettiques

(S) = Corrélation significative (95 %)
 (NS) = Corrélation non significative
 P = Production matière sèche par m² de pluie

1.2.1.2 - Ajustements logarithmiques entre la biomasse/pluie totale et pluie utile

TABLEAU N° 6 - ESTIMATIONS DE LA BIOMASSE ET COEFFICIENTS DE CORRELATION

a. Relation log. biomasse/pluies totales

b. Relation log biomasse/P = ETR - r)

		TYPE DE PARCOURS*					TYPES DE PARCOURS*				
		PS	PA	D	G	Totalités des relevés	PS	PA	D	G	Totalités des relevés
Km 2	P	0,00846	0,00537		0,00256	0,00723	0,00993	0,00195	-	-0,00355	0,00761
	N	96	10		9	116	96	10		9	116
	r	0,67 (S)	0,64 (S)		0,16 (NS)	0,6 (S)	0,56 (S)	0,29 (NS)		-0,17 (NS)	0,45 (S)
Km 5	P	0,00819	0,00517	0,00658	0,00815	0,00723	0,01156	0,00168	0,01197	0,00117	0,00762
	N	216	31	7	21	281	216	31	7	21	281
	r	0,68 (S)	0,57 (S)	0,91 (S)	0,45 (S)	0,62 (S)	0,62 (S)	0,19 (NS)	0,94	0,05 (NS)	0,48 (S)
Km 10	P	0,00837	0,00568	0,00651	0,00575	0,00743	0,01131	0,00398	0,01211	0,00484	0,00868
	N	302	51	9	32	406	302	51	9	32	406
	r	0,72 (S)	0,65 (S)	0,89 (S)	0,49 (S)	0,67 (S)	0,67 (S)	0,43 (S)	0,92	0,27 (NS)	0,56 (S)
Km 15	P	0,00837	0,00568	0,00651	0,00575	0,00743	0,01131	0,00398	0,01211	0,00484	0,00868
	N	302	51	9	32	406	302	51	9	32	406
	r	0,72 (S)	0,65 (S)	0,89 (S)	0,49 (S)	0,67 (S)	0,67 (S)	0,43 (S)	0,92	0,27 (NS)	0,56 (S)
Km 20	P	0,00804	0,00614	0,00740	0,00571	0,00725	0,01021	0,00400	0,01167	0,00646	0,00792
	N	402	98	21	61	611	402	98	21	61	611
	r	0,71 (S)	0,66 (S)	0,83 (S)	0,54 (S)	0,66 (S)	0,63 (S)	0,41 (S)	0,79	0,41 (S)	0,53 (S)
Totalité des parcours		P = 0,00705 N = 779 r = 0,62 (S)					P = 0,00744 N = 779 r = 0,49				

* PS : Sols sableux à sablo-argileux
 * PA : Sols sablo argileux à argilo-sableux
 * D : Sols sableux (formations dunaires)
 * G : Sols squelettiques

(S) = Coefficient de corrélation significatif (95)
 (NS) = Coefficient de corrélation non significatif
 P = Production de matière sèche par mm de pluie

Afin de mieux cerner la notion de pluie utile et de lui conférer une meilleure précision , nous avons initié une action de recherche prenant en compte le bilan hydrique.

2.2 - Relation biomasse et bilan hydrique

La quantité de matière sèche produite par un végétal relève d'un processus d'échanges de matière et d'énergie (LEMEE, 1978), lié à la transpiration qui, elle dépend de l'offre et de la demande climatique. Alors que l'offre traduit ce que le système "sol-plante" est capable de céder à l'atmosphère (ETR), la demande climatique (ETP) représente non pas les besoins de la plante mais les exigences imposées par le climat.

Pour une saison donnée, les besoins de consommation d'eau d'une plante peuvent être définis par le rapport entre l'évapotranspiration réelle (ETR) de la plante et l'évapotranspiration maximale (ETP)

2.2.1 - Eléments bibliographiques

Le rapport ETR/ETP calculé sur l'ensemble d'une saison végétative constitue un indice d'humidité que plusieurs auteurs ont utilisé pour établir une relation avec la production primaire. Les travaux de F. FOREST (1974) adaptés au Sénégal par C. DANCETTE (1981) permettent aujourd'hui de faire un suivi correct de l'hivernage et de l'état des cultures pluviales.

P. BROCHET et N. GERBIER (1975) ainsi que G. BAQUERO et J. AGUILO (non datée) utilisent la même démarche comme méthode pratique d'évaluation du rendement des cultures. M. FRERE et G.F. POPOV, (1979) partent du même principe pour définir un index de végétation dans le cadre de la surveillance agrométéorologique pour la prévision des récoltes effectuées par la FAO.

