

L'ECOSYSTEME SAHELIEU DE FETE OLE

E S S A I D E B I L A N

AU NIVEAU DE LA PRODUCTION PRIMAIRE NETTE ANNUELLE.

- : - : - : -

Travail effectué dans le cadre
du programme ORSTOM SAHEL

Etude d'un écosystème sub-désertique

J.C. BILLE

.

A plusieurs reprises, le déroulement des travaux et les résultats obtenus ont amené à symboliser la zone d'étude de Fété Olé par une surface théorique d'un hectare qui peut être valablement abstraite du terrain qui l'entoure et considérée en tant que système indépendant, dans la mesure où cette surface comprend des toposéquences complètes et où le facteur de production le plus contraignant - l'eau, - provient exclusivement des précipitations, et se retrouve en totalité au niveau de l'évapotranspiration réelle et de la production.

Les exportations sont le fait de la consommation primaire et, partiellement, des feux. Mais si les feux sont un phénomène aléatoire, ils se produisent sur des surfaces toujours assez vastes pour ne pas isoler la surface étudiée de son contexte. Au cours des travaux, le terrain a été totalement protégé et par suite on lui a imposé un déséquilibre dont il est difficile de juger de l'intensité.

Cependant, en raison d'une succession d'années climatiquement sèches, le déséquilibre n'était pas encore manifeste après trois années de défens, d'autant plus que les troupeaux ont bien souvent forcé les clôtures, poussés par les éleveurs qui estimaient sans doute que nos protections avaient pour but de soustraire des richesses particulières à leur droit d'usage légitime.

Au niveau de l'analyse des divers compartiments du système, il a été fait appel à des compétences extérieures à la section Sahel. Ainsi, la chimie des sols a été prise en charge par les laboratoires de l'O.R.S.T.O.M. à Dakar et certaines valeurs climatiques sont empruntées aux résultats de D.RIJS, expert de la F.A.O.

En outre, toutes les analyses de végétaux ont été obtenues auprès des laboratoires de l'I.E.M.V.T. à Maisons Alfort, organisme choisi en fonction de sa grande expérience et totale compétence en matière de production végétale de l'Afrique inter-tropicale. Il sera donc toujours possible d'établir des parallèles entre notre zone d'étude et l'une quelconque des régions ayant fait l'objet d'une prospection de la part de spécialistes (agrostologie et nutrition) de l'I.E.M.V.T., d'où l'intérêt pratique des résultats.

Enfin, comme de raison pour un bilan, il sera fait constamment référence aux résultats antérieurs exprimés dans les cinq études partielles:

- Présentation de la zone d'étude de Fété Olé (mars 72)
- Observations préliminaires sur quelques arbres du Sahel sénégalais (fév.71)
- Principaux caractères de la végétation herbacée (déc.71)
- Graines et diaspores des plantes herbacées: description (juin 72); - production et dynamique (fév. 73)
- Organisation de la végétation de Fété Olé (carte au 1/1000è, 3 coul., 1971).

.

Les compartiments retenus pour le bilan sont les suivants :

1. les Ligneux (racines, organes aériens pérennes, feuilles et fruits)
2. les plantes Herbacées (organes souterrains, organes aériens, diaspores) représentées par 3 groupements dans le rapport 85 - 12 - 3, le premier héliophile sur dunes, le second sous les arbres et arbustes, et le troisième dans les centres des dépressions
3. les Sols correspondant aux groupements précédents, jusqu'à une profondeur de 50 cm justifiée dans le texte
4. les facteurs Climatiques de production
5. Les consommateurs connus.

$\frac{1}{2} - \frac{1}{3} = \frac{3}{6} - \frac{2}{6} = \frac{1}{6}$

11 - PRODUCTION AERIENNE ET EXPORTATIONS :

111. Choix d'une date pour le bilan :

Le tableau 1 présente l'analyse de quatre espèces (une cristidée, une panicée, une andropogonée et une papilionacée) à trois dates successives. Ces analyses avaient été effectuées pour M. BOCOUM en vue de l'examen de la valeur alimentaire de l'herbe pour les bovins et concernant l'année 1970.

Date :	Septembre	Décembre	Mars
<u>Aristida funiculata</u>			
Protéines	5,2	4,6	4,0
Cellulose	36,9	36,2	39,2
Graisses	1,8	1,6	1,4
E.N.A.	50,9	51,8	50,5
Minéraux	5,2	5,8	4,9
Ca	0,27	0,28	0,27
P	0,08	0,07	0,04
Mg	0,22	0,21	0,19
K	0,82	0,63	0,59
<u>Brachiaria hagerupii</u>			
Protéines	5,2	6,0	3,9
Cellulose	32,8	34,3	37,9
Graisses	1,8	1,9	1,3
Minéraux	8,0	7,9	7,6
E.N.A.	52,2	49,9	49,3
Ca	0,34	0,37	0,35
P	0,10	0,14	0,08
Mg	0,45	0,41	0,33
K	1,89	1,96	0,97
<u>Diheteropogon hagerupii</u>			
Protéines	4,4	2,0	1,3
Cellulose	38,7	40,3	44,9
Graisses	1,6	1,3	1,0
E.N.A.	49,4	50,9	48,0
Minéraux	5,9	5,5	4,8
Ca	0,47	0,42	0,35
P	0,13	0,07	0,05
Mg	0,45	0,33	0,28
K	1,90	1,24	0,92
<u>Zornia glochidiata</u>			
Protéines	14,0	10,9	8,8
Cellulose	26,0	38,2	35,8
Graisses	3,0	1,5	1,0
E.N.A.	51,2	45,2	50,8
Minéraux	5,8	4,2	3,6
Ca	0,86	0,42	0,41
P	0,11	0,13	0,06
Mg	0,32	0,18	0,16
K	1,82	1,27	1,02

Tableau 1

On remarque que dans tous les cas, la teneur en l'un quelconque des éléments, à l'exception de la cellulose, est la plus élevée pour l'une des deux premières dates, et plus souvent pour le 15 septembre. On note aussi des différences de comportement en liaison avec l'espèce:

- pour *Diheteropogon*, la diminution de la valeur est très marquée en fonction du vieillissement de la plante;
- pour *Zornia*, le phénomène est moins intense et peut être plus que compensé par l'augmentation de la biomasse;
- pour les autres espèces, il est beaucoup moins systématique et certains éléments sont en proportion plus élevée en décembre.

La somme des hydrates de carbone est assez constante puisque leur proportion relative est toujours élevée, en moyenne 85 % de la matière sèche. On pourra en tenir un moins grand compte dans le choix de la date d'analyse que en ce qui touche les éléments très variables comme l'azote ou le phosphore, par exemple.

En outre, si l'on admet que la période de végétation active dure 80 jours, du 1er août au 20 octobre, les graines se forment et mûrissent pour la plupart au cours des trois dernières semaines et, passé le 1er novembre, elles seront généralement tombées au sol en partie.

En conséquence, il est proposé de choisir comme date la mieux adaptée aux analyses herbacées le 1er octobre, 60ème jour de végétation et début de montaison pour les graminées, et de traiter les graines à part.

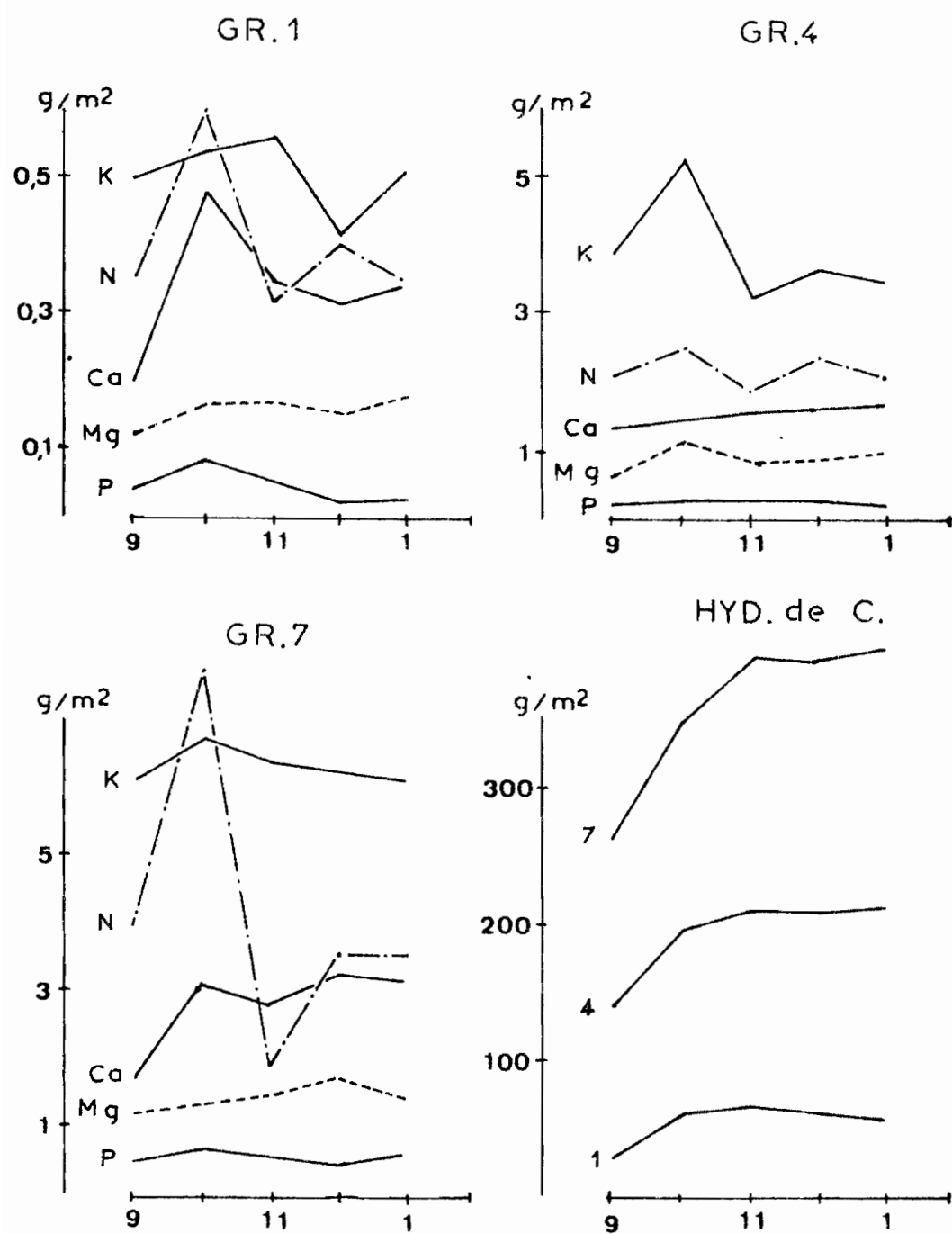
112. Exportations potentielles :

En 1970 ont été mesurées les productions nettes suivantes : (en g/m²)

Date	Group. 1	Group.4	Group.7
1.09	34,9	176,0	323,4
1.10	74,0	241,3	444,4
1.11	81,6	255,7	476,4

qui ont été traduites en exportations à partir des analyses de prélèvements effectués sur les plots mêmes de mesure aux diverses dates: 1ers septembre, octobre, novembre, décembre et février. Les résultats ont été reportés sur les graphiques de la figure 1.

FIG. 1

PRODUCTION & EXPORTATIONS

Les courbes obtenues regroupent pour chaque date le niveau de production et les teneurs en différents éléments. Lorsqu'il existe un maximum net, il est bien situé le 1er octobre; dans le cas contraire, la valeur au 1er octobre reste assez proche du maximum (cas du magnésium).

Mais la saison des pluies utile, définie par ailleurs, n'ayant été que de 70 jours, il faut majorer d'un septième les valeurs obtenues pour la production aérienne moyenne à la date choisie, soit:

Groupe ment 1	84,5 g/m ²	ou	718 Kg/ha
groupe ment 4	275,8	ou	331
groupe ment 7	507,9	ou	152
Total :			1,2 tonnes

Il n'existe aucune difficulté de conversion pour les divers minéraux et la production se traduit en Kg/ha :

	Gr. 1	Gr. 4	Gr. 7
N	5,8	3,3	2,4
P	0,58	0,40	0,24
K	5,0	7,3	2,3
Ca	3,9	2,0	1,1
Mg	1,6	1,6	0,5

L'énergie brute moyenne (valeur obtenue à la bombe calorimétrique) est de 3.600 calories par g de M.S., ou par hectare et en millions de kilocalories :

2,58	1,20	0,55
------	------	------

mais la présence effective de l'élément Carbone n'est pas mesurable. On sait que le carbone représente à peu près 40 % de la cellulose et 42 % de l'E.N.A., mais il existe dans les autres constituants en proportions beaucoup plus variables. Par ailleurs, son énergie de combustion étant de 8.080 calories par gramme, on pourrait traduire l'énergie précédente en un équivalent-carbone.

Dans la pratique, on appliquera ici la proportion 40% à toute la masse végétale, déduction faite de la fraction minérale et on n'attachera qu'une valeur restreinte aux résultats, ici respectivement 270, - 120, -et 55 Kg/ha.

113. Diaspores :

L'analyse chimique présente des différences sensibles selon que l'on considère l'ensemble de l'inflorescence ou les graines nues. Ainsi, pour *Brachiaria hagerupii*:

	Inflorescence	Graines isolées
Protéines	9,3	10,6
Cellulose	28,2	12,6
Mat. grasses	1,8	3,0
E.N.A.	50,3	66,1
Minéraux	10,4	7,7
Ca	0,28	0,16
P	0,30	0,21
Mg	0,35	0,25
K	1,63	0,26

Mais les analyses sur l'ensemble des parties aériennes présentées jusqu'ici incluaient les pièces florales à partir du premier novembre, sans que les exportations par unité de surface aient été supérieures à celles d'octobre. Nous ne pourrions cependant considérer que les inflorescences, seules, bien que la teneur en minéraux soit plus forte, les analyses de graines nues n'étant pas assez nombreuses.

Les productions corrigées sont de $22,4 + 8,4 + 4,2 = 35$ Kg par hectare. Quatre espèces ont été retenues pour représenter le groupement 1 : *Aristida mutabilis* et *funiculata*, *Schoenefeldia gracilis* et *Cenchrus biflorus*, - et cinq pour les groupements 4 et 7: *Chloris prieurii*, *Brachiaria hagerupii*, *Pennisetum pedicellatum*, *Diheteropogon hagerupii* et *Zornia glochidiata*, d'où les analyses moyennes :

	Gr. 1	Gr. 4 et 7
Protéines	8	13
Cellulose	32	28
Graisses	1	2
E.N.A.	52	48
Minéraux	7	9
Ca	0,21	0,31
P	0,15	0,27
Mg	0,16	0,27
K	0,61	1,06

Les exportations par ha, en grammes, sont donc:
 N: $290 + 140 + 70$; Ca: $47 + 26 + 13$; P: $34 + 23 + 12$; Mg: $36 + 23 + 12$; K: $136 + 89 + 44$; C: $9000 + 3100 + 1550$; Energie :
 (4500 cal./g) $100 + 38 + 19$ Kcal.

12 - PRODUCTION SOUTERRAINE NETTE :

Un certain nombre de correctifs ont pu être apportés aux mesures de biomasse souterraine, grâce aux précisions obtenues sur la densité des sols, le niveau de souillure par la silice des racines extraites, et le mécanisme de production racinaire.

121. Densité apparente des sols :

Les sols très sableux se prêtent mal aux mesures de densité apparente, car il est peu possible d'y découper des monolithes de forme régulière tels qu'on en puisse déterminer le volume et, bien que le sol soit très friable, il est en même temps très résistant à la pénétration.

La méthode utilisée ici permet la mesure à partir d'un bloc de forme quelconque détaché d'un coup de pic. Le bloc est placé dans un récipient de volume connu dont on complète ensuite le remplissage avec du sable tamisé fin (dans notre cas, sable de plage d'un blanc pur) dont on détermine ensuite le volume dans une simple éprouvette.

Les sols de Fété Olé étant plus ou moins ocres, il est possible de déceler un éventuel effritement du bloc de sol au cours de sa manipulation; les mesures sont très reproductibles et les écarts faibles. Par exemple, on a obtenu pour l'horizon A d'un sol de type 1 les valeurs:

$$1,70 - 1,68 - 1,67 - 1,73 - 1,70 - 1,72$$

$$\text{moyenne: } 1,70 \pm 0,03$$

La densité est un peu plus élevée en 7 et un peu moins en 4 (1,74 et 1,68). La valeur 1,7 a été retenue, d'où une correction en moins de 5,5 % pour les graminées et 22,7 % pour les arbres (où les calculs avaient été faits à partir de la densité réelle).

122. Correction "Silice":

Les analyses chimiques permettent de savoir dans quelle mesure on avait pu éliminer le sable fin des échantillons lors des prélèvements de racines, litières, et autres récoltes au sol, sachant que les minéraux totaux représentent généralement moins de 10 % de la matière sèche des végétaux, et l'insoluble chlorhydrique moins de 4 %. Le tableau n°2 présente des analyses de matériel végétal souillé.

