

Etude éco-physiologique de la productivité de quelques graminées fourragères cultivées au Sénégal

II — Consommation d'eau et production de matière sèche des parties aériennes

RÉSUMÉ

L'étude quantitative des rapports entre la consommation d'eau d'une culture et sa production en matière sèche répond à plusieurs préoccupations. Le choix du matériel végétal est l'une des plus importantes, puisqu'il peut exister, chez un même cultivar, une grande variabilité saisonnière des valeurs de l'efficacité de l'utilisation de l'eau. S'il y a donc tout intérêt à retenir les lignées qui utilisent le mieux l'eau, le choix doit également se porter sur celles qui, à l'exemple de certains clones de *Panicum maximum* (comme le K 187 b), présentent une relative indépendance entre les facteurs physiologiques de la croissance et les composantes climatiques essentielles. Le problème du rythme des cycles d'exploitation, actuellement à l'étude, est tout aussi important. Il doit non seulement aboutir à une production maximale en matière sèche pour une consommation minimale d'eau, mais aussi à une valeur nutritive satisfaisante et à une bonne digestibilité du fourrage récolté.

MOTS-CLÉS : Efficacité en eau — Irrigation — Croissance — Production fourragère — Bromatologie — *Panicum maximum* — *Pennisetum purpureum* — Nutrition minérale — Facteurs climatiques — Bilan hydrique du sol.

ABSTRACT

There are several reasons for studying the quantitative relationships between the water consumption of a crop and its dry matter production. The choice of plant material is one of the most important reasons, since in the same cultivar there may be a high seasonal variability of the degree of efficiency of water use. Although there is great interest to choose lines which best utilize available water, the choice must also involve those, e.g. certain clones of *Panicum maximum*, such as K 187 b, which show a relative independence of physiological and growth factors and essential climatic components. The problems of the rhythm of planting cycles, currently under study, is also important. This factor must not only lead to maximal dry matter

Jacques BOYER

Botaniste O.R.S.T.O.M.,

O.R.S.T.O.M. Dakar-Hann, B.P. 1386, Dakar, Sénégal

production for a minimal consumption, but must also yield a satisfactory nutritive value and a good digestibility of the recovered grass.

KEY WORDS : Water efficiency — Irrigation — Growth — Grass production — Bromatology — *Panicum maximum* — *Pennisetum purpureum* — Mineral nutrition — Climatic factors — Soil water balance.

INTRODUCTION

Comme on a pu le voir dans l'étude précédente (Boyer et Grouzis), les espèces examinées sont en général originaires de régions humides, où la pluviométrie est souvent supérieure à 1 m d'eau par an. Leur introduction dans les zones qui peuvent être considérées a priori comme limitées quant aux possibilités écologiques, pose donc un certain nombre de problèmes, celui de leur alimentation en eau en particulier. Lorsque celle-ci peut être assurée sur une surface donnée, des méthodes suffisamment éprouvées permettent alors aux agronomes de calculer, à partir de certaines données climatiques, les quantités d'eau qui doivent théoriquement couvrir les besoins nécessaires pour une croissance optimale. Dans les conditions de nos observations, celles-ci ont été fixées à la valeur moyenne journalière de 3,5 mm, soit environ 1 300 mm par an.

Mais nous avons vu que le problème n'est pas aussi simple. On sait en effet que la croissance de ces Graminées fourragères à hauts rendements est susceptible de grandes variations. Dans ce domaine, l'action des

facteurs du milieu n'est pas seule en cause puisque la productivité varie également « avec les soins, plus ou moins adaptés, qui leur sont prodigués », (Boudet, 1975). Cette dernière remarque montre notamment l'importance du mode d'exploitation. En général, les agronomes considèrent que l'on se rapprochera d'autant plus du potentiel maximum de croissance, si les conditions suivantes sont observées : apports en eau voisins de l'ETP, fumure minérale suffisante, c'est-à-dire compensant au minimum les éléments perdus ou exportés, élimination des adventices concurrentielles, lutte contre les parasites et prédateurs, coupes fréquentes et à une hauteur du sol favorisant une repousse vigoureuse. Il apparaît que la première de ces conditions reste toutefois la base d'une bonne productivité, étant donné que toutes les autres pratiques culturales ne seront valorisées que si les plantes fourragères ont suffisamment d'eau à leur disposition pour élaborer la matière sèche. Mais les apports d'eau doivent être rentabilisés au maximum, si l'on veut que cette pratique puisse dépasser le stade purement expérimental. Dans ce cas, l'étude des rapports quantitatifs entre la consommation d'eau d'une culture et sa production de matière sèche doit permettre de rationaliser une technique d'exploitation encore trop vouée à l'empirisme. Les valeurs de ces rapports, qui expriment l'efficacité de l'utilisation de l'eau pour une plante ou une culture donnée, semblent être en étroite relation avec celles de deux composantes importantes de l'économie d'eau dans les végétaux : la transpiration (T) et le potentiel hydrique dans la vascularisation (ψ). De nombreux auteurs s'accordent en effet pour observer qu'elles reflètent leur état hydrique interne, qui conditionne l'activité assimilatrice des tissus, et par conséquent la croissance. C'est ainsi qu'on a pu observer, dans l'étude précédente (Boyer et Grouzis), que les valeurs des pentes des droites de régression ψ -T, considérées comme étant une estimation de la résistance à la circulation de l'eau dans la plante, étaient en relation avec la productivité en matière sèche des espèces testées, supposées recevoir les mêmes quantités d'eau. Dans tous les cas où il y a déséquilibre entre l'offre et la demande, la supériorité de certaines d'entre elles se manifeste par un meilleur transit de l'eau et une production en matière sèche plus élevée. C'est le cas de l'*Andropogon gayanus* qui s'est montré plus productif que le *Brachiaria brizantha*, à consommation d'eau égale et pendant la plus grande partie de l'année.