2.2.2 - Objectifs

Pour les formations herbeuses, le rapport $\frac{ETR}{ETP}$ n'est pas directement accessible puisque le terme ETR n'est pas connu. Depuis 1984, nous menons des expériences pour étudier la production primaire en fonction du bilan hydrique en incluant

dans les différents méthodes proposés, les caractéristiques propres aux formations herbacées. Le but de ce travail cherche à parvenir à une meilleure compréhension du rôle prépondérant et du déterminisme de la pluviosité sur la dynamique de la végétation et par la même occasion étudier le comportement et la productivité primaire des formations herbeuses dans la partie sahélienne du Sénégal.(Ferlo)

2.2.3 - Matériel et méthodes

2.2.3.1 - Conditions expérimentales

Les travaux sont menés à deux niveaux :

- le long d'un transect Nord-Sud intéressant quatre types de sol différents : Tatki, Windou Tiengoli, Amali et Dahra.
- dans un dispositif expérimental où l'on a transporté de la terre prélevée à 5 cm de profondeur dans les principaux types de sols retenus. L'équivalent de 20 tonnes de terre a été ramené à la station expérimentale.

Dans le premier cas, les observations sont effectuées dans des conditions naturelles en fonction de la pluviométrie enregistrée.

Dans le second cas, les observations sont effectuées dans des conditions de simulation de la pluie (annexe).

2.2.3.2 - Détermination de l'ETR

Pour approximer les valeurs pentadaires de l'ETR, les observations suivantes ont été réalisées aussi bien le long du transect Nord-Sud qu'en station expérimentale de mesure de l'ETP.

L'évaporation est mesurée avec un boc enterré type ORSTOM (version Colorado). L'ETP est calculé en utilisant les coefficients de DANCETTE : 0,65 en saison sèche et 0,78 en saison des pluies.

Suivi de la variation du stock d'eau AR

Après avoir procédé à la caractérisation hydrique "in situ" des quatre types de sols par la méthode du MUNTZ GEANT (P. ZANTE et Kh. DIEYE, 1985), un suivi de la variation du stock d'eau est réalisé tous les 5 jours. Les mesures sont effectuées avec une hollandaise sur une profondeur d'enracinement des plantes de 50 cm. La quantité d'eau est déterminée par la formule :

$$AR(mm) = s \cdot H_p \times \Delta_2 \cdot 0,1 \text{ (avec } s = \text{densité apparente,} \\ H_p = \text{humidité pondérale, } \Delta_2 = \text{profondeur d'enracinement en cm)}$$

Calcul d'un coefficient de stress:obtenu par le rapport de la variation du stock d'eau (ΔR) sur la valeur de la capacité de rétention propre à 50 m de profondeur, propre à chaque type de sol à défaut de connaître la racine de survie .

Calcul de l'ETR

Le coefficient de stress appliqué à la fonction de I.R. EAGLEMAN (1971) permet d'approximer la valeur de l'ETR.

$$\begin{aligned}
 ETR_j &= a + br - c r^2 + dr^3 \\
 a &= (0,732 - 0,05 ETP_j) \\
 b &= (4,97 ETP_j - 0,661 ETP_j^2) \\
 c &= (8,57 ETP_j - 1,56 ETP_j^2) \\
 d &= (1,35 ETP_j - 0,880 ETP_j^2)
 \end{aligned}$$

Calcul de K. (besoins en eau sur ETP)

Ces observations sont accompagnées par des mesures de biomasse, de la contribution spécifique, du comportement phénologique et de la composition floristique,

2.2.4 -RESULTATS

2.2.4.1 -Bilan hydrique mesuré et modélisation de la Production Primaire

Les suivis de l'évolution du bilan hydrique en milieu réel et en conditions expérimentales ont permis d'appréhender les caractéristiques des formations herbeuses ont été déterminées en termes d'efficacités d'eau et de production potentielles.

L'expression recherchée dans la relation bilan hydrique et production primaire des formations herbeuses est de la forme : (A. CORNET, 1981)

$$Y = k. \left[a \frac{(\sum ETR)^2}{\sum ETP} + b \frac{(\sum ETR)}{\sum ETP} + c \right] \sum ETR$$

avec $K = \frac{\text{Production potentielle (g.m}^{-2}\text{)}}{\sum ETR}$ = efficacité de l'eau

$\frac{ETR}{ETP}$ = Evapotranspiration moyenne durant la période.