	Graines au sol Chloris prierii	Litière ancienne	Litière récente
Protéines	12,4	5,5	7,8
Cellulose	23,2	29,2	27,6
M.G.	1,1	1,2	1,6
Minéraux	18,6	22,4	21,9
E.N.A.	44,7	41,7	41,1
<u>Silice</u>	14,7	15,7	15,0
Ca	0,22	0,72	0,99
P	0,30	0,12	0,10
Mg	0,19	0,34	0,53
K	0,75	1,54	2,32

	Racines fines S. sèche (graminées)	Racines, saison pluies	Racines Acacia
Protéines	8,5	3,4	6,5
Cellulose	16,4	24,6	41,5
M.G.	1,4	1,2	1,1
Minéraux	45,0	34,8	5,3
E.N.A.	28,7	36,0	45,6
<u>Silice</u>	37,9	26,1	1,1
Ca	1,11	0,97	1,26
P	0,08	0,06	0,04
Mg	0,28	0,24	0,29
K	0,26	0,38	0,24

Tableau n° 2

On constate que les végétaux ramassés sur le sol (graines et litières) étaient accompagnés de sable représentant environ 10 % du poids de l'échantillon et que les grosses racines -ici, *Acacia senegal* - sont indemnes de souillures. Par contre les racines fines sont accompagnées de 25 à 35 % de sable et les masses mesurées ont été majorées d'autant.

En moyenne, les mesures sur toutes les racines fines sont à réduire de 32 %, qu'il s'agisse des plantes herbacées ou des ligneux - avec une incidence plus faible dans le cas des arbres où les racines fines ne représentent qu'une fraction de la biomasse souterraine.

En ce qui concerne l'analyse chimique, les valeurs suivantes ont été dégagées :

Protéines	3,4	Cellulose	35,1
M.G.	0,8	E.N.A.	53,5
Minéraux	7,2	Ca	0,97
P	0,08	Mg	0,42
		K	0,78

123. Production herbacée nette souterraine :

Outre les remarques précédentes, les mesures effectuées en 1972 (voir plus loin: production racinaire nette) ont amené à penser que la production souterraine serait supérieure de 19 % à la biomasse mesurée en fin de saison de croissance, de même que la production aérienne est supérieure d'1/5ème environ au "standing crop" maximum.

La liste des corrections concernant les racines de la strate herbacée comprend donc quatre termes:

densité des sols	- 5,5 %
silice	- 32 "
production nette	+ 19 "
climat: + 1/7ème	+ 14,3 "

Total	- 4 %

Il se trouve ainsi que, par le jeu d'erreurs en sens contraires, les valeurs de production avancées précédemment seront peu modifiées, mais la récapitulation ci-dessus met en relief la nécessité d'apporter une minutie toute particulière à de telles investigations.

La quantité de racines herbacées par m² s'établit à 136 g pour le groupement 1, - 210 g pour 4 et 247 g pour 7, ou par hectare 1 156 + 252 + 74 = 1 482 Kg. D'où la traduction en éléments :

Kg/ha	Gr. 1	Gr. 4	Gr. 7
N	6,2	1,4	0,4
P	0,92	0,20	0,06
K	9,0	2,0	0,6
Ca	5,6	2,4	0,7
Mg	4,8	1,1	0,3
Energie brute (millions de Kcal.)	3.900	cal./g	
	4,50	0,98	0,29
C ,Kg	430	93	27

13 - LITIERES ET SOLS :

Il a été donné à plusieurs reprises de mesurer la quantité de matière végétale présente au sol sous forme diffuse, c'est à dire en fragments si menus qu'il est impossible de la collecter autrement que par les techniques de flottation telles qu'on les utilise pour le tri des racines ou des diaspores.

Ces mesures ne présentent pas en soi d'autre intérêt que de justifier la diminution de biomasse sèche sur pied ou de mesurer une consommation de matériel herbacé, mais c'est aussi pour notre propos la vérification d'autres mesures et le stade intermédiaire entre la végétation organisée et la matière organique des sols telle qu'elle est mesurée par les analyses pédologiques.

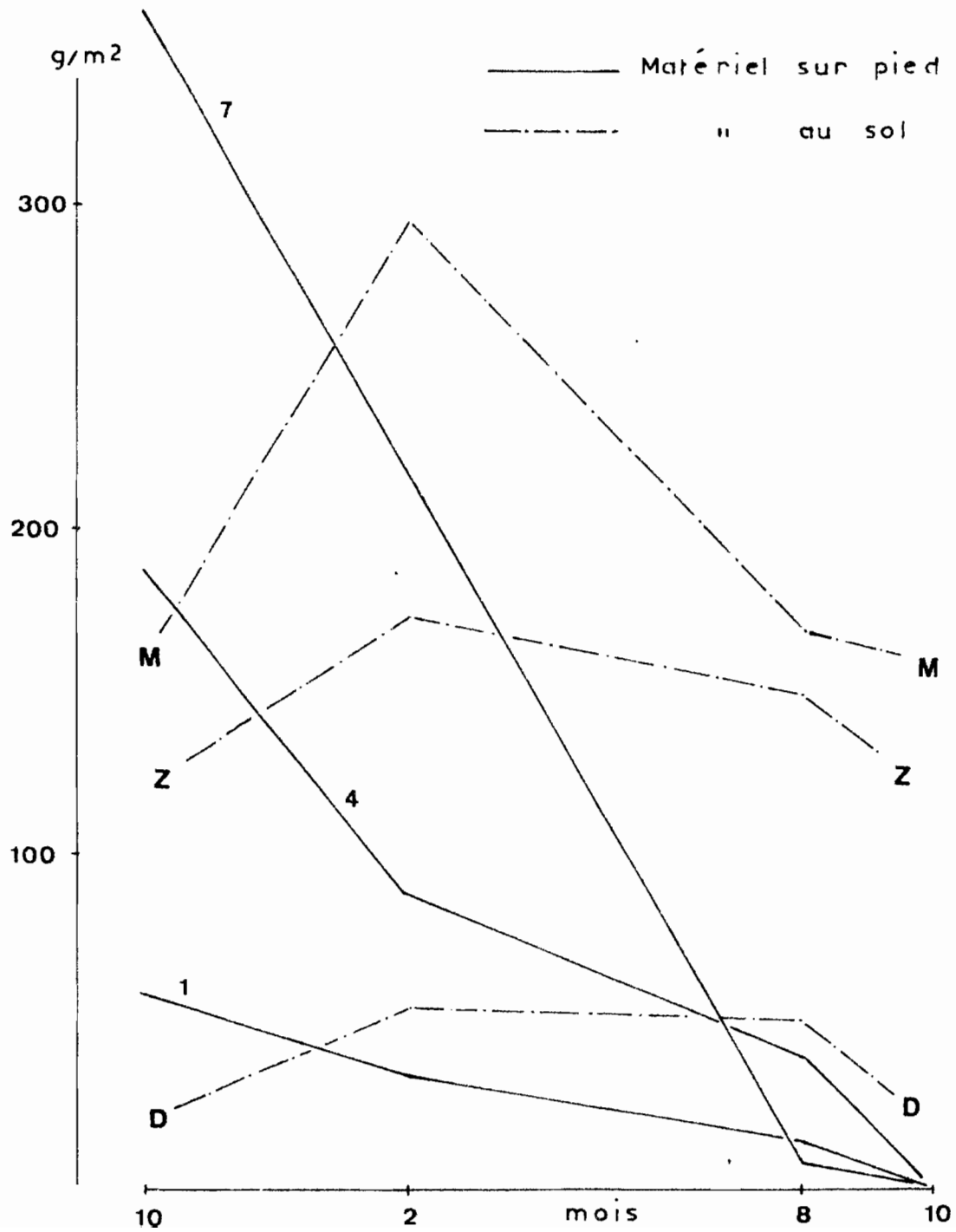
131. les Litières :

Le matériel végétal sur pied et le matériel au sol ont été enregistrés à trois dates: 1er octobre, début février et fin juillet. Les résultats sont présentés par la figure 2 où la quantité de matériel au sol en octobre, inconnue, est symbolisée par les lettres M, Z et D.

En outre, pour le groupement 4, il existait au sol en février 170 g de matériel provenant visiblement de ligneux (fragments de bois, écorce, feuilles,...). Au cours des 6 mois secs, la consommation en 1 a donc été de 0,8 g/m²; en 4: 4,1 g/m² et en 7: 20,8 g/m² et par mois. On obtient ainsi une consommation de 18 Kg par mois et par hectare et, pour l'année, certainement plus de 220 Kg.

FIG. 2

LITIÈRES



La différence entre la production annuelle et cette consommation est incorporée aux horizons supérieurs du sol qui reçoit ainsi, outre les racines, de 0,9 à 1 tonne de matière organique par hectare - ou, en carbone, de 350 à 400 kilogrammes.

Or les analyses pédologiques révèlent dans les 10 premiers centimètres de sol 3,7 % de matière organique en 1, - 14,7 % et 22,1 % respectivement en 4 et 7. Pour 1 m² de chacun des milieux on aurait ainsi 6,3 - 25 et 37,6 Kg de matière organique dont la moitié environ provient de la végétation aérienne. Ainsi la matière organique de l'horizon A1 serait environ 60 fois supérieure à la production annuelle.

Le carbone du sol, selon les mêmes données pédologiques, correspond généralement à moins de 6 % de la fraction "matière organique", soit en Kg/m² 0,35 - 1,42 et 2,17 ou par hectare 5,35 tonnes. Le rapport du stock à l'apport annuel n'est plus que de 14, valeur encore élevée mais vraisemblable.

Nous caractériserons donc les sols par leur teneur en carbone sans tenir compte de la matière organique, suivant en cela d'autres auteurs qui se sont penchés sur le problème (voir par ex. A.PERRAUD : La matière organique des sols forestiers de Côte d'Ivoire, thèse Univ. de Nancy).

132 - Profondeur d'enracinement :

L'épaisseur de sol prise en considération dans les études d'écosystèmes varie de 25 à 40 cm et semble malheureusement souvent choisie de façon un peu arbitraire. Nous nous sommes proposé d'inclure dans la biosphère une couche du substrat comprenant au moins 80 % des racines.

Nous rappelons ci-après les quantités de racines en fonction de la profondeur pour les formations herbacées:

	Gr. 1	Gr. 4	Gr. 7
0 - 10 cm	74	104	96 g
0 - 20	108	143	140
0 - 50	128	181	197
0 - 100	136	193	214
80 % du total	109	168	197

La quantité de racines requise se trouve dans 20, 40 ou 50 cm selon les groupements.

Des calculs analogues ont fait apparaître des tranches de sol de près d'un mètre pour *Balanites aegyptiaca*, 30 cm pour *Commiphora*, 100 cm pour *Acacia*, 25 cm pour *Grewia* et 70 cm pour *Guiera*. Il faudrait en moyenne considérer 65 cm de sol dans le cas des ligneux et 35 cm dans le cas des herbes : la valeur 50 cm sera retenue.

Les 50 premiers centimètres de sol contiennent 93 % des racines de plantes herbacées et (cf. plus loin) 76 % des racines d'arbres, ou encore 87 % de la production nette souterraine, ce qui correspond largement aux normes qui avaient été prévues.

133. Analyse des sols :

Trois niveaux correspondent assez bien aux horizons pédologiques les plus souvent observés: 0 à 10 cm, 10 à 20 cm, 20 à 50 cm - les deux premiers étant surtout différenciés par leur teneur en carbone, et le troisième par sa structure ou sa texture qui imposent des caractéristiques différentes.

A ce propos, on a reporté selon un système de coordonnées logarithmiques, comme lors des études d'enracinement, les teneurs en carbone en fonction de la profondeur (figure 3). Ce profil du carbone vérifie très correctement la loi de répartition des racines, sauf à proximité de la surface où la litière constitue un apport supplémentaire marqué, surtout évidemment pour le groupement 4 où le sol bénéficie d'apports d'origine ligneuse.

On note encore une certaine tendance du carbone à la migration vers le bas. Enfin, il est possible de lier la quantité de matière organique présente à la profondeur par une expression polynomiale du troisième degré (forme plus souvent citée dans la littérature et sans doute plus exacte), mais une telle équation est difficilement manipulable en l'absence de moyens de calcul puissants et les graphiques en logarithmes sont de lecture plus facile.

Le carbone représente $360 \text{ g} + 220 \text{ g} + 760 \text{ g} = 1,34 \text{ Kg}$ par m^2 dans le milieu 1; $1,43 + 0,27 + 0,61 = 2,31 \text{ Kg/m}^2$ dans le milieu 4 et $2,17 + 1,26 + 1,84 = 5,27 \text{ Kg/m}^2$ en 7. Par ha, 11,39 - 2,77 et 1,58 tonnes (Total: 15,74 t. avec un taux de renouvellement très bas). La combustion de cette masse de carbone fournirait 127 millions de Kcal.

REPARTITION de la
MATIERE ORGANIQUE
DANS LE SOL

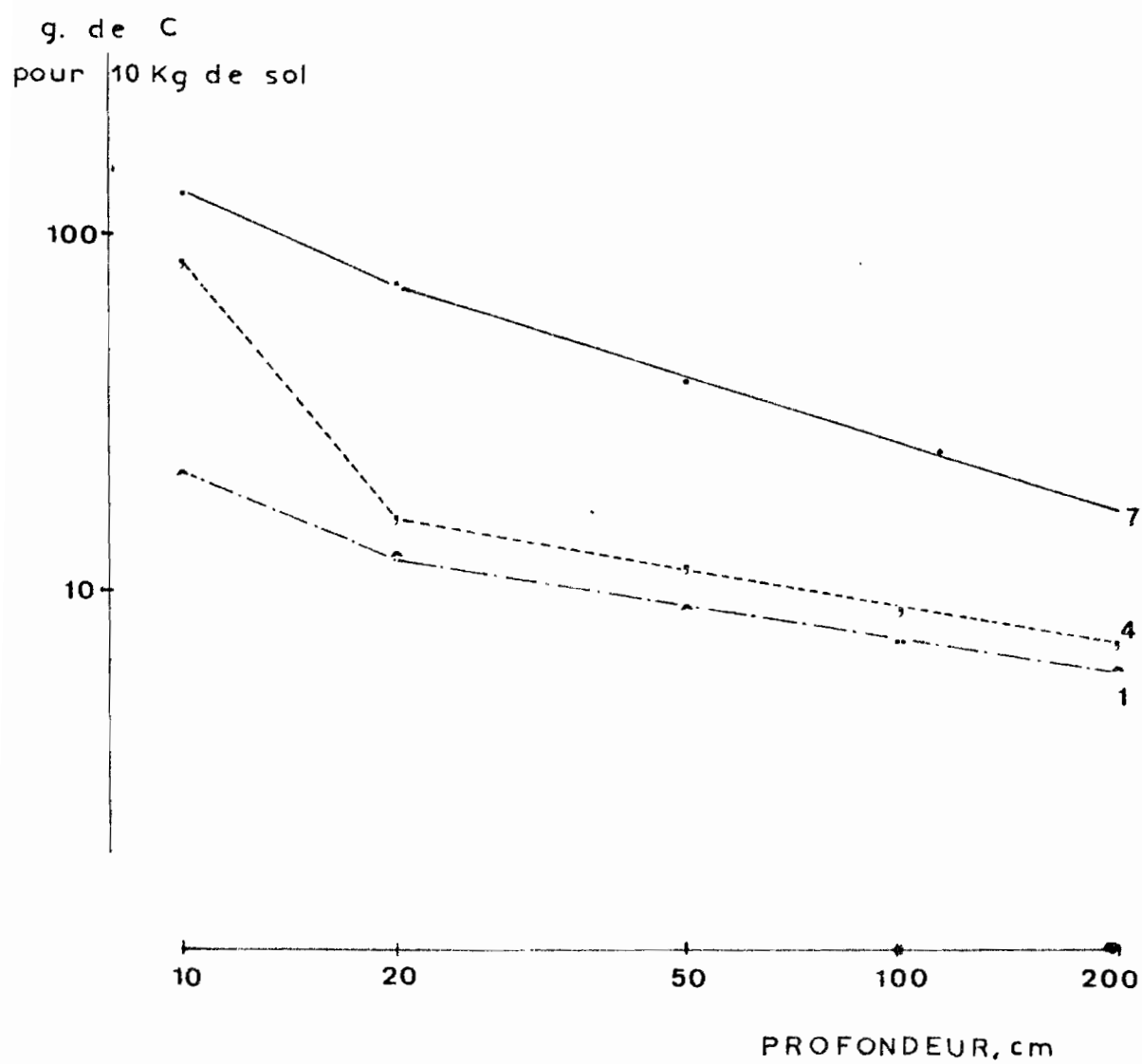


FIG. 3

Un ordre de grandeur sera fourni aussi pour les autres éléments pour lesquels ont été réalisées de 4 à 10 analyses seulement dans chaque milieu:

	Milieu 1	Milieu 4	Milieu 7
Azote			
Kg/m ²	0,039	0,058	0,126
	+ 0,022	0,028	0,061
	+ 0,066	0,072	0,138
Kg/ha	1 105	192	96
P, g/m ²	7	10	53
	5	8	50
	21	25	159
Kg/ha	280	52	78
Ca, g/m ²	78	95	280
	61	75	183
	132	204	468
Kg/ha	2295	444	279
Mg, g/m ²	31	49	126
	26	36	56
	143	159	234
Kg/ha	1700	293	124
K, g/m ²	7	14	12
	5	7	9
	12	10	31
Kg/ha	204	37	16

Tableau n°3

211. Masse aérienne :

Les hauteurs des arbres étaient de 9,3 - 11,0 - 14,5 et 16,6 mètres et ces quatre valeurs déterminent une courbe de croissance (hauteur = f, diamètre) d'aspect classique. La hauteur maximale possible semble de l'ordre de 20 mètres.