2.2.4.2 -Bilan hydrique simulé

Notre objectif vise à obtenir des cartes de biomasses donnant l'état de l'évolution du disponible fourrager tous les 10 jours en fonction du bilan hydrique. Ce bilan hydrique peut être simulé par les modèles de F. FOREST, de PETIT et POPOV, de BROCHET et GERBIER ainsi que de POPOV. Ces modèles cherchent à traduire la pluviométrie enregistrée dans une zone donnée en indice d'humidité exprimée par le rapport $\frac{\sum ETR}{\sum ETP}$

2.2.4.3-Validation et application

Elles porteront sur un fichier de données composées des relevés pluviométrique de 30 postes collectées sur une période de huit ans (1979-86), et de mesures de biomasses. La variable pluie est exprimée en indice d'humidité suivant les quatre modèles,

Une comparaison biomasse mesurée et biomasse simulée permettront de choisir le modèle le plus approprié et le plus fiable.

Les travaux de modélisation du bilan hydrique et de la biomasse épiquée entreprise depuis 1984, ont permis de réaliser de très nombreuses mesures qui doivent nous

2.2.4 -RESULTATS

2.2.4.1 -Bilan hydrique mesuré et modélisation de la production primaire

Les suivis de l'évolution du bilan hydrique en milieu réel et en conditions expérimentales ont permis d'appréhender les caractéristiques des formations herbeuses ont été déterminées en termes d'efficacités d'eau et de production potentielles,

L'expression recherchée dans la relation bilan hydrique et production primaire des formations herbeuses est de la forme : (A. CORNET, 1981)

$$Y = k \cdot \left[a \frac{(\sum ETR)^2}{\sum ETP} + b \frac{(\sum ETR)}{\sum ETP} + c \right] \sum ETR$$

avec $K = \frac{\text{Production potentielle (g.m}^{-2}\text{)}}{\sum ETR}$ = efficacité de l'eau

$$\frac{\overline{ETR}}{\overline{ETP}} = \text{Evapotranspiration moyenne durant la période.}$$

2.2.4.2 -Bilan hydrique simulé

Notre objectif vise à obtenir des cartes de biomasses donnant l'état de l'évolution du disponible fourrager tous les 10 jours en fonction du bilan hydrique. Ce bilan hydrique peut être simulé par les modèles de F. FOREST, de PETIT et POPOV, de BROCHET et GERBIER ainsi que de POPOV. Ces modèles cherchent à traduire la pluviométrie enregistrée dans une zone donnée en indice d'humidité exprimée par le rapport $\frac{\sum ETR}{\sum ETP}$

2.2.4.3-Validation et application

Elles porteront sur un fichier de données composées des relevés pluviométrique de 30 postes collectées sur une période de huit ans (1979-86), et de mesures de biomasses. La variable pluie est exprimée en indice d'humidité suivant les quatre modèles.

Une comparaison biomasse mesurée et biomasse simulée permettront de choisir le modèle le plus approprié et le plus fiable.

Les travaux de modélisation du bilan hydrique et de la biomasse épigée entreprise depuis 1984, ont permis de réaliser de très nombreuses mesures qui doivent nous

permettre d'atteindre notre objectif. Grâce à l'assistance de Mr. D. FRIOT et J.C. BERGES, le traitement informatique est actuellement en cours en vue d'élaborer les programmes de simulation du bilan hydrique à partir du fichier pluviométrique de 1979 à 1986 et d'estimation de la biomasse.

Par ailleurs, une autre méthodologie d'estimation du disponible fourrager est en cours. Elle s'applique essentiellement à la télédétection,

III - EVALUATION DE LA BIOMASSE EPIGEE DES FORMATIONS HERBEUSES PAR LA TELEDETECTION

La cartographie de la biomasse épigée est un travail réalisé en collaboration entre le service d'Agropastoralisme du LNERV* et l'unité de traitement des images satellitaires (UTIS). Les images NOAA sont acquises à la station de Mas Palomas aux Canaries et traitées à l'atelier de l'UTIS*. Il a été décidé d'acquérir des images de début, milieu et fin de saison des pluies 1986.

- début de saison des pluies : image du 11 juillet. Cette date a été volontairement choisie après les premières pluies.
- milieu de saison des pluies, on a acquis des images des 14 et 15 août.
- fin de saison des pluies, on a acquis des images des 20, 22, 23 septembre.

3.1 - Matériel et méthodes

3.1.1 - Traitement des données

L'Atelier de traitement d'UTIS, composé d'un Mini 6 Bull et d'un Pericolor permet, à partir de la bande de données brutes reçues de MAS PALOMAS de redresser les images pour chacun des canaux PIR et IR, d'effectuer un calage géométrique à partir d'amas connus et de traiter les images en Index de végétation $IR - R/IR + R$

On a choisi une fenêtre dans l'image limitée :

- au Nord par le parallèle 17°
- au Sud par le parallèle 14°11'
- à l'Ouest par le méridien 16°
- à l'Est par le méridien 13°11'

Ces limites représentent une partie du Nord Sénégal sous forme d'un carré de 300 km de côté.