Les masses sont résumées dans le tableau suivant:

Diamètre, m	1,0	1,4	2,6	3,2
Volume tronc + grosses branches m ³	3,4	6,7	28,8	52
Proportion écorce	25 %	20 %	15 %	13 %
Masse, t.	0,65	1,27	5,2	9,3 (°)
Branches fines	0,13	0,18	0,5	0,9
Total aérien	0,78	1,45	5,7	10,2

(°): déduction faite de la cavité centrale

Ces masses ont été reportées Figure 4 : ligne interrompue mixte.

212. Masse souterraine :

Elle a été déterminée selon les méthodes utilisées précédemment le long d'une tranchée de 2 m de profondeur. L'enracinement est relativement superficiel mais très dense et particulièrement étendu (950 m² pour l'individu le plus grand). En particulier, la quantité de racines fines est la plus forte qui ait été observée sur la zone pour un volume unitaire de sol :

Profondeur	mg de racines par Kg de terre
0 - 20	3 400
20 - 50	1 100
50 - 100	400
100 - 200	140

BIOMASSE , BAOBABS

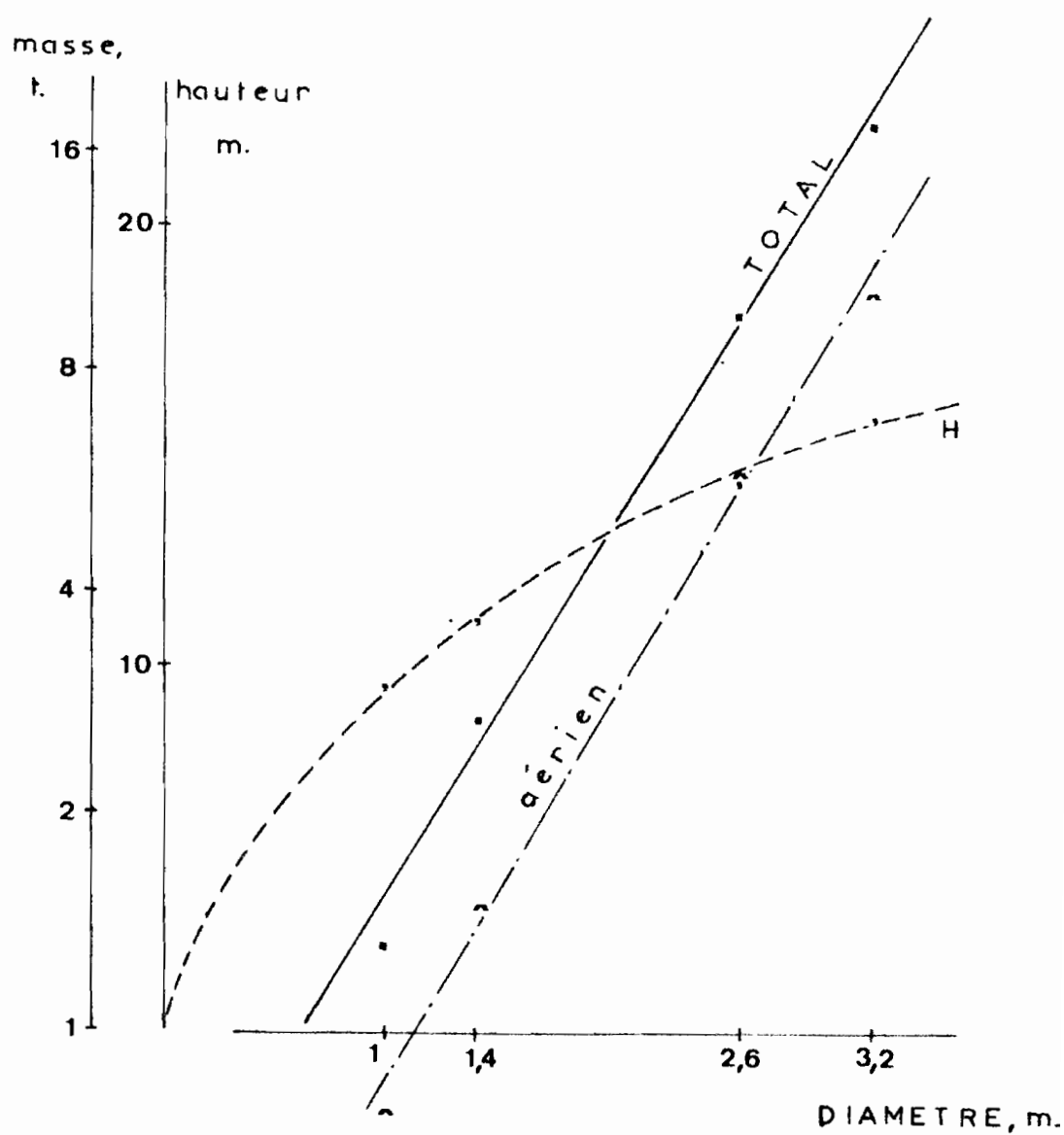


FIG. 4

Compte tenu de l'extension du système racinaire, la biomasse souterraine s'établit comme suit:

Diamètre	1,0	1,4	2,6	3,2
Grosses rac.	0,19	0,33	1,75	3,1
Racines fines	0,38	0,67	2,35	3,3
Total souter. (tonnes)	0,57	1,2	3,6	6,4

213. Biomasse et production :

En ce qui concerne la biomasse par unité de surface, on s'est contenté de prendre pour 1 ha le centième de la masse des quatre baobabs présents sur le kilomètre carré, soit 300 kilogrammes par hectare. Cette valeur est certainement supérieure à la moyenne, mais il est difficile de dire dans quelle mesure car les baobabs ne semblent pas répartis rigoureusement au hasard et jalonnent souvent des itinéraires traditionnels.

Deux explications hypothétiques sont possibles: a) le baobab a toujours joui de la protection des populations et présente même parfois une signification magique - b) il serait très fragile lors de son installation, et surtout très sensible aux feux, de sorte qu'il ne pourrait se maintenir qu'en un point à la fois bien alimenté en eau et à végétation clairsemée en raison de l'action de l'homme.

Il est assez sûr que la région de Fété Olé a été habitée au siècle dernier grâce à l'existence des mares auxquelles le lieu doit son nom et l'endroit était en apparence à l'intersection de deux itinéraires qui ont été délaissés après la création des forages et l'occupation du territoire par un cheptel bovin accru. Les plages à *Euphorbia sudanica* sont aussi des témoins d'une époque agricole. La biomasse en baobabs est donc donnée à titre de curiosité et sa valeur réelle moyenne peut n'être que la moitié des 300 Kg/ha constatés dans le cas particulier de Fété Olé.

Quant à l'âge des arbres, on a admis la "loi de Walter", selon laquelle en zone tropicale sèche la croissance annuelle est proportionnelle aux précipitations - et par suite il existe bien un cerne d'accroissement par an (proposition vérifiée sur un siècle pour le plus gros des baobabs). Les âges des baobabs observés seraient donc respectivement voisins de 60 - 90 - 185 et 270 années, ce qui appelle deux remarques:

a) la longévité des baobabs, de haute réputation, est relative. Ils ne vivent surement pas plusieurs millénaires, mais néanmoins trois à quatre fois plus vieux que les autres espèces sahéliennes. Le caractère immuable qu'on leur attribue réside surtout dans une croissance relative très lente, chacun de nos arbres s'augmentant annuellement de 21, 43, 71 et 87 Kg: en moyenne 62 Kg ou encore 5 Kg par ha.

b) les deux plus jeunes des baobabs seraient nés au cours de périodes légèrement plus humides: si l'on considère que la moyenne annuelle de précipitations à Saint-Louis du Sénégal est de 370 mm, on a enregistré entre 1912 et 1920 d'une part, entre 1875 et 1885 d'autre part, des décennies à pluviosité supérieure à 400 mm. Le baobab est effectivement à Pété Olé en limite nord de son aire d'extension géographique.

Enfin, la production caduque (non mesurée) sera estimée à 5 Kg/ha également: la chute de litière "marque" peu au pied de l'arbre où l'on ne trouve généralement pas de végétation herbacée sciaphile caractérisée.

22 - RESULTATS COMPLEMENTAIRES :

Les recherches poursuivies en 1972 complètent et éventuellement modifient les résultats précédents aussi bien pour la partie aérienne que pour la partie souterraine des ligneux. Dans certains cas (Balanites, Commiphora, Acacie) l'abattage de vieux arbres a précisé le comportement des individus âgés; pour les Grewia, on a écarté de la biomasse le bois mort sur pied qui causait une anomalie apparente dans les graphiques exprimant la masse; pour Guiera, il a été nécessaire de modifier les classes de population, une erreur ayant été décelée dans les calculs précédents.

221. Biomasse souterraine :

Outre les corrections dues à la mesure nouvelle de densité des sols en place et aux souillures par la silice des échantillons pesés, un phénomène imprévu a été découvert. En effet, des mesures de quantité de racines fines ont fourni les résultats suivants :

Profondeur	0 - 20cm	20 - 50	50 - 100
Balanites	120 mg/Kg	200 mg/Kg	70 mg/Kg
Commiphora	420	120	45 ?

Or il avait été précédemment admis: 100, 170 et 55 mg pour *Balanites aegyptiaca*; 360, 100 et 40 mg pour *Commiphora africana*. Les nouvelles mesures réalisées en octobre 1972 sont supérieures de 20, 18, 21, 17, 20 et 11 % (dernière valeur incertaine) à celles de février 1970, et il en est de même pour les autres espèces, avec une différence systématique de 19 % en moyenne qu'on ne peut attribuer à de simples erreurs d'échantillonnage ou de mesure.

Par ailleurs, les racines fines prélevées en 1972 présentaient une proportion importante d'éléments visiblement morts, le plus souvent réduits à l'écorce ou dont l'écorce n'adhérait plus au bois, ou encore brisés en fragments. Si de telles racines avaient été initiées avant 1972 et étaient mortes soit en 1972, soit plus tôt, les proportions de racines vivantes et mortes auraient pu être celles qui furent observées, mais la masse totale aurait dû être celle de 1970.

Par contre, si les racines mortes trouvées ont été produites en 1972 et sont mortes la même année sans être décomposées en raison de la sécheresse de l'année et de l'absence d'activité des micro-organismes dans le sol, leur présence en excédent est justifiée, -considérant qu'en 1969 (année humide) elles avaient été détruites avant l'installation de la saison sèche .

Ainsi au cours de chaque saison humide seraient produites et aussitôt détruites des quantités importantes de racines fines qui seront désormais ici désignées sous le nom de "racines fugaces" et qui représentent au moins 19 % de la masse permanente des racines fines. Le phénomène n'est pas une découverte et a été très généralement signalé par les observateurs disposant de moyens d'investigation assez puissants, mais la conséquence la plus importante de l'année désertique 1972 pourrait être la mise en évidence des racines fugaces au Sahel ainsi que le fait qu'elles ne sont pas déterminées par l'humidité du sol mais par un mécanisme identique à celui qui déclenche la production caduque aérienne.

Quoi qu'il en soit, cet écart de 19 % entre la production souterraine nette et la biomasse racinaire observée a été admis au niveau du bilan pour l'ensemble de la production végétale, y compris la production herbacée. (cf § 123)

L'incidence des diverses corrections sur les racines des ligneux reste assez faible, puisqu'elles ne concernent que les racines fines, et les résultats seront consignés dans le tableau ci-après sans entrer dans le détail des calculs :

Espèce	Biomasse souterraine/ha	Accroissement annuel	Racines fugaces
Balanites	391 Kg	35 Kg	27 Kg
Commiphora	470	27	20
Acacia	130	6	16
Grewia	175	22	11
Guiera	143	17	17
Divers	26	2	2
Baobabs	118	2	13
TOTAL	1 453	111	106

222. Biomasse aérienne :

La réduction de l'imprécision due aux nouvelles mesures modifie les résultats par hectare de 1 à 2,6 %, mais il a été nécessaire de distinguer les biomasses en bois et écorce, éléments très différents à l'analyse.

Les estimations de production en feuilles et fruits ont été peu améliorées, leur mesure précise ayant été prise en charge par notre collègue H. POUPON dont les travaux ne sont pas achevés. Il est déjà certain que la production caduque (feuilles et fruits) est très sensible au climat de l'année et on pourra comme pour la strate herbacée calculer une valeur moyenne théorique. Cependant, son ordre de grandeur (100 Kg/ha) faible devant la production nette annuelle totale (plus de 3 tonnes) minimise l'erreur commise.

Les résultats utilisés ici sont donc :

Espèce	Biomasse aérienne	dont écorce	Accroissm. annuel	Prod. caduque	dont fruits
Balanites	544	98	48	25	9,5
Commiphora	490	172	27	16	3,5
Acacia	140	30	7	11	4,0
Grewia	300	60	40	21	3,5
Guiera	159	22	19	8	0,5
Divers	33	7	3	2	0,4
Baobab	181	45	3	5	1,6
TOTAL	1 847	427	147	88	23

23. - ANALYSE DES LIGNEUX :

La composition chimique des plantes herbacées reflétait surtout les conditions de sol pour chacun des groupements considérés et l'état phénologique des végétaux. Il était possible de s'affranchir des différences entre espèces en considérant des prélèvements globaux, d'autant plus que les diverses graminées - qui constituent la majeure partie de la strate basse - présentaient des compositions assez voisines.

Pour les arbres et arbustes, il n'a pas été possible de mettre en évidence une évolution au cours de l'année: le grand nombre d'analyses nécessaires excédait les possibilités matérielles et financières. En dehors des feuilles pour lesquelles nous possédions déjà des documents et où le prélèvement devait être réalisé dès le développement maximum, on s'est donc surtout attaché aux variations entre espèces.

Il s'agit en outre dans l'ensemble d'un domaine peu connu en milieu tropical, bien que certains éléments ligneux soient consommés par les animaux: jeunes rameaux de Balanites (chameaux), écorces (rongeurs), bois et racines (insectes divers), sans parler des fruits et feuilles.

231. Les minéraux :

Sans reproduire ici "in extenso" les dizaines d'analyses chimiques correspondantes, il a paru nécessaire de mettre l'accent sur les grandes variations constatées à la fois entre les espèces différentes et entre les diverses parties des végétaux.

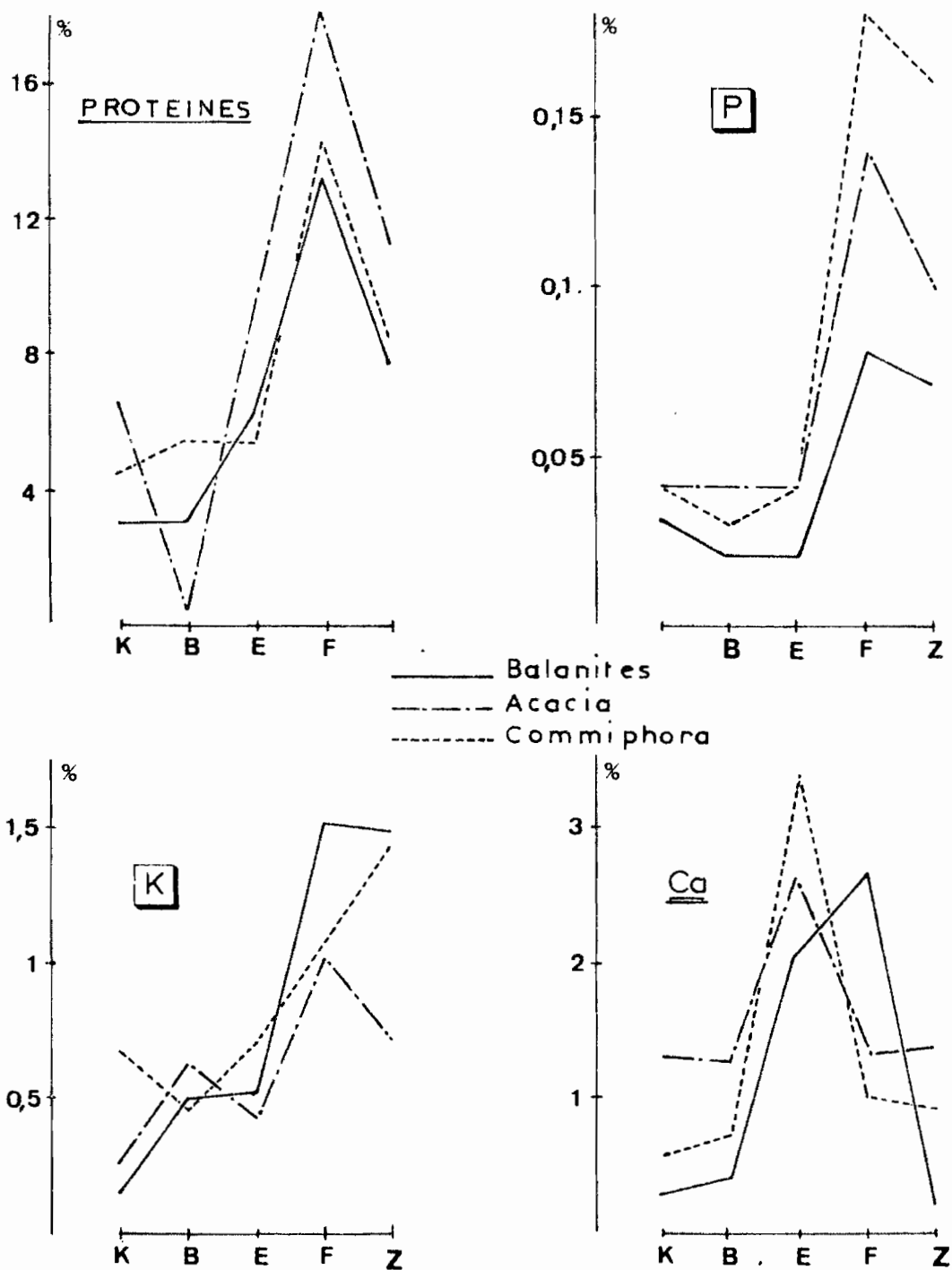
La figure 5 compare les teneurs en protéines, phosphore, potassium et calcium des racines, bois, écorces, feuilles et fruits de trois espèces: Balanites, Acacia et Commiphora. On constate :

- que généralement les feuilles et à un degré moindre les fruits sont les plus riches en un quelconque des éléments, sauf dans le cas du calcium. Exception: les fruits de Commiphora renferment plus de potassium que les feuilles.