* A. GASTON - Kh. DIEYE du LNERV (Service Agropastoralisme)

* J. CITEAU et J.C. BERGES (UTIS)

L'image traitée, correspondant au format de l'imprimante couleur, mesure 30 cm x 30 cm, elle est à l'échelle du 1/1 000 000.

L'atelier a produit les images suivantes :

- 11 juillet 1986 : image canal rouge Index de végétation
 - 14 et 15 août 1986 : Image canal rouge pour chacune des dates et Index de végétation de synthèse
 - 20, 22, 23 septembre 1986 : Image canal rouge, Index de végétation pour chacune de ces dates.
- Image de synthèse des 20y 22, 23 septembre en Index de végétation.

3.1.2 - Analyse des images

Elle est faite en tenant compte des facteurs qui interviennent dans la productivité primaire, à savoir la pluie et le type de substrat.

a. Image du 11 juillet 1986

Cette date du 11 juillet a été volontairement choisie pour avoir une image du Ferlo après la première pluie. On considère que cette pluie a lavé les feuilles des ligneux des poussières accumulées au cours de la saison sèche et par conséquent, en l'absence de végétation herbacée verte, on doit apercevoir sur l'image de l'Index, la signature spectiale de ces ligneux.

Il n'en est rien. La seule végétation chlorophyllienne du Ferlo est celle des cannes à sucre de la Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS) de Richard-Toll. Beaucoup plus au Sud, dans la région de Bakel, une tache à Index élevée peut correspondre à une levée d'herbacées annuelles, résultant des premières pluies qui ont débuté le 1^{er} juillet.

D'après cette image, on peut conclure que les ligneux du Ferlo, en DEBUT DE SAISON DES PLUIES n'ont pas d'activité chlorophyllienne suffisante pour marquer en Index de végétation.

La question reste posée pour la FIN DE SAISON DES PLUIES

Cette image traitée en index de végétation sera utilement comparée à la carte

des précipitations du Ferlo arrêtée au 10 juillet.

b. Images des 14 et 15 août

Ces dates avaient été choisies car elles correspondent à la situation après l'arrêt des pluies à la mi-août.

A cette date, le Ferlo est coupé en deux par l'isohyète 100 mm qui le traverse du Nord-Ouest au Sud-Est.

La partie qui a reçu moins de 100 mm (en réalité plutôt 50 mm) n'a pas de réponse chlorophyllienne en Index de végétation, tandis que la partie qui a reçu plus de 100 mm (et même 200 à Mbané) a une très forte réponse.

Dans le cas de ces deux images, on observe donc un développement concomitant de la végétation et de la hauteur cumulée des pluies.

c. Images des 20, 22, 23 septembre ---- 1986

Ces trois images ont été traitées séparément en Index de végétation, ce qui permet de localiser les différentes parties du Ferlo qui restent stables sur les 3 images et qui ne sont donc pas des artefacts dus à la couverture imageuse, ce qui facilite l'interprétation de l'image de synthèse.

Les dates avaient été choisies d'après les cas des saisons des pluies précédentes. En effet, entre le 20 et le 25 septembre, on a de fortes probabilités d'avoir des enregistrements correspondant à un stade végétatif vert du tapis herbacé. Plus tôt on risque d'avoir des données satellitaires qui ne correspondront pas à l'optimum de biomasse, plus tard, on prend le risque d'avoir un enregistrement satellitaire correspondant à de l'herbe sèche, si la saison des pluies a été courte.

En 1986, elle s'est prolongée jusqu'à la fin septembre, il est possible que la croissance des annuelles ne soit pas terminée

Cependant, comme les mesures ont été effectuées sur le terrain entre le 1^{er} octobre et le 13 novembre, elles correspondent à l'optimum de biomasse et elles pourront être **correlées** aux Index de végétation.

.../...

3.2 - Résultats : Corrélation biomasse-index

3.2.1 - Comparaison Image Index de végétation-Carte des pâturage

Si l'on compare la carte Index de végétation (échelle à 1/1 000 000 en sortie d'imprimante) à celle de la carte des pâturages de J, VALENZA et A.K. DIALLO (1972), on constate que la partie à Index de végétation élevé correspond assez exactement aux pâturages P s "sur sol sableux à sablo-argileux" les alignements dunaires et les creux interdunaires y sont nettement visibles.

La partie à faible Index correspond aux parcours Pa "Formations sur sol sablo-argileux à argilo sableux" et G "Formation sur sols squelettiques".

Cette distribution de l'Index selon les types de substrats amène à conclure qu'il est préférable de comparer ce qui est comparable, à savoir Index Biomasse zone écologique par zone écologique.

3.2.2 - Saisie des données Biomasse

Elles sont saisies sur l'ordinateur de l'UTIS selon leur numéro d'ordre, coordonnées géographiques, rendement/ha de matière verte, pourcentage de matière sèche, rendement/ha de matière sèche, recouvrement de la strate herbacée.