- que les racines sont généralement plus pauvres, sauf en phosphore. Exceptions: les racines de Commiphora, plus riches en potassium que le bois, et les racines d'Acacia, beaucoup plus riches en azote que le bois - de sorte que l'enrichissement en azote des sols sous Acacia est plus vraisemblablement lié aux racines plutôt qu'aux litières.

FIG. 5 COMPOSITION des LIGNEUX

K: racines - B: bois - E: écorce
F: feuilles - Z: fruits



- que les écorces ont des teneurs en minéraux presque toujours élevées, sauf en phosphore. Exception: le potassium dans le cas des Acacia.

- que Balanites est généralement moins riches que les autres espèces, à trois ou quatre exceptions près.

Il est inutile de poursuivre ces remarques pour que soit évident le fait qu'il n'y a pas de règle ni pour la répartition d'un élément à l'intérieur d'un arbre, ni pour un classement des espèces. Par suite, les valeurs moyennes utilisées pour les "arbres divers" seront fortement douteuses et, si l'on ne possède pas l'analyse d'un élément donné, on ne pourra formuler aucune hypothèse plus particulièrement vraisemblable. Ces réserves étant faites, les tableaux 4 et 5 proposent les teneurs en minéraux du compartiment Ligneux.(par ha):

Matériel	N,Kg	Ca,Kg	P,Kg	Mg,Kg x10	K,Kg
Balanites, bois	3,2	3,6	0,18	6,2	2,1
écorce	1,0	2,0	0,20	1,3	0,5
racines	1,9	1,2	0,12	0,3	0,6
Commiphora, bois	2,7	2,2	0,06	4,4	1,5
écorce	1,5	5,8	0,07	4,6	1,2
racines	3,2	2,8	0,02	0,6	3,1
Acacia, bois	0,5	1,4	0,04	0,2	0,7
écorce	0,5	0,8	0,01	0,1	0,1
racines	1,4	1,7	0,05	0,4	0,3
Grewia, bois	1,6	3,1	0,10	2,6	0,5
écorce	0,4	0,8	0,02	0,7	1,3
racines	1,2	1,9	0,07	0,2	0,4
Guiera, bois/éc.	0,7	0,8	0,07	0,1	0,4
racines	0,6	0,6	0,06	0,1	0,3
Divers, bois	1,3	2,0	0,05	2,4	0,8
écorce	0,4	0,5	0,01	0,6	0,2
racines	0,9	1,2	0,04	0,1	0,4
TOTAUX bois	10,1	13,1	0,50	1,9	5,9
écorce	3,9	10,0	0,15	0,8	2,2
racines	9,2	9,3	0,52	1,7	5,2

Tableau n°4

Production annuelle : (en g)

Matériel	N	Ca	P	Mg	K
Balanites, aérien					
Croissance	415	670	14	67	240
Feuilles	335	418	12	13	236
Fruits	120	19	8	9	141
souterrain					
Croissance	160	105	11	25	56
Fugace	130	81	8	19	43
Commiphora, aérien					
Croissance	229	92	11	73	186
Feuilles	283	125	22	6	31
Fruits	47	32	6	1	5
souterrain					
Croissance	190	162	11	25	178
Fugace	140	120	8	26	132
Acacia, aérien					
Croissance	109	182	3	20	24
Feuilles	203	91	10	27	72
Fruits	72	52	4	10	27
souterrain					
Croissance	60	78	2	18	14
fugace	170	208	6	46	39
Grewia, aérien					
Croissance	269	520	16	44	88
Feuilles	406	402	17	8	20
Fruits	47	31	5	9	3
souterrain					
Croissance	150	242	8	24	48
Fugace	70	121	4	12	24
Guiera, aérien					
Feuilles	100	114	9	15	51
Fruits	116	68	8	6	56
Fruits	181	35	1	1	6
souterrain					
Croissance	70	68	7	8	37
Fugace	70	68	8	8	37
Divers, aérien					
Croissance	48	72	2	8	27
Feuilles	67	80	5	3	62
Fruits	32	80	2	4	20
souterrain					
Croissance	30	24	1	4	12
Fugace	90	120	4	15	45
TOTAUX :					

./..

TOTAUX	N	Ca	P	Mg	K
aérien					
Croissance	1 100	2 500	55	230	620
Feuilles	1 395	1 183	75	389	836
Fruits	330	145	25	46	273
souterrain					
Croissance	700	718	40	126	345
Fugace	700	679	37	114	320

(Tableau n°5)

232. Carbone et énergie :

Des écarts élevés ont également été constatés entre les valeurs calorifiques des divers éléments ligneux: les écorces représentent de 4185 à 4830 calories par g. de matière sèche, les bois de 4495 à 4810, les racines de 4090 à 4650, les feuilles de 4165 à 4925 et les fruits de 4135 à 4920.

On a donc essayé de lier ces différences à de quelconques particularités chimiques, et on a notamment fractionné les hydrates de carbone qui forment l'essentiel de la matière végétale. Nous extrayons des résultats trois exemples des recherches effectuées :

	Bois+Ecorce Grewia	Ecorce Commiphora	Bois Balanites
Cellulose (méthode de Sharrer)	38,05	21,70	40,10
Cellulose (Wende)	45,01	26,60	47,30
Cellulose vraie	19,39	14,39	20,79
Hemicelluloses	16,14	13,33	18,73
Lignine	26,30	25,70	13,14
Lignocellulose	62,91	51,20	54,76
Sucres réducteurs	1,89	2,34	0,83
Energie: cal/g	5000	4185	4780

Il n'apparaît aucune corrélation manifeste entre l'un des éléments mesurés et l'énergie à la bombe du matériel testé, en dehors peut-être de la fraction lignocelluloses, mais la remarque n'est plus valable pour les fruits.

En outre, l'âge du bois intervient dans plusieurs cas: les jeunes rameaux verts de Balanites ont des caractéristiques différentes des parties adultes et les résultats doivent être lus à 10% près lorsqu'on traduit en énergie. Pour le carbone, on a appliqué la méthode simplifiée déjà utilisée pour les végétaux herbacés: 40 % de la fraction non minérale.

Sans entrer à nouveau dans le détail de la répartition du carbone et de l'énergie des ligneux, on peut avancer les résultats globaux suivants :

(par hectare)	Energie, 10^6 Kc	Carbone Kg
Parties aériennes		
Bois	6,4	525
Ecorce	1,9	158
Croissance annuelle	0,69	54
Feuilles	0,31	24
Fruits	0,11	8,5
Parties souterraines		
Biomasse	6,4	538
Croissance ann.	0,50	41
Racines fugaces	0,48	39

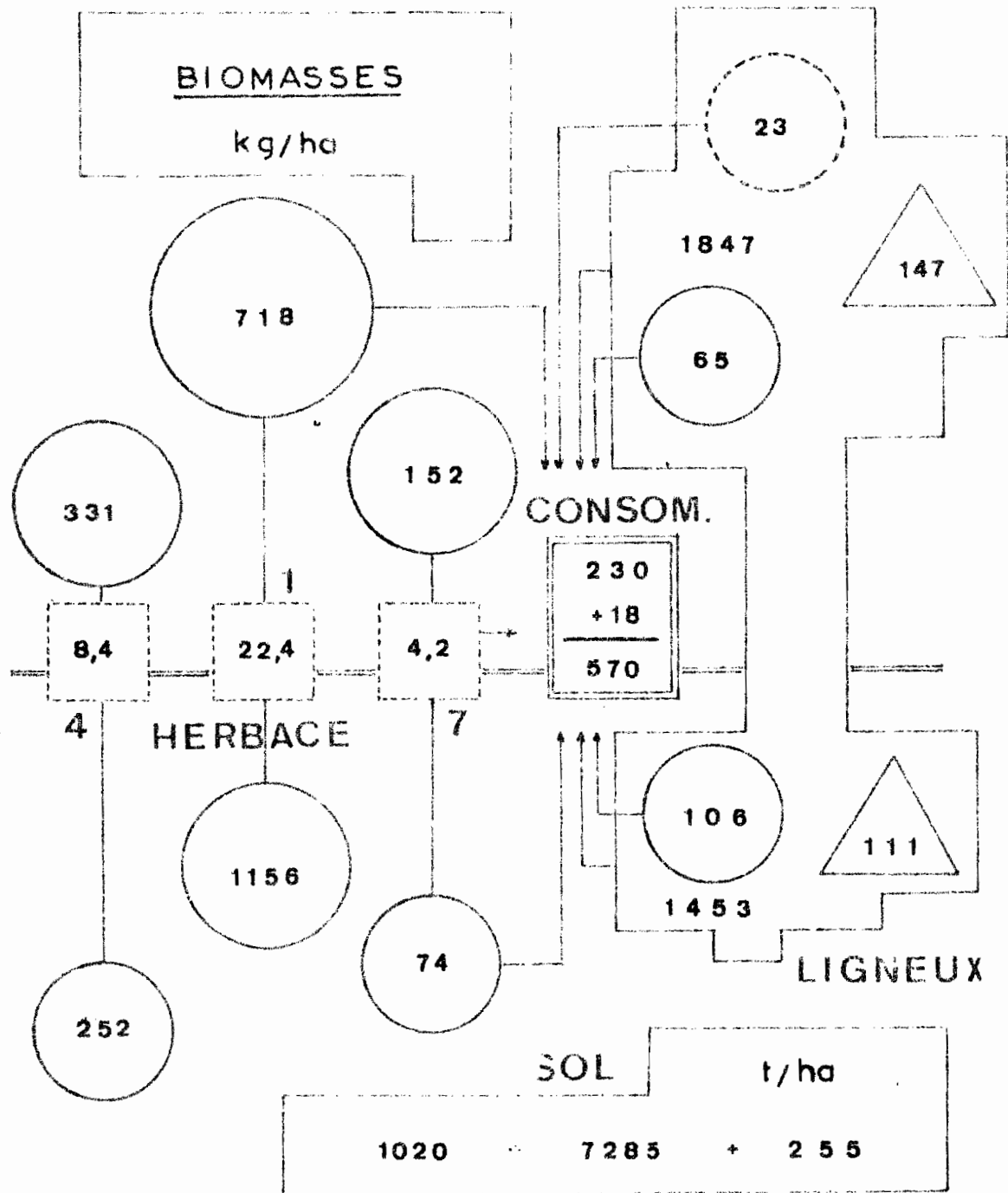
24 - CONCLUSIONS : Biomasse et Production végétale

On a porté sur la figure 6 les diverses masses qui composent l'écosystème. Les valeurs entourées d'un cercle représentent des productions annuelles et celles placées dans un triangle des accroissements annuels en masse. Les fruits et graines sont placés à l'intérieur de figures en traits interrompus et le contour anguleux situé dans la partie droite symbolise l'ensemble des ligneux.

La double ligne horizontale du centre sépare évidemment les parties aériennes et souterraines et la consommation est la somme des deux valeurs constatées pour les graines herbacées (18 Kg) et litières diverses (230 Kg) auxquelles on a ajouté la quantité d'herbe accessible aux bovins: on considère en effet qu'en zone sahélienne les bovins peuvent récolter au mieux 40 % de la production annuelle aussi bien herbacée que ligneuse, soit $1200 + 235 = 1435 \times 0,4 = 574$ Kg.

Pendant la saison des pluies, l'écosystème comprend un peu plus de 6 tonnes de matériel végétal (valeur en poids sec pour un hectare) dont près de la moitié est souterrain.

FIG. 6



En saison sèche, il est réduit à la biomasse ligneuse et, pour la partie aérienne, à une litière variant de 1 tonne $\frac{1}{2}$ à 700 Kg environ. Les racines mortes se conservent en majeure partie jusqu'à la saison des pluies suivante.

On peut à partir de ce schéma prévoir les conséquences d'un déboisement total, par exemple par action de l'homme et tel qu'il existe à proximité des forages et campements: végétation réduite pour l'essentiel au seul groupement herbacé 1 soit une biomasse aérienne maximum de 870 Kg et une consommation possible de 340 Kg - sous réserve encore de la conservation de l'intégrité de la strate herbacée. Cet argument que, faute de données, les forestiers n'utilisent pas clairement, est cependant la meilleure justification de leur action en zone tropicale sèche sur les terrains pastoraux, et nous comprenons mal les récents essais de création de prairies de fauche où la mécanisation impose la destruction des ligneux.

En cas de feu, plus d'une tonne de matière végétale est détruite et, bien qu'une partie des minéraux soit restituée aux sols, les feux sont sans doute responsables du bas niveau de production en doublant la "consommation" de carbone. Grâce à l'importance de la production souterraine et à la résistance des diaspores à l'incendie, le niveau d'équilibre qui s'établit en cas de feux répétés permet généralement la production d'une strate herbacée juste assez réduite pour que le feu ne puisse plus s'y propager.

Les ligneux participent faiblement à la production annuelle (14%) si on ne considère pas leur influence sur le reste du système et, s'ils paraissent de bon rendement (8 %), cela n'est dû qu'aux arbustes multicaules *Grewia* et *Guiera*. Enfin, la production nette journalière par mètre carré est de 4 g. pendant la saison de croissance: la combinaison de ce chiffre modeste et de la courte durée des pluies aboutit à une production annuelle obligatoirement restreinte.

311. Précipitations et eau du sol :

Faute de mieux, on admettra comme valeur moyenne des précipitations les normes de Dagana, localité située à 50 Km du terrain de Fété Olé:

Janvier	3 mm	Juillet	56 mm
Février	2	Août	129
Mars	-	Septembre	88
Avril	-	Octobre	25
Mai	5	Novembre	2
Juin	12	Décembre	2
Année : 324 mm			

Au cours des 80 jours de ce qu'il a été convenu de nommer "saison des pluies utiles", soit entre le 1er août et le 20 octobre, le système reçoit 234 mm de pluie. Le reste, 90 mm, prépare la saison de végétation active ou ne sert à rien (pluies d'hiver).

Un hectare de terrain reçoit donc 3240 mètres cubes d'eau qui s'y répartissent en fonction de la topographie et des caractéristiques des sols que nous rappelons:

(eau %)	Sols 1	sols 4	sols 7
Hydratation minimum observée	0,3	0,4	1,5
pF 3	2,5	2,7	6,0
pF 4,2	1,6	1,7	3,2
Quantités/ha (m3)			
Minimum	22	4	4
Maximum	182	27	16
Capacité de stockage	70	11	9

Ces valeurs ont été calculées pour 50 cm de sol seulement de façon que les divers éléments de l'écosystème restent comparables. Dans cette tranche de sol il faut apporter 195 m3 d'eau par hectare (20 mm de pluies) pour que les germinations soient possibles, et en outre une réserve apte à assurer le maintien du potentiel hydrique quelques jours (cf. étude dynamique des diaspores). Au cours de la saison de croissance de l'herbe, l'eau de cette tranche de sol peut varier de 130 à 220 m3.

312. Evapotranspiration :

Rien n'est, semble-t-il, plus difficile à mesurer que la perte d'eau par le système. On a rassemblé ici, à dessein, l'évaporation moyenne mesurée à Podor, l'évaporation calculée par la formule de Penmann à Podor, l'évaporation mesurée en 1971 à Richard-Toll, l'évaporation calculée à Richard-Toll et l'évapotranspiration potentielle mesurée encore à Richard Toll avec un couvert de *Cynodon dactylon*.

Tableau n° 6
=====

Mois	Evaporation mesurée		Ev. calculée		E.T.P.
	Richard-Toll	Podor	R.Toll	Podor	
Janvier	235	187	174	159	132
Février	259	204	207	164	160
Mars	311	301	248	236	223
Avril	355	340	272	254	260
Mai	364	371	260	263	260
Juin	319	313	203	256	277
Juillet	274	240	229	244	224
Août	222	142	206	206	182
Septembre	224	116	191	182	168
Octobre	259	165	181	198	178
Novembre	224	164	164	161	170
Décembre	207	159	169	147	134
Année	3 253	2 702	2 544	2 470	2 368

Si les évaporations calculées sont du même ordre de grandeur, il n'en va pas de même des mesures à Richard-Toll et Podor. Bien sûr, les résultats de R.Toll ne portent que sur la seule année 1971, mais cet écart de 20 % paraît fort élevé. L'évaporation mesurée est plus élevée que l'évaporation calculée en saison sèche et une concordance approximative n'existe que pendant les mois humides: il semble que la formule de Penmann sous-estime la puissance asséchante des vents continentaux du type harmattan, les plus grands écarts étant ceux d'avril et mai (plus de 100 mm par mois). Enfin, l'évaporation du lac R'kiz situé sur la rive mauritanienne du fleuve, est

de 2 480 mm et l'ordre de grandeur de 2,5 m pourra finalement être retenu pour l'année.

L'évapotranspiration potentielle n'est pas, en apparence, très inférieure à l'évaporation: 70 % en 1971. Transposée à la moyenne, l'E.T.P. atteindrait encore 1 750 mm, chiffre sans commune mesure avec les précipitations, et le mois le plus pluvieux seul présenterait un équilibre entre l'apport d'eau au système et son départ, de sorte qu'on ne peut tenir compte de l'E.T.P. (ou E.T.M.) pour justifier la réalité.

Il a été possible en 1970 de contrôler l'évapotranspiration réelle (cf. Présentation de la zone) et il est apparu que la valeur mensuelle la plus élevée mesurée était de 68 mm en août, valeur inférieure aux possibilités théoriques mais qui semble proche du plafond réel. C'est pourquoi, par comparaison avec la distribution de l'E.T.P., nous admettrons que cette valeur voisine de 70 MM représente l'évapotranspiration réelle en août, septembre et octobre. En juillet, l'E.T.R. est légèrement supérieure aux précipitations, et elle absorbe en novembre presque tout le stock du sol :

Janvier	3 mm	Juillet	50 mm
Février	2	Août	70
Mars	-	Septembre	68
Avril	-	Octobre	70
Mai	5	Novembre	32
Juin	12	Décembre	12

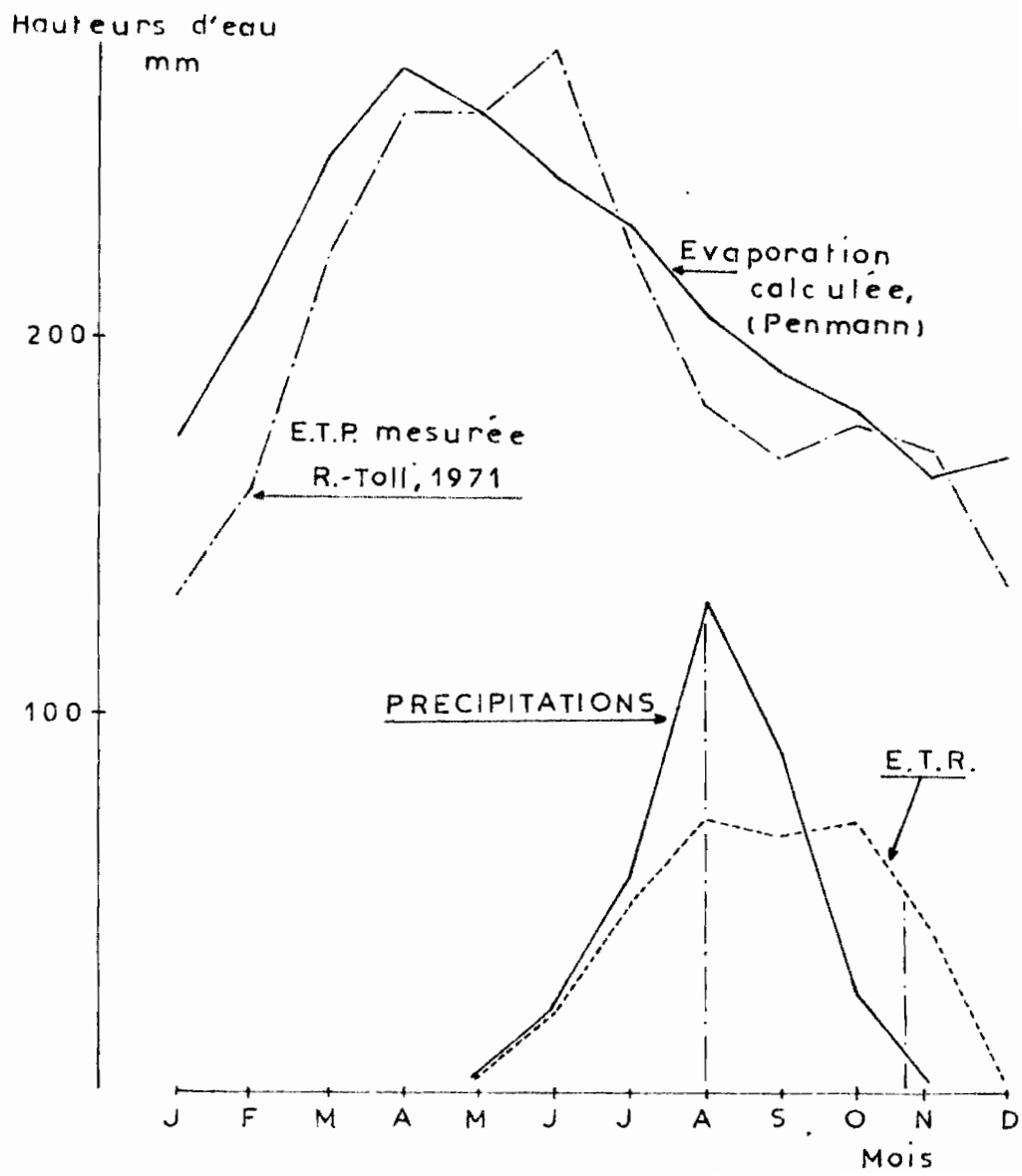
Ainsi l'E.T.R. atteint un total de 185 mm pendant la saison de croissance de l'herbe et est pratiquement constante pendant toute cette période: 2,3 MM/jour, ou 23 l/ha/jour. Cette hypothèse a été portée sur la figure 7 qui met ainsi en évidence d'une part le décalage entre l'E.T.P. (indication d'ordre plutôt agronomique) et l'E.T.R., - d'autre part le décalage dans le temps entre la courbe de précipitations et la courbe d'évapotranspiration.

Notons encore que nous disposons d'assez nombreuses données d'évaporation sur le terrain, obtenues avec l'évaporimètre Piche, et dont nous extrayons 3 exemples :

Date :	15.05	15.06	15.08
7 h à 13 h	8,2 MM	6,5	2,6
13 à 19 h	9,0	7,1	2,8
19 à 7 h.	10,7	7,7	4,2
Total :	27,9	10,6	7,4

FIG. 7

BILAN de l'EAU



Les quantités mesurées en juin et août concordent avec les valeurs mesurées à Richard-Toll aux mêmes époques; par contre, les mesures de mai ont été réalisées un jour d'humidité très violente avec température maximum sous abri de 45 °C et une humidité relative très faible: l'évaporation a atteint 2 mm en une seule heure (14 h.30 à 15 h.30). Même si de tels records ne sont pas représentatifs de longues périodes, on voit qu'une semaine de vent peut creuser un écart de 150 ou 200 mm entre les observations de l'année et la moyenne et que l'appareil de Piche peut au mieux servir à comparer les conditions de stations voisines au même moment.

313. L'eau et la végétation :

Il n'est pas rare d'observer, à quelques jours d'intervalle, d'importantes différences d'hydratation dans les végétaux herbacés ou les feuilles d'arbres. Ainsi, on a relevé en 1970 les teneurs en eau suivantes par rapport au matériel végétal frais :

	Graminées	Feuilles Sclerocarya	Boscia
14.09	76 %	68 %	46 %
17.09	72	63	44
20.09	74	66	44
26.09	70	65	43

La croissance des graminées semble perturbée lorsque la teneur en eau devient inférieure à 60 ou 65 % mais la survie est possible jusqu'à 54 % et d'autres espèces (*Borreria* et *blepharis*) sont encore plus résistantes. On doit donc se contenter de coefficients moyens pour exprimer la quantité d'eau présente dans la matière vivante:

Strate herbacée :			
aérienne	2,6	M.S.	
souterraine	2,0	"	(?)
graines	0,1	"	
Eléments ligneux :			
	Aérien. :	Racines	Feuil.& Fr.
Balanites	0,6	0,7	2,1 - 1,4
Commiphora	1,46	1,48	2,4 - 2,2
Acacia	0,78	0,78	2,6 - 1,7
Grewia	0,32	0,46	2,1 - 1,2
Guiera	0,41	0,43	2,2 - 1,3

Les teneurs en eau des éléments ligneux permanents ont été déterminées en février et on peut considérer que l'eau correspondante est immobilisée par les végétaux. Les autres valeurs sont des moyennes fin septembre, mais la teneur en eau des racines herbacées est incertaine: elle a été calculée à partir de la différence entre l'hydratation d'un certain volume de sol contenant des racines (extraites par la suite) et le sol n'en contenant pas.

La figure 8 regroupe les données relatives à l'eau. En saison sèche, un hectare de l'écosystème ne renferme que la quantité particulièrement faible de 33 m³ d'eau, dont moins de 10 % dans les végétaux: on est en droit de se demander comment les arbres réussissent à conserver 3200 litres d'eau alors que le sol est pour ainsi dire totalement deshydraté. On peut supposer que le phénomène met en jeu le peu de précipitations infiltrées au dessous d'un mètre de profondeur, eau qui a en outre tendance à remonter par capillarité.

Pendant les pluies, on trouve en moyenne 180 m³ d'eau dans le sol et 8 m³ dans les végétaux, mais chaque jour 23 m³ d'eau retournent à l'atmosphère et les plantes ne pourraient pas supporter plus d'une dizaine de jours sans pluie qui, durant la même période est introduite dans le système à raison de 29 m³ par jour et s'accumule temporairement dans les creux où le sol est sur-saturé jusqu'à existence d'une nappe d'eau libre.

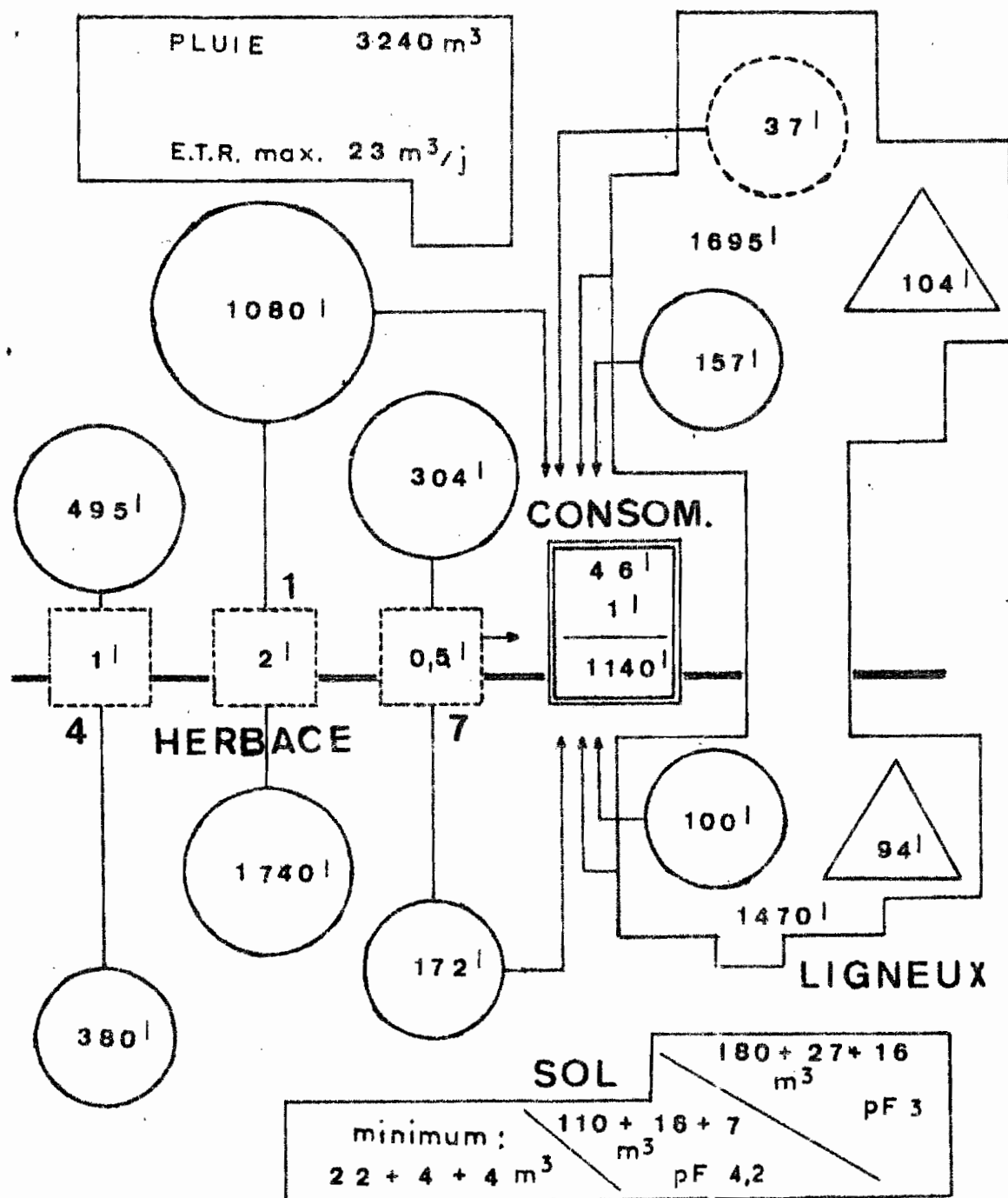
La consommation est une estimation assez grossière: moins de 50 l en l'absence de bovin et 1200 l en cas contraire du fait que les bovins consomment l'herbe assez jeune et succulente. On voit pourtant que sur les 3240 m³ d'eau qui passent au cours de l'année dans le système:

200 l, soit 0,006 %, sont retenus par les ligneux
50 l concernent la production secondaire.

Ces quantités détournées du système correspondent à ce qui en est évaporé en un quart d'heure environ.

.

FIG. 8 L'EAU



32 - CARBONE ET ENERGIE :

Ce sont les aspects énergétiques qui donneront la meilleure estimation de l'efficacité du système, c'est-à-dire de son aptitude à produire la matière vivante à partir des divers facteurs impliqués, mais on devra distinguer la période pendant laquelle l'eau est disponible parallèlement à l'année complète puisqu'il n'y a effectivement transformation que pendant 80 jours.

321. Energie incidente :

On ne dispose pas encore de moyennes, les seules mesures suivies et réalisées conformément aux normes météorologiques ayant commencé en 1970 (travaux de D.RIJKS). Il est possible que des écarts importants existent d'une année à une autre: en 1971 et 1972 on a relevé les moyennes suivantes par décade

(en Ly/jour)	1971	1972
Janvier 1	417	418
2	495	451
3	501	380
Février 1	457	511
2	546	461
3	575	501
Mars 1	577	426
2	572	533
3	590	493
Trimestre	525	464 (- 12%)

Outre ces variations du rayonnement total, on ne possède qu'une estimation du rayonnement net: de 55% (pluies) à 65 % (pleine saison sèche) du rayonnement total et nous appliquerons ici un coefficient moyen constant de 60 %. Le rayonnement total en 1971 a été le suivant, en Langley/cm2:

Janvier	14 130	Juillet	16 720
Février	15 780	Août	15 530
Mars	17 390	Septembre	15 900
Avril	17 570	Octobre	14 310
Mai	18 720	Novembre	13 100
Juin	17 580	Décembre	12 610
Energie incidente nette :			
Année:		113,6	Kc/cm2
dont, du 1.08 au 20.10		24,6	Kc/cm2
soit par hectare: 8.900 + 2.460 millions de Kc			

On remarquera d'abord qu'une quantité non négligeable de cette énergie est impliquée dans l'évapotranspiration réelle, à raison de 600 calories par gramme d'eau évaporée. Les dépenses sont, en Kc/cm²:

Saison de croissance: 11 Kc (44% de l'énergie nette)
Saison sèche: 8,4 Kc (un peu moins de 1%)

Cette consommation d'énergie est responsable de l'abaissement des températures en août et septembre et surtout de la diminution de l'amplitude thermique diurne.

322. Le carbone des végétaux :

Le tableau 7 récapitule les quantités de carbone présentes dans les compartiments habituels de l'écosystème:

Tableau n°7

Végétation herbacée		Kg de C par ha		
	aérien	souterrain	graines	
Gr.1	270	430	9	
Gr.4	120	93	3,1	
Gr.7	55	27	1,5	
Total	445	550	14	

Végétation ligneuse		aérien	souterrain	feuilles	fruits
Biomasse	683	538			
Production	54	41 + 39	23,5	8,3	

Sols	1.	4	7
(T/ha)	11,4	2,8	1,6
Total production annuelle	710	382	84
dont aérien (%)	280 (40)	210 (55)	57 (68)

Dans les groupements 1 et 7, la quantité de carbone apportée au sol chaque année représente à peu près la même fraction du stock du sol (5 à 6%), mais il est surtout d'origine aérienne en 7 et souterraine en 1. Il existe sous les ligneux un milieu beaucoup plus efficace où le stock de

carbone est renouvelé tous les 7 ans mais beaucoup plus sous la dépendance des feux incontrôlés pour lesquels il existerait une sorte d'adaptation des 3 milieux, le plus exposé étant celui où la masse aérienne est la plus faible par rapport à la masse souterraine.

Encore à propos des feux, la combustion de la totalité de la production aérienne correspond à environ 40 calories par cm² ou encore une heure d'ensoleillement supplémentaire qui réchauffe de quelques degrés 1 à 2 cm de sol, et il est préférable de chercher ailleurs que dans une action thermique les effets néfastes de l'incendie.

323. Bilan de l'énergie : (Figure 9)

En raison des valeurs énergétiques élevées des ligneux par rapport aux plantes herbacées, et des parties souterraines par rapport aux parties aériennes, la répartition de l'énergie dans la masse végétale diffère sensiblement de la répartition des masses elles-mêmes.