3.2.3 - Traitement des données Biomasse

Le traitement informatique consiste à trouver pour chaque biomasse, la valeur de l'Index correspondante.

On peut donc avoir, pour chacune des mesures de biomasse, une correspondance avec une valeur d'Index pixel par pixel. Mais à cause d'erreur de repérage au sol, il peut y avoir un décalage d'un pixel, on corrèle alors une biomasse avec la valeur du pixel voisin.

Pour pallier à ce risque d'erreur, on effectue un "filtrage" c'est-à-dire que le pixel identifié comme correspondant à la biomasse devient le centre d'un carré.

- si le carré est de 3 pixels de côté, on fait la moyenne des 9 valeurs, c'est cette moyenne qui est corrélée à la biomasse. On a un filtrage dit 3 x 3

- si le carré est de 5 pixels de coté, on fait la moyenne des 25 valeurs. On a un filtrage dit 5 x 5.

Les données biomasses, corrélées aux 3 types de valeur d'Index (Pixel unique, Filtrage 3, Filtrage 5) seront présentées sous forme d'un listing indiquant pour chaque mesure :

- . coordonnées géographiques
- . rendement /ha M verte,
- . taux de matière sèche,
- . rendement/ha matière sèche,
- . recouvrement,
- . localisation de la mesure, ligne et colonne de l'image
- . index pixel par pixel
- . filtrage 3 x 3
- . filtrage 5 x 5

3.2.4 - Corrélation Biomasse-Index

Comme dit en 2.2.2.1, on effectue ces corrélations zone écologique par zone écologiques. On dispose donc :

Ps (sol sableux à sablo-argileux)	97 mesures
Pa (sol sablo argileux à argilo-sableux)	50 mesures
G (sol squelettique)	31 mesures
A (sol argilo sableux à argileux)	19 mesures
, D (sols sableux)	11 mesures

Les corrélations sont faites manuellement, afin de pouvoir mieux cerner les mesures aberrantes et/ou déceler les erreurs matérielles.

Pour chacune des 5 catégories de pâturages, on a 3 corrélations à faire (pixel, filtrage 3, filtrage 5) soit 15 graphiques.

Selon les résultats, on choisira l'un des 3 traitements celui qui donne la meilleure corrélation et on pourra éventuellement regrouper certains types de pâturages , par exemple Ps et D et Pa, G et A.

L'image de synthèse des 20, 22, 23 septembre 1986 permet de produire une carte de biomasse dans de bonnes conditions ; cependant, pour qu'il y ait une meilleure adéquation entre Index et Biomasse, il faudrait traiter dans les mêmes conditions, une image entre les 1 et 5 octobre 1986.

CONCLUSIONS GENERALES

L'évaluation du disponible fourrager des écosystèmes pastoraux du Nord Sénégal¹ permettra non seulement de déterminer les potentialités mais aussi de mieux appréhender son fonctionnement et de suivre son **évolution**. Trop souvent, les actions d'aménagement et d'exploitation des parcours sont engagées en n'accordant qu'une faible importance à l'étude et la compréhension du fonctionnement des écosystèmes concernés. La gestion rationnelle des ressources en question n'obéit pas forcément à une méthode "passe-partout". Une gestion rationnelle doit s'appliquer sur les réalités propres de chaque zone dont il importe auparavant d'analyser dans toutes ses composantes intégrées.

ANNEXE N° 1 - VALEURS DU COEFFICIENT DE CORRELATION SIGNIFICATIVES A 5 % ET 1 %

ESPECES	EFFECTIFS D'INDIVI- DUS COUPE! (N)	VARIABLE y = BIOMASSE (P)									VARIABLE y = Ln BIOMASSE (P)								
		X = BV			X = C			X = Ln C			X = BV			X = C			X = Ln C		
		r	5 %	1 %	r	5 %	1 %	r	5 %	1 %	r	5 %	1 %	r	5 %	1 %	r	5 %	1 %
<i>Balanites aegyptiaca</i>	25	0,913	S	S	0,844	S	S	0,640	S	S	0,726	S	S	0,870	S	S	0,900	S	S
<i>Acacia senegal</i>	25	0,897	S	S	0,904	S	S	0,660	S	S	0,688	S	S	0,846	S	S	0,972	S	S
<i>Acacia raddiana</i>	25	0,893	S	S	0,850	S	S	0,850	S	S	0,769	S	S	0,729	S	S	0,848	S	S
<i>Acacia seyal</i>	25	0,799	S	S	0,709	S	S	0,630	S	S	0,732	S	S	0,824	S	S	0,908	S	S
<i>Sclérocarya birrea</i>	25	0,786	S	S	0,135	NS		0,138	NS		0,817	S	S	0,211	NS		0,207	NS	
<i>Aciziphus mauritiana</i>	25	0,951	S	S	0,803	S	S	0,682	S	S	0,796	S	S	0,743	S	S	0,766	S	S
<i>Bauhinia rufesceus</i>	25	0,896	S	S	0,639	S	S	0,684	S	S	0,631	S	S	0,619	S	S	0,806	S	S
<i>Guiera senegalensis</i>	20	0,970	S	S	0,829	S	S	0,753	S	S	0,760	S	S	0,876	S	S	0,902	S	S
<i>Pterocarpus luceus</i>	25	0,877	S	S	0,364	NS		0,454	S	NS	0,721	S	S	0,511	S	S	0,779	S	S
<i>Peretia apodanthera</i>	25	0,459	S	S	0,012	NS		-0,04	NS		0,721	S	S	0,161	NS		0,163	NS	
<i>Dalbergia melanoxylon</i>	25	0,817	S	S	0,508	S	S	0,479	S	NS	0,713	S	S	0,453	S	NS	0,425	S	NS
<i>Brewia bicolor</i>	25	0,940	S	S	0,163	NS		0,142	NS		0,915	S	S	0,238	NS		0,207	NS	
<i>Avogeissus leiocarpus</i>	25	0,756	S	S	0,381	NS		0,375	NS		0,725	S	S	0,443	S	NS	0,458	S	NS
<i>Lythragina inermis</i>	25	0,874	S	S	0,693	S	S	0,635	S	S	0,834	S	S	0,653	S	S	0,628	S	S
<i>Boscia senegalensis</i>	25	0,961	S	S	0,856	S	S	0,659	S	S	0,579	S	S	0,665	S	S	0,878	S	S
<i>Combretum acculeatum</i>	25	0,947	S	S	0,111	NS		0,113	NS		0,893	S	S	0,139	NS		0,137	NS	

BV = Biovolume (m³)

C = Circonférence (cm)

S = Singnificatif

NS = Non significatif

ANNEXE N° 2 - CLASSEMENT PAR ORDRE DECREISSANT DES COEFFICIENTS

DE REGRESSION SIGNIFICATIFS ENTRE LA PRODUCTION FOLIAIRE (P)
ET LES DIVERS PARAMETRES MESURES : (biovolume, circonférence

ESPECES	E Q U A T I O N S					
	1 ^{er} Ordre	2 ^{ème} Ordre	3 ^{ème} Ordre	4 ^{ème} Ordre	5 ^{ème} Ordre	6 ^{ème} Ordre
alanites aegyptiaca	$P = f(BV)$ $r = 0,913$	$LnP = f(LnC)$ $r = 0,900$	$LnP = f(C)$ $r = 0,870$	$P = f(C)$ $r = 0,840$	$LnP = f(BV)$ $r = 0,726$	$P = f(LnC)$ $r = 0,640$
acacia senegal	$LnP = f(LnC)$ $r = 0,972$	$P = f(C)$ $r = 0,504$	$P = f(BV)$ $r = 0,897$	$LnP = f(C)$ $r = 0,846$	$LnP = f(BV)$ $r = 0,688$	$P = f(LnC)$ $r = 0,660$
acacia raddiana	$P = f(BV)$ $r = 0,93$	$P = f(C)$ $r = 0,850$	$LnP = f(LnC)$ $r = 0,848$	$LnP = f(BV)$ $r = 0,769$	$P = f(LnC)$ $r = 0,755$	$LnP = f(C)$ $r = 0,729$
acacia seyal	$LnP = f(BV)$ $r = 0,817$	$P = f(BV)$ $r = 0,786$				
ziziphus mauritiana	$P = f(BV)$ $r = 0,952$	$P = f(C)$ $r = 0,803$	$LnP = f(BV)$ $r = 0,796$	$LnP = f(LnBV)$ $r = 0,766$	$LnP = f(C)$ $r = 0,743$	$P = f(LnC)$ $r = 0,682$
bauhinia rufescens	$P = f(BV)$ $r = 0,896$	$LnP = f(LnC)$ $r = 0,684$	$P = f(LnC)$ $r = 0,684$	$P = f(C)$ $r = 0,639$	$LnP = f(BV)$ $r = 0,631$	$LnP = f(C)$ $r = 0,619$
acacia senegalensis	$P = f(BV)$ $r = 0,970$	$LnP = f(LnC)$ $r = 0,902$	$LnP = f(C)$ $r = 0,876$	$P = f(C)$ $r = 0,829$	$LnP = f(BV)$ $r = 0,760$	$P = f(LnC)$ $r = 0,753$
pterocapus luceus	$P = f(BV)$ $r = 0,877$	$LnP = f(LnC)$ $r = 0,779$	$LnP = f(BV)$ $r = 0,721$	$LnP = f(C)$ $r = 0,511$	$P = f(LnC)$ $r = 0,454$	
dalbergia melanoxylon	$P = f(BV)$ $r = 0,817$	$LnP = f(BV)$ $r = 0,713$	$P = f(LnC)$ $r = 0,508$	$P = f(LnC)$ $(r) = 0,479$	$LnP = f(C)$ $(r) = 0,453$	$LnP = f(LnC)$ $(r) = 0,425$
grewia bicolor	$P = f(BV)$ $r = 0,940$	$LnP = f(BV)$ $r = 0,915$	$LnP = f(C)$ $(r) = 0,238$	$LnP = f(LnC)$ $(r) = 0,207$		
monogeissus leiocarpus	$P = f(BV)$ $r = 0,752$	$LnP = f(BV)$ $r = 0,721$	$LnP = f(LnC)$ $(r) = 0,458$	$LnP = f(C)$ $(r) = 0,443$		
mitragyna inermis	$P = f(BV)$ $r = 0,874$	$LnP = f(BV)$ $r = 0,834$	$LnP = f(C)$ $r = 0,693$	$LnP = f(C)$ $r = 0,653$	$P = f(LnC)$ $r = 0,635$	$LnP = f(LnC)$ $r = 0,628$
Boscia senegalensis	$P = f(BV)$ $r = 0,961$	$LnP = f(LnC)$ $r = 0,878$	$LnP = f(C)$ $r = 0,856$	$LnP = f(C)$ $r = 0,665$	$P = f(LnC)$ $r = 0,659$	$LnP = f(BV)$ $r = 0,579$
Combretum acculeatum	$P = f(BV)$ $r = 0,947$	$LnP = f(BV)$ $r = 0,893$				