Ainsi, les productions annuelles herbacées et ligneuses sont dans le rapport 5 à 1 (au lieu de 6 à 1) et la production annuelle représente 84% de la biomasse ligneuse (au lieu de 96 %). L'importance relative des graines et fruits augmente de 10 %.

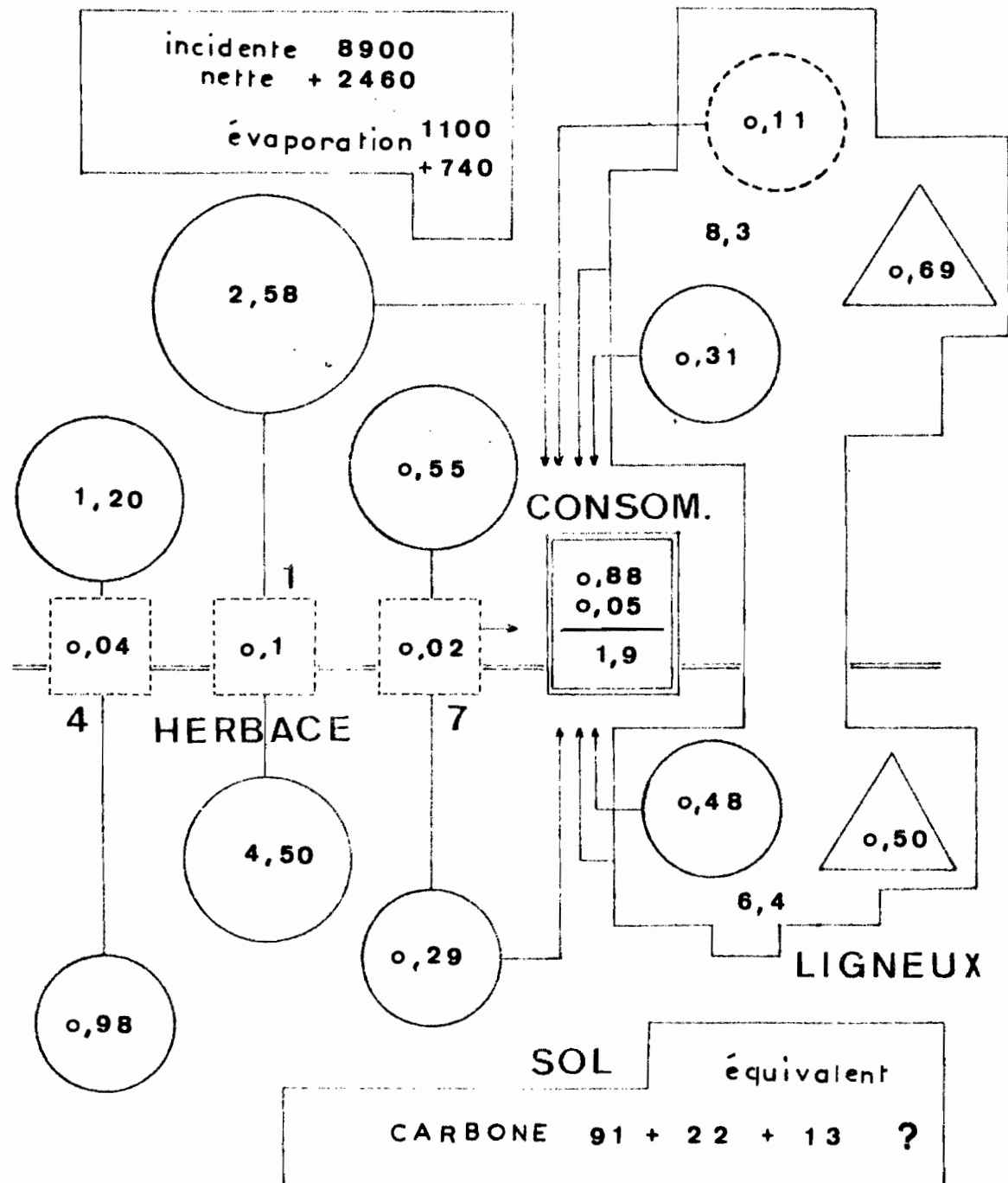
En moyenne, 1 g de carbone correspond à 11300 calories (au lieu de 8080) en raison de l'énergie produite par les éléments qui l'accompagnent, et il faudrait majorer d'autant l'équivalent énergétique de la matière organique du sol qui passerait ainsi de 126 à 177,8 millions de Kcal. par hectare, ou 6,5 fois l'énergie de la masse végétale maximum et 14 fois l'apport annuel.

On peut difficilement comparer ces valeurs et les mesures correspondantes en zone tempérée. Ainsi, P.DUVIGNEAUD cite pour des forêts belges des productivités de 17,6 t. pour 122 tonnes de matière organique dans le sol, - 14,1 t. pour 67 et 11,9 pour 290 : rapports 7 - 4,8 et 24,3. Dans une forêt de Côte d'Ivoire, A.PERRAUD a trouvé de 9 à 20 t. de carbone par ha avec un apport annuel de l'ordre de 1,5 t de matière organique végétale ou 550 Kg de carbone: rapport 27 à 1, mais la productivité peut avoir été sous-estimée.

Le rendement net de l'écosystème (rapport de la production annuelle à l'énergie incidente) est de 0,5 % si l'on ne considère que la période de végétation active et de 1/1 000^e seulement au cours d'une année complète. Cette efficacité de l'écosystème est très inférieure aux résultats habituels

FIG. 9

ENERGIE , MILLIONS Kc



non seulement pour l'ensemble de l'année mais même durant les 80 jours de production: les forêts tempérées transforment de 2 à 5 fois plus d'énergie, et les cultures de l'ordre de 10 fois plus couramment.

Les arbres sont en apparence meilleurs transformateurs que les plantes herbacées: 1750 cal/m²-année contre 1.000, mais ce peut être un reflet des ressources du sol puisque le groupement herbacé 4 produit plus que les arbres sur la même surface. On voit ici encore l'intérêt de considérer globalement l'hectare théorique de référence et non chacun de ses constituants isolément.

33 - LES MINERAUX :

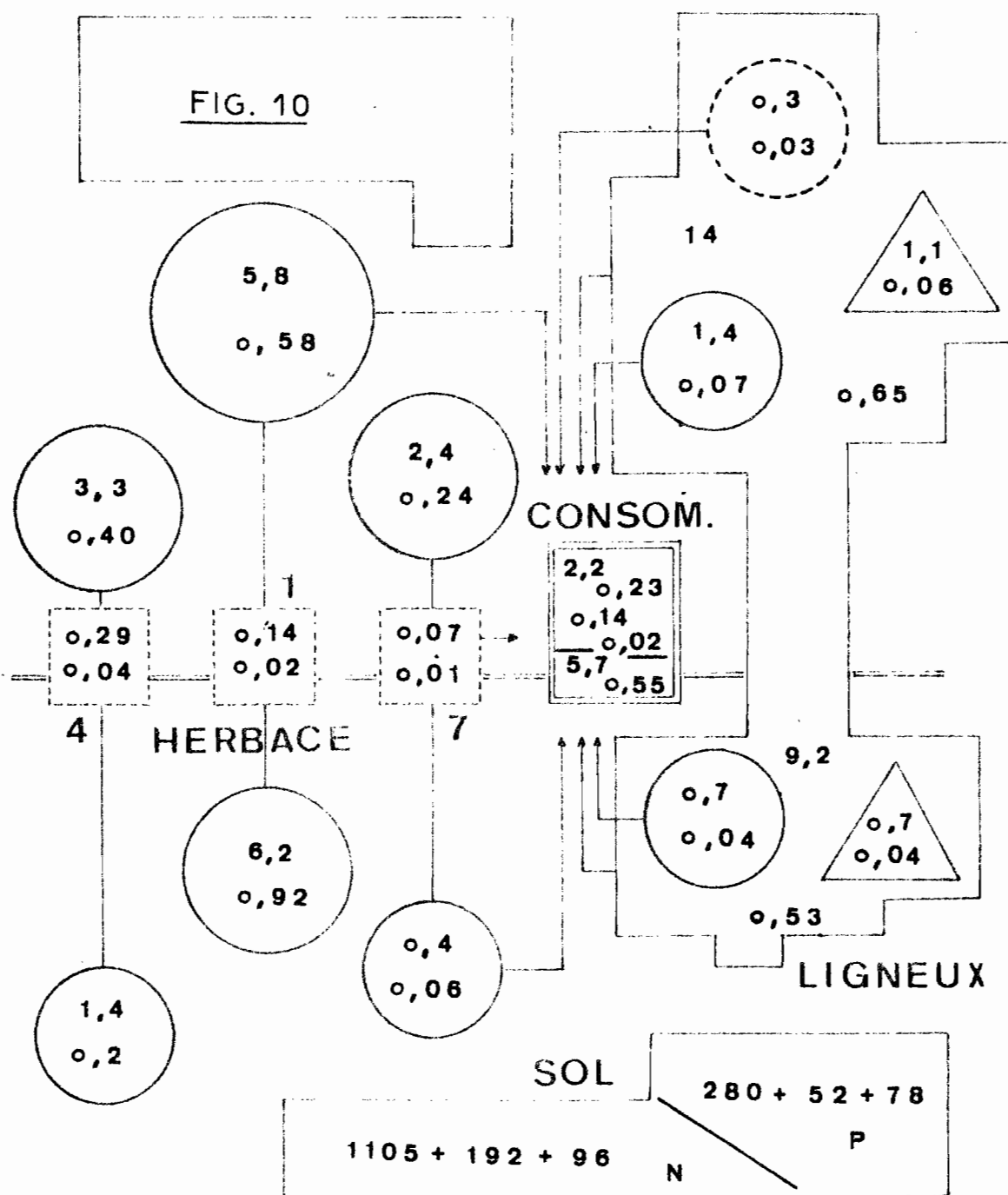
Les figures 10 et 11 font la synthèse des observations concernant les minéraux majeurs N, P, Ca, Mg et K. On notera cependant qu'en ce qui concerne les sols l'azote et le phosphore sont les valeurs en élément total, alors que les autres minéraux sont exprimés sous leur forme échangeable. La raison en est que le phosphore échangeable est une donnée actuellement trop incertaine et sujette à discussions et qu'il n'est pas non plus coutume de distinguer entre les différentes formes d'azote dans le sol.

Par ailleurs, les sols sont généralement pauvres, en particulier en azote (10 fois moins que dans des sols d'Europe considérés comme médiocres ou moyens), mais la teneur en magnésium est élevée: 2/3 de la teneur en calcium. La pauvreté des sols est évidemment liée à la médiocre biomasse qu'ils portent et à la productivité primaire.

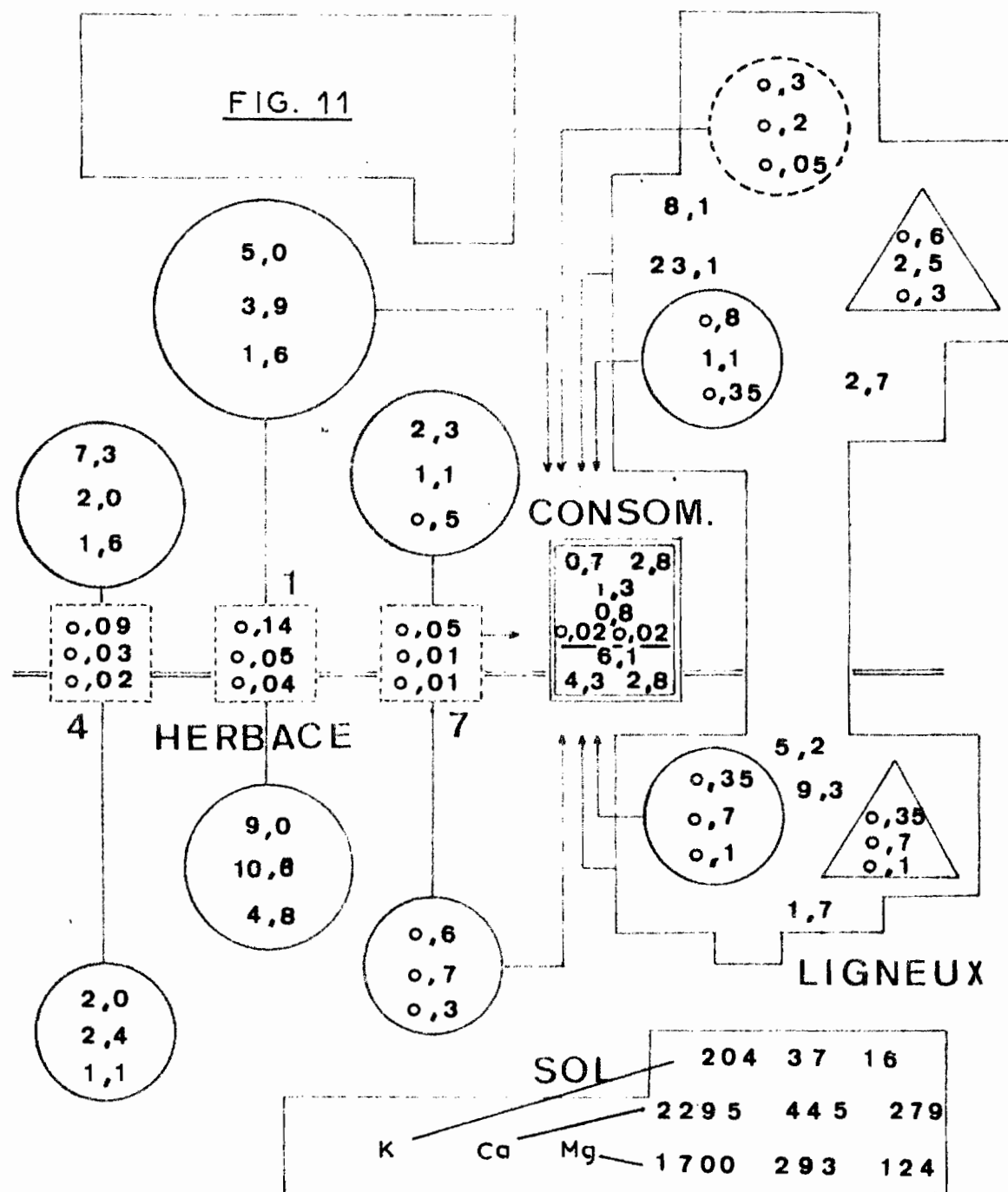
L'azote est plus abondant dans les parties aériennes que dans les parties souterraines des végétaux et la production ligneuse exporte 17 % de l'azote correspondant à la production annuelle alors que le rapport des masses n'est que de 14 %: les ligneux mobilisent donc tout particulièrement cet élément et le restituent au sol chaque année en presque totalité.

En outre, l'azote introduit chaque année dans le cycle de végétation représente 1,7 % du stock du sol, proportion élevée en fonction de la rareté de l'élément. Les exportations peuvent représenter, sous forme de consommation, un tiers de la quantité mobilisée dans l'année et pourraient être l'une des causes initiales de dégradation de la strate herbacée en cas de surpâturage: la consommation de feuilles d'arbres est certainement préférable à une utilisation trop poussée de la strate basse.

AZOTE et PHOSPHORE



POTASSIUM , CALCIUM , MAGNESIUM



Le phosphore représente souvent dans les végétaux 1/10ème de l'azote. Cependant, la proportion est plus élevée dans les racines de graminées et plus basse dans les racines des ligneux; les feuilles et fruits des arbres sont tout particulièrement riches ($N/P = 2$). Comme précédemment la consommation peut concerner près du tiers du cycle annuel.

La mobilisation du phosphore atteint 7 pour 1000 du stock du sol et est surtout le fait de la strate basse (91 %). De même, la quantité immobilisée dans les arbres par rapport au cycle annuel est relativement plus faible que pour l'azote: respectivement 48 et 96 %.

Enfin, le phosphore est peu mobile dans les milieux 1 et 7 et quatre fois plus dans le milieu 4; l'azote est peu mobile en 1, et 3 à 4 fois plus dans les autres milieux : une fois encore l'attention est attirée sur l'importance du boisement en zone sahélienne.

Le calcium est cinq à six fois plus abondant que le phosphore dans la partie aérienne de l'herbe, 12 fois dans la partie souterraine et de 20 à 30 fois dans les ligneux. Par suite 20 % du calcium du cycle annuel passe par les arbres qui immobilisent plus de 1% du stock du sol, tandis que la production annuelle fait intervenir 0,7 % de ce même stock.

En dehors de leur répartition dans la végétation, calcium et phosphore ont des comportements assez voisins et on peut comparer les résultats précédents aux chiffres cités par DUVIGNEAUD (plusieurs communications: Colloque de Bruxelles, oct. 1969): 5 fois plus de phosphore et de calcium dans le sol des forêts belges et mobilisation trois fois plus faible dans les deux cas.

Il y a généralement deux fois moins de magnésium que de calcium dans les végétaux, sauf bien sûr dans les ligneux dont la teneur en magnésium reste classique alors qu'on y avait reconnu une exceptionnelle accumulation de calcium. Cependant, les teneurs régulièrement élevées en magnésium pourraient être un reflet de l'abondance de l'élément dans le sol, bien que la mobilisation annuelle soit la plus faible reconnue: 0,5 % seulement.

Comme pour le calcium, les teneurs en potassium sont très variables (rapport K/P dans la partie aérienne de l'herbe) Dans les autres éléments, ce rapport se maintient régulièrement voisin de 10 bien qu'il soit inférieur à 1 dans les sols, c'est à dire que le potassium est particulièrement mobile: 11 % du stock du sol participent au cycle annuel.