P = Production foliaire (Kg MS)

BV = Biovolume

C = Circonférence (cm)

r = Coefficient de corrélation significatif à 5 % et 1 %

(r) = Coefficient de corrélation significatif à 1 %

(-) = Coefficient de corrélation non significatif

ANNEXE N° 3 - PLAN DE SIMULATION DES PLUIES

TYPE DE PLUIES	PRECOCES	"REGULIERES"	TARDIVES
DOSES D'ARROSAGE	Tm = Hr = Tm = Rayt =	Tm = Hr = Tm = Rayt =	Tm = Hr = Tm = Rayt =
3 mm	$\frac{1/2j. \quad 1/10 \quad 1/20}{1^{\circ} \text{ mois } 2^{\circ} \text{ mois } 3^{\circ} \text{ mois}}$ Total : 57 mm	$\frac{1/2 j. \quad 1/2 j. \quad 1/2 j.}{1^{\circ} \text{ mois } 2^{\circ} \text{ mois } 3^{\circ} \text{ mois}}$ Total : 135 mm	$\frac{1/20 j. \quad 1/10j. \quad 1/2 j}{1^{\circ} \text{ mois } 2^{\circ} \text{ mois } 3^{\circ} \text{ mois}}$ Total : 57 mm
5 mm	$\frac{1/2 j. \quad 1/10j \quad 1/20j}{}$ Total : 95 mm	$\frac{1/2j \quad 1/2j \quad 1/2j}{}$ Total : 225 mm	$\frac{1/20j \quad 1/10j \quad 1/2j}{}$ Total : 95 mm
10 mm	$\frac{1/2j \quad 1/10j \quad 1/20j}{}$ Total : 190 mm	$\frac{1/2j \quad 1/2 j \quad 1/2j}{}$ Total : 450 mm	$\frac{1/20 j \quad 1/10 j \quad 1/2j}{}$ Total : 190 mm
15 mm	$\frac{1/2j \quad 1/10j \quad 1/20j}{}$ Total : 285 mm	$\frac{1/2j \quad 1/2j \quad 1/2j}{}$ Total : 675 mm	$\frac{1/20 j \quad 1/10 j \quad 1/2j}{}$ Total : 285 mm

Tm et T. = Température maximale et minimale (Normale sur 30 ans> (Podor - Linguère)

Hr = Humidité relative (Normale sur 30 ans) (Podor - Linguère)

Rayt = Rayonnement et durée d'éclairement

ANNEXE N° 4 - PRODUCTION PRIMAIRE ET BESOINS EN EAU DES PLANTES

(Résultats expérimentaux partiels)