L'absorption du potassium est surtout le fait de l'herbe (92 %) et s'élève très vite avec la richesse générale du sol: 1,65 g/m² pour le groupement 1 et 7,8 par le groupement 4; l'utilisation par les arbres est plus modeste.

L'examen de la minéralomasse n'apporte pourtant pas d'élément très nouveau sur le fonctionnement de l'écosystème, en dehors d'un constat de misère générale. En cas d'année particulièrement humide, la production serait très sûrement limitée par l'absence de ressources du sol pour les trois facteurs agronomiques de production: N, P et K.

Par contre, le chapitre est une nouvelle pièce à ajouter au plaidoyer en faveur d'un reboisement du Sahel, ou - si c'est économiquement impossible - pour la protection de la strate ligneuse par tous les moyens : interdiction d'abattre les arbres, restrictions imposées à leur exploitation (mutilations souvent excessives soit pour la récupération du feuillage, soit pour la collecte de la gomme ou l'artisanat) et protection accrue contre l'incendie.

o o o o o o o

Ch.4 : EQUILIBRE DE L' ECOSYSTEME

— • — • — • — • — • — • —

On a jusqu'ici envisagé l'éventualité d'une exploitation de l'écosystème par du bétail selon l'hypothèse théorique d'un prélèvement de 40 % de la production aérienne nette. Cette proportion est une donnée d'ordre zootechnique, et les calculs de potentiel alimentaire des formations végétales sont habituellement conduits à partir des besoins animaux.

On considère en zone tropicale un animal de référence pesant 250 kilogrammes vif et pratiquement adulte, qui ingère chaque jour 2,5 % de son poids d'aliment sec, ou encore 6,25 Kg de matière sèche. C'est la valeur du paturage qui détermine le nombre de rations qu'il peut fournir indépendamment d'une recherche de la conservation de son intégrité ou de ses caractères propres.

Nous nous proposons d'aborder ici le sujet sous un angle écologique, c'est à dire de voir quelle est l'influence de la consommation par les bovins bien réels qui existent à proximité du terrain expérimental sur le fonctionnement de l'écosystème qui a été défini.

Le travail a été rendu possible grâce à l'accumulation de nombreuses circonstances favorables :

- le type de formations végétales étudiées à Fété Olé existe communément dans toute la région de la boucle du fleuve Sénégal et en particulier assez loin vers l'ouest;
- il y a à 20 kilomètres de Fété Olé un point d'eau artificiel où le bétail peut séjourner en permanence en plus ou moins grand nombre, et de ce fait on peut observer un gradient d'exploitation depuis ce forage (Tatki) jusqu'à Fété Olé;
- l'exploitation est assez ancienne et assez constante pour que des modifications soient intervenues dans la végétation au moins à proximité de Tatki;
- les animaux se nourrissent en liberté sans autre contrainte que celle de pouvoir s'abreuver et ne sont jamais maintenus par des clôtures ou un gardiennage strict;
- il n'y a pas interférence d'un autre forage le long de la séquence Tatki - Fété Olé et ce dernier point est une zone neutre très proche du défens maintenu sur le terrain de référence.

D'autre part, on s'est limité à l'étude des réactions de la strate herbacée car pour les ligneux l'action des animaux est indissociable de l'action directe de l'homme qui déboise partiellement pour installer quelques cultures et se fournir en combustible, matériau de construction pour les habitations et les enclos à veaux, ou objets usuels.

La caste des artisans ("laobé") utilise les *Sclerocarya* pour tailler mortiers à grain et sièges, les *Grewia* pour l'armature des nattes de cuir tressé, les *Balanites* pour les manches d'outils; les maures exploitent les gommiers, les éleveurs affourragent à partir de branchages et il n'y a pas un arbre qui ne soit utile et respecté pour son utilité car le peuhl ne détruit pas sans motif et condamne sévèrement le vandalisme ou l'abus.

Si on considère que le signe caractéristique de l'usage par (ou pour) le bétail est le port en boule des arbustes trop souvent élagués, tous les arbres sont exploités, mais l'abattage qui se traduit par une diminution de la densité est au profit direct et presque exclusif de l'homme.

41 - EVOLUTION DE LA VEGETATION :

Les points étudiés se sont situés à 3, - 7, et 14 Km de Tatki et nous reprendrons partiellement ici les résultats exprimés par M. BOCOUM dans "Production et dégradation de la strate herbacée dans le diéri sénégalais" (rapport de stage, 1971) puisque les mesures ont souvent été faites en collaboration .

411. Evolution qualitative :

Le groupement végétal herbacé le plus commun (group.1) comprend habituellement dans son intégrité, en nombre d'individus par mètre carré:

Aristida funiculata	20
Aristida mutabilis	19
Schoenefeldia gracilis	12
Cenchrus spp.	1
Autres graminées	9
Cypéracées	4
Blepharis et Polycarpaea	5
Papilionacées	1
Plantes diverses	5
Total	76

soit: groupe Aristida + Schoenefeldia 51
 autres graminées 10
 non graminéen 15

Aux kilomètres 3 et 7, on trouve respectivement :

	Km 7	Km 3
Aristida funiculata	8	7
A. mutabilis	10	8
Schoenefeldia	<u>12</u>	<u>6</u>
	30	21
Cenchrus	3	6
Graminées diverses	<u>24</u>	<u>28</u>
	27	34
Cypéracées	2	2
Blepharis - Polycarpaea	6	1
Papilionacées	8	23
Autres dicotylédones	<u>6</u>	<u>12</u>
	22	38
Total général :	79	93

Ainsi lorsqu'on se rapproche de Tatki le nombre total de plantes herbacées par mètre carré augmente en raison de la multiplication des dicotylédones et surtout des papilionacées. Au Km 7, les Indigofera (*I. diphylla* et *I. senegalensis*) sont plus nombreux, de même que les *Cleome* (*C. monophylla*, *C. viscosa*), *Merremia pinnata*, *Cassia mimosoides*, *Trianthema portulacastrum*, *Borreria stachydea* et *Euphorbia aegyptiaca*. Les graminées du groupe *Aristida* et *Schoenefeldia* sont souvent remplacées par *Chloris prieurii*.

Au Km 3, aux papilionacées habituelles (*Alysicarpus* et *Indigofera*) se sont ajoutés de nombreux *Zornia glochidiata*. *Dactyloctenium aegyptium* et *Chloris prieurii* dominent les aristidées et de nouvelles espèces de dicotylédones deviennent fréquentes:

Giskia pharnacioides
Limeum diffusum
Tribulus terrestris
Alternanthera nodiflora
Cassia tora
Evolvulus alsinoides
Gynandropsis gynandra
Coldenia procumbens

.....

jusqu'à devenir totalement dominantes pour certaines d'entre elles: *Zornia* aux abords des "zéribas", reposoirs à bétail;

Gynandropsis et Cassia sous les arbres; Tribulus sur les plaques de sable et les sols les plus pauvres.

Il semble que le phénomène soit double: dans un premier stade, certaines espèces fragiles disparaissent au profit de plantes non consommées vite lignifiées (Blepharis, Borreria) ou grêles et peu accessibles, ou rampantes. Ensuite, les espèces nettement nitrophiles sont favorisées et l'enrichissement du sol en matière organique s'accompagnerait d'une meilleure économie de l'eau, d'où l'accession de Zornia et Dactyloctenium à la dune, alors que les deux plantes occupent plus habituellement les points bas.

On a porté sur le graphique de la figure 12 l'évolution de la strate herbacée. On voit qu'on peut difficilement parler de dégradation du groupement puisqu'il y a à la fois enrichissement floristique et augmentation de la couverture au moment de la mise en place des formations: il y a bien modification du tapis végétal, mais pas obligatoirement évolution négative et regrettable.

412. Evolution quantitative :

Des sondages de rendement ont été effectués aux trois points précédents fin octobre, fin décembre et fin mars. Il s'agit toujours de récolte sur pied étendue aux fragments végétaux aisément récupérables au sol, et les mesures ont été pondérées pour que les résultats soient directement exprimés en kilogrammes de matière sèche par hectare.

On rappelle que pour les formations végétales considérées J.VALENZA et A.K.DIALLO (Etude des paturages naturels du Nord Sénégal) proposent un rendement moyen de 900 Kg en saison des pluies et 365 Kg en saison sèche et que nos propres mesures à Fété Olé sont les suivantes: 900 Kg le 30 octobre; 690 Kg fin décembre; 375 Kg au 30 mars, en dehors de toute intervention du bétail.

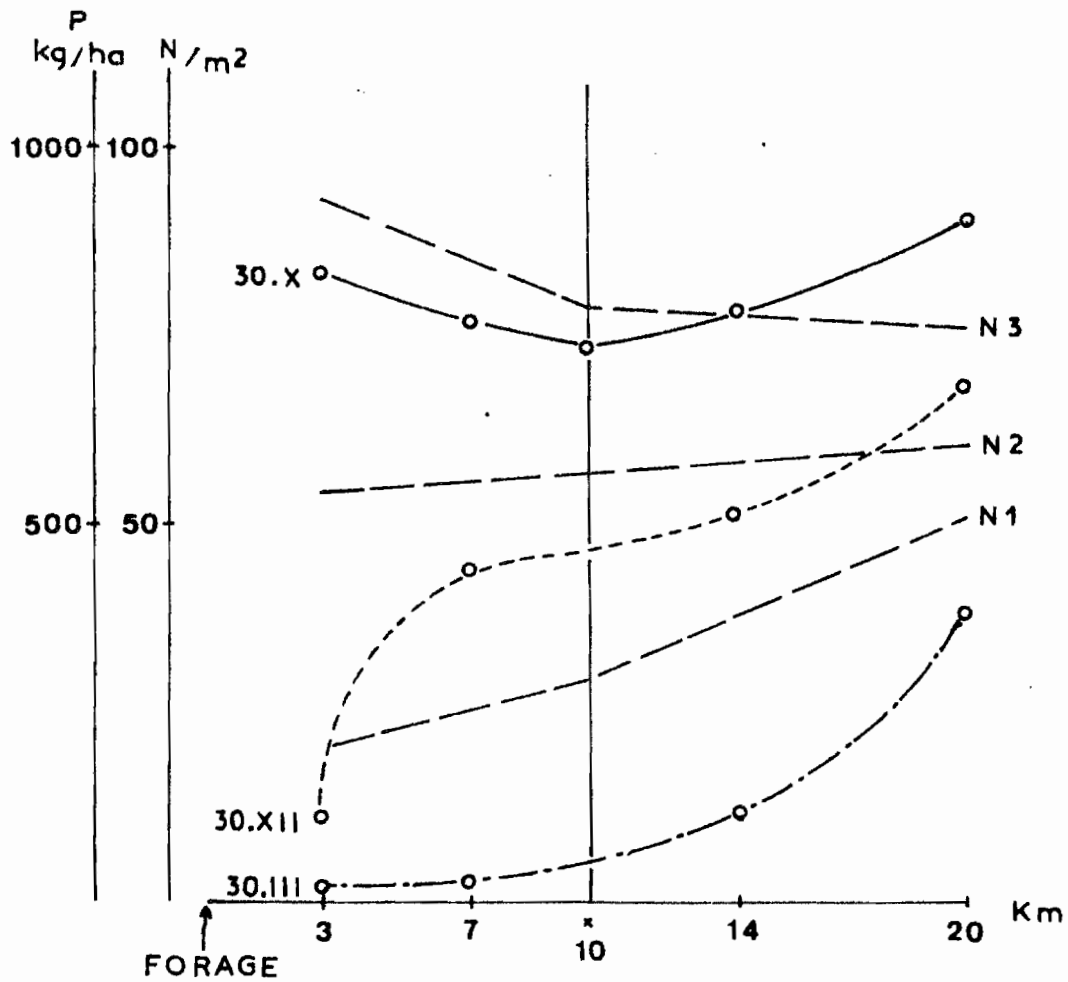
On a obtenu dans les mêmes conditions de prélèvement:

(Kg/ha)	Km 14	Km 7	Km 3
30 octobre	820	780	(830)
30 décembre	500	440	120
30 mars	110	30	20

FIG. 12

DYNAMIQUE de l' HERBE

- Standing crop
- - -○ N1 Aristida + Schoenefeldia
- N2 autres Graminées
- N3 Dicotylédorées



les résultats de mars étant ceux de BOCOUM (op.cit.). On peut remarquer qu'il existe une concordance très satisfaisante entre les trois sources de résultats et on peut donc leur accorder une large confiance.

En apparence seulement, les rendements sont plus bas dans la formation soumise à pature: en effet, au 30 octobre une certaine exploitation a déjà eu lieu et on ne peut provisoirement donner aucune indication sur la productivité totale des surfaces soumises au bétail.

La consommation par les animaux domestiques est la différence entre la baisse de "standing-crop" en l'un des 3 points contrôlés et la même diminution dans la zone de référence, sous réserve que: a- l'impact des autres consommateurs, et en particulier des insectes, est constant le long de la séquence; b- les conditions climatiques des quatre points ont été assez voisines.

Ces observations quantitatives ont également été portées figure 12 et font ressortir un seuil correspondant à peu près au kilomètre 10: standing crop minimum au 30.X et point d'inflexion de la courbe au 30.XII. Les courbes de rendement, qui évoluent dans le même sens du kilomètre 20 au kilomètre 10, se comportent ensuite de façon totalement différente.

En raison de cette particularité, on calculera les consommations par le bétail aux points moyens: Km 2,5 - Km 7,5 - Km 12,5 et Km 17,5 qui divisent la séquence en quatre sections de cinq kilomètres. Les consommations y sont :

Période	Km 2,5	Km 7,5	Km 12,5	Km 17,5
Nov. et Déc.	160	45	30	20
Janv. à Mars	-	35	27	12

Si l'impact trophique des troupeaux d'août à octobre a été le même qu'en novembre et décembre, la productivité totale aux différents points a été de 910 Kg/ha au Km 17,5 (parfaitement comparable à la zone de référence); 850 Kg/ha au Kilomètre 12,5 ; 880 Kg/ha au kilomètre 7,5 et plus de 1,3 tonne au kilomètre 2,5.

Il est donc assez certain qu'il y a eu rendement plus faible au niveau du kilomètre 10 et plus élevé à proximité immédiate de Tatki. De hautes productivités ont par ailleurs souvent été observées aux abords des forages: VALENZA constate

qu' "on peut (y) récolter entre 2 000 et 2 200 Kg de foin ... alors que ces parcours sont très rapidement détruits par les animaux de plus en plus nombreux autour du forage dès la fin des pluies et l'assèchement des mares. Très vite les abords des forages et puits sont dénudés faisant croire que la végétation est dégradée."

Nous suivrons cet auteur qui s'insurge contre l'emploi malheureux du terme de dégradation, alors qu'il y a remplacement d'une formation végétale par une autre plus productive et de meilleure valeur alimentaire. En ce qui nous concerne cependant, nous pensons que la région proche de Tatki ne représente plus l'objet de notre étude et que le kilomètre 10 doit être considéré comme une limite réelle et le seul point où l'on puisse parler d'une bien modeste dégradation de la formation végétale si elle existe, lieu où la pression du cheptel est assez forte pour modifier légèrement la strate herbacée et encore insuffisante pour la transformer.

413. Concurrence trophique :

Des deux assertions qui ont précédé les calculs de productivité, constance de la consommation par les insectes et égalité des pluies, la seconde n'a pas été rigoureusement vérifiée, mais l'aspect des mares temporaires permettait de la supposer exacte.

Par contre la première est certainement fausse et on remarque la rareté des termitières et fourmilières aux abords du puits et dans un rayon de près de 5 kilomètres, et dans le même temps l'abondance d'oiseaux (tourterelles diverses). Pour ce qui est de la validité des calculs précédents, l'absence relative d'insectes suppose une plus value des parcours de 15 à 20 Kg par hectare et par mois, ou encore une majoration des exportations par le bétail voisine de 10 % pendant les 4 mois où elle existe, ce qui n'est pas d'un grand poids.

En effet on a pu commettre une erreur assez importante lors de la mesure du matériel végétal présent fin octobre, en raison de l'hétérogénéité au niveau du Km 3, erreur vraisemblablement supérieure à celle due aux insectes, et en outre la consommation des insectes ne représente que deux ou trois rations pour bovin chaque mois.

Il y aurait donc cependant compétition entre le bétail et les insectes pour la nourriture aux détriments des derniers cités. En effet, les insectes sociaux n'ont qu'un rayon d'action limité et ne disposent plus, au niveau du Km 3, que d'un seul mois de consommation par hectare le 1er avril. A la même date les troupeaux plus mobiles sont déjà partis depuis 4 mois,

mais ils ont épuisé les ressources auparavant.

Par ailleurs, les troupeaux ne semblent pas gêner la faune sauvage et on a vu des chacals s'abreuver au milieu des ânes, mais la plupart fuient l'homme, et les fouisseurs peuvent être troublés par le piétinement des grands ongulés, de sorte que les animaux sauvages sont rares lorsqu'il existe une certaine concentration en bétail pour des causes différentes d'une concurrence alimentaire.

42 - CONSOMMATION PAR LE BETAIL :

Nous n'avons ni l'intention, ni la prétention, de traiter des aspects techniques de la consommation par les animaux domestiques, mais seulement de poursuivre le raisonnement jusqu'à sa limite et de déduire de nos observations tout ce qui peut l'être.