BLOCS	Md	ETP	ETR	$\frac{\Sigma \text{ ETR}}{\Sigma \text{ ETP}} \times 100$	$\frac{\Sigma \text{ ETR}}{\Sigma \text{ ETR}} \times \text{ ETR}$	RENDEMENT g MS m ²
B1	115 mm	585	204	35	71	19
B2	36 mm	585	70	0,12	84	5
C1	230 mm	585	368	63	232	165
c2	120 mm	585	281	38	107	37
c4	180 mm	585	316	54	170	56
D1	345	585	421	72	303	286
D2	180	585	328	56	184	72
E1	460	585	415	71	295	265
E2	240	585	351	60	211	106
F2	360	585	392	67	263	225
(Aire du bac)	570	585	465	80	374	580

B I B L I O G R A P H I E

- 1 - ADAM J.G. (1966) - Les pâturages naturels post-culturels du Sénégal.
Bulletin de l'IFAN - T. XXVIII - Ser. A N° 2
- 2 - BOUDET G. (1980) - Système de production d'élevage au Sénégal
Etude du couvert herbacée. 1^{ère} campagne
IEMVT - Maisons-Alfort: 48 p., 19 tabl., 2 fig., 18 ref.
- 3 - BOUDET G. (1981) - Système de production d'élevage au Sénégal
Etude du couvert herbacé. 2^{ème} campagne
IEMVT - Maisons-Alfort : 21 p, 5 fig., 11 tabl.
- 4 - BOUDET G. (1983) - Système de production d'élevage au Sénégal dans la région du Ferlo.
IEMVT-ISRA
- 5 - BOUDET G. et RIVIERE R. (1968) : Emploi pratique des analyses fourragères pour l'appréciation des pâturages tropicaux.
Rev. Elev. Méd. Vét. Pays trop. 21 (2) - 227-266
- 6 - BOUDET G. (1975) - Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères.
2^{ème} édition
Ministère coop. Française (IEMVT Paris)
- 7 - BROCHET P. et N. GERBIER (1975) - L'évapotranspiration - Aspect agrométéorologique, évaluation pratique de l'évapotranspiration potentielle
Edition revue et complétée
SMM - Climatologie - Paris
Monographie 65 - Météo National
Ministère coop. Française (IEMVT Paris)
- 8 - CISSE M.I (1980) - Production fourragère de quelques arbres sahéliens : relations entre la biomasse foliaire maximale et divers paramètres physiques
CIPEA - Colloque sur les ligneux en Afrique 1980
- 9 - CORNET A. (1981) - Le bilan hydrique et son rôle dans la production de la strate herbacée de quelques phytomasses sahéliennes au Sénégal.
Thèse doct. Ing. Université - Sc et rech. langue doc.
Montpellier - France

- 10 - DICKO M.S. (1980) - Contribution des fourrages ligneux à l'alimentation des bovins du système sédentaire de l'office du Niger.
CIPEA - Colloque sur les ligneux en Afrique 1980
- 11 - EAGLEMAN J.R. (1971) - An experimental derived model for actual evapotranspiration. *Agr. meteorology*, A. 385.394 - Amsterdam
- 12 - FOREST F. (1974) - Bilan hydrique et perspectives décennaires des besoins en eau des cultures pluviales en zone soudano-sahélienne
Cahier pédagogique Min. coop. Française
- 13 - FRERE M. et POPOV G.F. (1979) - Surveillance agrométéorologique pour la prévision des récoltes.
FAO - Production végétale et protection des plantes.
- 14 - GUERIN H. et al. (1985) - Le choix alimentaire des ruminants domestiques (bovins, ovins, caprins) sur les pâturages sahéliens, leur facteur de variation et leurs conséquences. Communication présentée au Colloque de l'ALSAD et l'AOAO. 7 - '2 septembre (Damas)
- 15 - LE HOUEROU H.N. and HOSTE H. (1977) - Rangeland production and annual rainfall relations in the Mediterranean Basin and in the African Sahelo-soudanien Zone,
Journal of Range Management vol 30. N° 3 - p. 181-189
- 16 - LE HOUEROU H.N. (1982) - Production of range production from weather records in Africa
Technical conference on climate in Africa
ARUSHA, TANZANIA - 24-30 janv.
- 17 - POUPON H. (1980) - Structure et dynamisme de la strate ligneuse d'une steppe arbustive au Nord Sénégal.
Travaux et documents ORSTOM - Paris
- 18 - ZANTE P. et DIEYE Kh. - Caractéristiques hydriques des sols de trois types de parcours du Ferlo sableux.
ORSTOM - Dakar.
- 19 - VALENZA J. et A.K. DIALLO (1972) - Etude des pâturages naturels du Nord Sénégal. Maisons Alfort, micrograph. 31 p, 8 fig., 11 pl., un tableau, carte en couleur au 1/200 000 en 3 feuilles.

20 - VALENZA J. et DIEYE Kh. (1983) - Evolution des pâturages naturels de la zone
sylvo-pastorale.
Rapport annuel LNERV/ISRA Dakar.