421. Cheptel et exportations :

Les bovins séjournent généralement dans le périmètre de Tatki d'août à janvier ou février puis transhument en direction de la vallée du fleuve où ils passeront la saison sèche et chaude. On admettra ici qu'ils sont tous présents pendant 5 mois et qu'il en reste un certain nombre durant les 7 autres mois de l'année.

On a déterminé les exportations mensuelles en octobre et novembre d'une part, de janvier à mars d'autre part, pour les quatre zones concentriques autour du forage et dont les surfaces sont respectivement 80, 230, 400 et 550 kilomètres carrés. Pour l'année, ces exportations sont de:

	0 - 5 Km	5 -10	10 -15	15 - 20
Pluies	640 ?	225	150	100
S.sèche	-	210	175	55
Année	640	435	325	155
ou en tonnes pour l'ensemble des surfaces :				
Saison des pluies	4 780		par mois	
Saison sèche	2 130		"	

compte tenu du fait que janvier est ici un mois où la consommation reste maximum.

Si un animal de référence absorbe 6,25 Kg de matière sèche par jour (190 Kg par mois), on en déduit deux valeurs du cheptel: 25 000 unités en saison des pluies et 11 000 en saison sèche - soit respectivement 20,0 et 8,9 adultes par Km² et en moyenne pour l'année 13,3.

En fonction de la définition de l'unité-animal choisie, la charge en poids vif par hectare est de 23 Kg, chiffre assez voisin d'une première estimation intuitive, en saison sèche, - et de 52 Kg en saison des pluies. Chaque animal dispose, sur l'ensemble de l'année, de 7,5 ha.

Le secteur de Tatki est irrégulièrement exploité; au niveau du kilomètre 10 déjà mis en évidence, l'exportation est de 380 Kg/ha pour l'année, ce qui signifie que dans ces conditions un animal exploite 6 ha par an et que la charge correspondante est un peu plus que ne peut supporter le parcours. Au Km 12,5 chaque bovin utilise 7 ha et l'écosystème reste stable, de sorte que le potentiel maximum de tels parcours doit se situer entre 6 et 7 ha par unité animale.

Si on se reporte aux travaux de VALENZA, on constate que la valeur proposée pour la zone est de 6,35 ha par U.B.T. et par an, chiffre obtenu par des procédés indépendants des nôtres et confirmation d'autant plus intéressante de la validité d'observations écologiques.

422. Productivité secondaire (bétail):

L'énergie métabolisable de l'herbe est environ 60 % de l'énergie brute dans le cas des bovins. Chaque gramme de matière sèche leur apporte donc 2 150 calories, dont 1 000 représentent l'énergie de consommation et le reste l'énergie nette qui s'exprime plus souvent en Unités Fourragères par comparaison avec l'énergie nette de l'orge (1 883 cal./g). Chaque kilogramme d'herbe (en matière sèche) vaudrait donc à peu près 0,6 U.F. à la saison la plus favorable. VALENZA confirme ce résultat.

Chaque ration journalière correspondant à 3,7 ou 3,8 U.F., les tables zootechniques précisent qu'une telle énergie correspond pour l'animal à une possibilité de gain de poids de 300 g par jour - ou pour 150 jours 45 Kg en poids vif, ou encore un peu plus de 20 Kg de viande consommable. Chaque hectare produit alors 3 Kg de viande par an, un apport de 7 200 Kcal. pour l'homme carnivore qui bénéficie de 1,6 millièmième de l'énergie solaire nette ou de 0,15 % de la production primaire nette.

Cependant, l'herbe n'est pas seulement exploitée à l'époque la plus favorable et sa valeur alimentaire moyenne décroît très vite.:

	Saison des pluies	Saison sèche
Energie par Kg, en U.F.	0,60	0,36
Matières azotées digest.	30 g	1 à 2 g

La ration de saison sèche, avec 2,25 U.F. et absence presque totale de protéines, ne permettrait pas la simple survie des animaux qui exigent au minimum 2,7 U.F. et 150 g de protéines.

Le complément nécessaire est apporté par la production ligneuse caractérisée par les valeurs moyennes suivantes :

	U.F./Kg	M.A.D.,g/Kg
Feuilles vertes	0,7	170
Feuilles sèches	0,9	40
Fruits	0,8	130
moyenne	0,8	110

Le remplacement d'un Kg d'herbe par un Kg de feuilles et fruits d'arbres entraîne un apport supplémentaire de 0,44 U.F. et 110 g de M.A.D. et les besoins sont satisfaits avec 1,3 Kg de feuilles. Chaque animal devra absorber au cours de la saison 286 Kg de feuilles et fruits en poids sec, soit 40 kilogrammes par hectare. Si ce complément indispensable n'existe pas, la seule consommation sera celle de saison des pluies telle qu'on l'observe aux abords des forages sur les espaces transformés par l'homme et les troupeaux.

Toujours dans cette hypothèse, l'unité animale vivra sur un demi hectare d'août à octobre et sur 5,5 ha le reste du temps: l'évolution sous exploitation intensive ne doit pas concerner plus de 8 % des parcours pour rester bénéfique, et l'on sait qu'une telle évolution est inévitable.

Cette constatation ne semble pas avoir attiré, de la part des spécialistes, l'attention qu'elle mérite par sa conséquence. Si en effet le milieu a déjà été transformé sur (par exemple) 5 Km autour du point d'eau, ou 80 Km², le territoire intact devra être de 1000 Km², soit absence d'un autre forage à moins de 36 Km du précédent pour conserver le cheptel en place. Pouvons-nous actuellement être sûrs que la transhumance restera encore longtemps possible ?

423. CONCLUSION : Equilibre de l'écosystème

Pour résumer, il est possible de faire prélever chaque année par le bétail un peu plus de 320 Kg d'herbe et moins de 380 Kg, sous réserve qu'on utilise aussi 40 Kg de matériel pris sur la production ligneuse caduque. La définition rigoureuse d'une limite à la consommation au kilogramme près n'ayant pas de réelle signification, nous nous contenterons de proposer 340 Kg/ha pour la représenter, attribuant à chaque animal-type une superficie de 6,7 ha.

Cette consommation herbacée représente 38 % du standing crop maximum et 28 % seulement de la production aérienne nette de la strate herbacée; si on lui ajoute la consommation des insectes, on obtient les 570 Kg/ha proposés lors de l'analyse des différents compartiments de l'écosystème, mais cette somme n'est plus réservée aux troupeaux, elle est répartie entre la totalité des consommateurs en cas d'exploitation optimum.

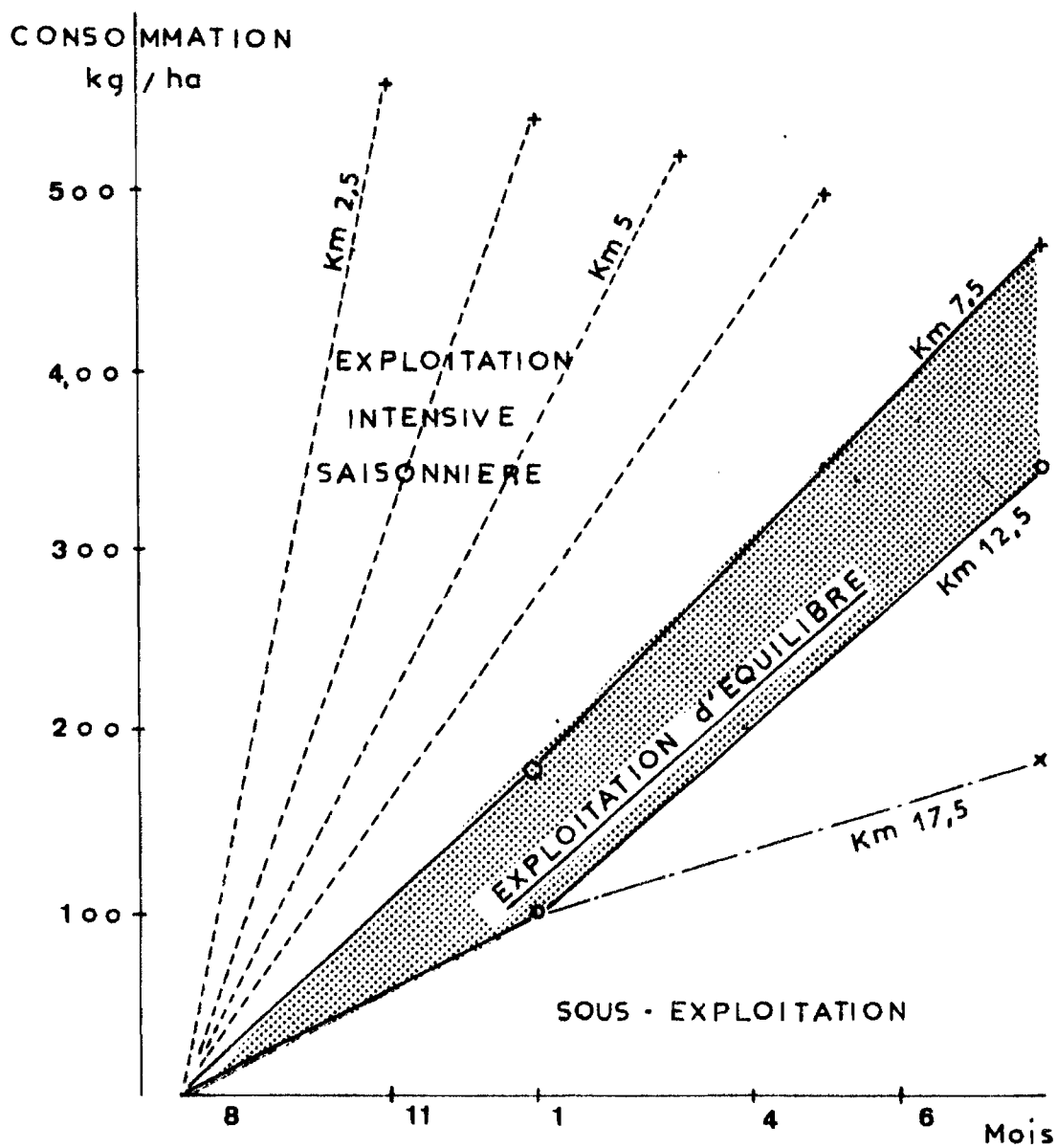
On pourra lire les tableaux précédents sans changement en utilisant l'alternative: défens ou pâture. En cas de défens, l'écosystème est théoriquement en déséquilibre; pratiquement, le feu compense le défens.

En effet, cet excédent de 340 Kg de matière végétale est simplement équivalent à la quantité de matériel détruite par un incendie qui se produirait tous les deux ans et demi, ou quatre fois par décennie. Si on se réfère à la répartition des années sèches et pluvieuses, le feu sévirait à chaque fois que la pluviométrie est supérieure à la moyenne.

Il est évidemment possible que la coïncidence relevée ici soit rigoureusement fortuite et, puisque l'exploitation réelle des parcours est de plus en plus voisine du plafond qui a été calculé, l'avenir pourrait ne jamais offrir de chances de vérification de cette hypothèse, les feux étant supprimés ou raréfiés par action du bétail. Il reste cependant probable que l'équilibre actuel de l'écosystème est très ancien, antérieur à l'occupation du terrain par les pasteurs et indépendant de leur présence tant que la végétation n'est pas transformée en un autre écosystème.

La figure 13 tire les enseignements pratiques de l'influence des consommateurs primaires dans l'écosystème: on y retrouve différents rythmes d'intervention et la zone critique d'exploitation; c'est à partir de ce schéma que peuvent être élaborés les divers systèmes pastoraux sahéliens parmi lesquels nous critiquerons quatre options principales.

EQUILIBRE de l' ECOSYSTEME



JB
C

FIG. 13

a) maintien d'une exploitation d'équilibre :

Si on conserve une transhumance partielle, c'est à peu près le système actuel: surface plus ou moins grande en surexploitation pendant cinq mois et vaste réserve de territoire sous-exploité. Si la répartition des animaux est très irrégulière, la réserve sera trois fois plus vaste que le secteur utilisé pendant la saison favorable: statu quo.

Si on réduit la proportion de cheptel transhumant, il faudra que l'exploitation soit de plus en plus homogène toute l'année: équilibre rigoureux. Sont corollairement nécessaire:

- la multiplication des points d'eau jusqu'à une densité telle que l'intervalle entre eux ne dépasse plus 20 Km, tendance actuelle de la politique pastorale;

- la disparition totale des feux qui n'a jamais pu être obtenue et reste assez utopique;

- une discipline d'exploitation à peu près inapplicable. Donc la transhumance reste indispensable partiellement avec le cheptel actuel et de plus en plus totalement au fur et à mesure que le cheptel augmentera; c'est le volant d'ajustement aux conditions climatiques de l'année et il existe de fait une auto-régulation dans le nombre de bêtes concernées en fonction des ressources chaque saison.

b) équilibre par rotation :

C'est une solution de secours qui fait appel à la technique de la surface sacrifiée et peut diminuer l'action préjudiciable des mauvaises années. Elle consisterait à grouper le bétail en saison des pluies en le concentrant au maximum sur un territoire qui ne sera utilisé ainsi qu'une seule année, de sorte qu'on se placera alternativement de part et d'autre de la partie hachurée du graphique 13.

Cette solution devrait peut-être prévaloir pour les points d'eau nouvellement créés: pratiquement, l'eau n'y sera distribuée en saison des pluies qu'une année sur trois ou quatre, le forage ouvert étant celui qui a bénéficié du meilleur microclimat (la distribution géographique des pluies étant très irrégulière).

Les résultats espérés sont une diminution des risques d'incendie et un retard apporté à l'évolution de la formation végétale d'origine vers la formation à papilionacées des forages, maintenant cette dernière dans une proportion correcte, même si - à court terme - l'évolution est bénéfique.

Nous insistons sur le fait que, dans l'hypothèse d'un puits tous les 20 kilomètres, la surface "transformée" ne devrait pas dépasser 3.500 mètres de rayon si l'on ne veut pas lourdement hypothéquer l'avenir (§ 422).

c) intensification et agriculture :

.....
On compense le déficit saisonnier par tel procédé agronomique qu'on jugera bon: fauche et réserves de nourriture, complémentation industrielle, cultures herbagères,...

Dans ce cas, on s'efforce à l'exploitation saisonnière systématique et généralisée en transformant progressivement le paysage en pré et l'éleveur en conducteur de machine jusqu'au "zero-grazing" le plus moderne. C'est une affaire d'économistes et de conseillers pédagogiques, les premiers déterminant l'incidence financière de la révolution et les seconds pour éduquer l'éleveur et lui éviter une profonde inadaptation.

d) intensification et reboisement :

.....
Sous l'ombrage, la strate herbacée produit trois fois plus qu'en dehors une herbe de meilleure valeur; on trouve sur 12 % de la surface:

32 % de la production aérienne
37 % de l'azote exporté
37 % du phosphore
53 % du potassium
40 % du calcium.

Que se passerait-il donc dans une savane-parc où le nombre des ligneux serait doublé ? A partir d'une production aérienne nette accrue de 320 Kg/ha (tapis herbacé: + 230; ligneux: + 90), on disposerait en saison sèche de 90 Kg/ha supplémentaires de nourriture, soit 15 rations par ha.

Cette différence fait passer le territoire nécessaire à l'animal de 6,4 à 5 hectares et représente un gain supérieur à 20 %. L'examen de la distribution actuelle des arbres permet de penser que le reboisement est possible sur d'assez grandes surfaces.

Les chances de réalisation des quatre options présentées ne sont pas égales: la première est un état de fait qui évolue dans le mauvais sens, la seconde est une apparente restriction au développement, et la dernière va à l'encontre des tendances actuelles.

Seule la troisième présente un pouvoir de séduction générale, et les recommandations des experts vont le plus souvent dans ce sens; les essais de mise en oeuvre sont nombreux, toujours spectaculaires et un peu artificiels, et ils correspondent à un phénomène inéluctable.

Nous ne dissimulerons cependant pas que, du point de vue de l'écologiste, le reboisement est pour nous la meilleure chance; il n'est sans doute pas toujours réalisable, il ne représente pas le progrès définitif et fait figure de parent pauvre. Si pourtant il n'est pas possible de transformer immédiatement et en totalité cette vaste zone sahélienne en prairies de fauche, on peut suggérer non seulement d'y conserver quelques arbres mais même d'en replanter au moins autant qu'il en a été détruits depuis un siècle.

Nous ne prétendons pas non plus étendre cette solution à l'ensemble des tropiques. Dans les régions plus humides, les ligneux peuvent être un handicap: les savanes forestières soudano-guinéennes produisent moins d'herbe que les savanes ouvertes, et une excessive exploitation peut s'accompagner de reboisement naturel qui aggrave la situation.

Nous souhaitons seulement des arbres au Sahel.

St-Louis du Sénégal
Mai 1973.

S O M M A I R E

Ch.1: ANALYSE DE LA PRODUCTION HERBACEE

11. Production aérienne et exportations	p. 3
12. Production souterraine nette	9
13. Litières et sols	12

Ch.2: ANALYSE DES BIOMASSE ET PRODUCTION LIGNEUSES

21. Etude des baobabs	18
22. Résultats complémentaires	22
23. Analyse de la production	26
24. Biomasse et production végétale	31

Ch.3: LES ELEMENTS DE L'ECOSYSTEME

31. L'eau	34
32. Carbone et énergie	42
33. Les minéraux	46

Ch.4: EQUILIBRE DE L'ECOSYSTEME

41. Evolution sous exploitation	51
42. Cheptel et exportations	58
43. Equilibre et exportations	61

.