La présente étude se propose donc d'examiner les résultats obtenus sur les six espèces retenues, dans les conditions qui sont décrites dans la première partie de ce travail (Boyer et Grouzis).

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Rappelons que les six Espèces retenues sont les suivantes :

- *Panicum maximum* Jacq. (K.187 b).
- *Panicum maximum* Jacq. (5 601).
- *Pennisetum purpureum* Schumach. (Kizosi).
- *Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf.
- *Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf.
- *Chloris gayana* Kunth.
- *Andropogon gayanus* Kunth.

et que leurs caractères phénologiques et agronomiques, ainsi que leurs possibilités d'adaptation écologiques sont exposés dans les études de Toutain (1973) et Boudet (1975).

1.1. RÉGIME HYDRIQUE

Afin de pouvoir estimer les potentialités de production de ces espèces, des apports d'eau échelonnés régulièrement pendant la plus grande partie de l'année sont indispensables. Les quantités sont calculées sur la base des valeurs décadaires de l'ETP.

1.1.1. Modules d'irrigation

Les arrosages s'effectuent par aspersion, avec éléments mobiles fonctionnant par arrivée d'eau sous pression. La mobilité des asperseurs est en effet indispensable au stade expérimental, étant donné l'incidence des vents sur la répartition spatiale de l'eau (Boyer, 1976).

En se basant sur les valeurs moyennes de l'ETP enregistrées en 1975/1976, les quantités d'eau à apporter quotidiennement ont été fixées à 4 mm du 1^{er} juillet au 31 mars et 5 mm du 1^{er} avril au 30 juin.

Le rythme des arrosages tient compte des possibilités de rétention en eau du sol, telles qu'elles ont été définies précédemment (Boyer, 1976), l'essai étant implanté sur des sols de types b, c et d (pentes et bas-fonds). Chaque semaine, il est apporté en moyenne sur une surface totale d'1/3 ha environ :

- 135 m³ de juillet à mars
- 165 m³ d'avril à juin,

enregistrés au compteur placé au départ du circuit de pompage. Ceci correspond donc sensiblement aux quantités requises de 28 et 35 mm par semaine, si l'on applique un coefficient d'efficacité d'irrigation de 0,7, comme le recommandent certains auteurs (Boudet, 1975). Si l'on tient compte des possibilités de rétention

de ces sols, ces quantités ne sont pas suffisantes pour qu'il y ait perte d'eau par drainage profond.

Pendant toute la période d'observation, qui s'étend de la date de fin d'implantation de cet essai (12/9/75) jusqu'à fin avril 1977, on ne peut signaler que deux périodes d'arrêt accidentel des arrosages :

- du 24/2 au 14/3 puis du 23/3 au 16/4/75 (2 périodes de 3 semaines)
- du 16/11/76 au 14/1/77 (8 semaines).

1.1.2. Bilan hydrique du sol

L'humidité du sol est déterminée par la méthode gravimétrique. Les prélèvements de sol sont effectués à la tarière hélicoïdale jusqu'à 50 cm de profondeur, profils où se répartit en général le système racinaire. Chaque série a été effectuée dans trois parcelles différentes : sous *Andropogon gayanus*, *Brachiaria brizantha* et *Chloris gayana*. Trois sondages par parcelle permettent d'obtenir des valeurs plus représentatives des taux d'humidité, étant donné l'hétérogénéité du sol.

Pour chaque série, ils sont effectués le lendemain d'un arrosage et la veille de l'arrosage suivant, de façon à pouvoir évaluer la consommation d'eau entre deux apports consécutifs. Quelques déterminations de pF, le lendemain de l'irrigation, permettent de vérifier s'il y a possibilité de perte en eau par drainage.

1.2. PRODUCTION FOURRAGÈRE

Rappelons que l'essai consiste en un bloc de 28 parcelles, soit quatre par espèce, réparties au hasard (Boyer, 1976). Comme pour la plupart des Graminées fourragères, les sujets mis en place proviennent d'éclats de souches d'un ou deux talles, dont les tiges sont coupées à 20-25 cm du collet. La fumure minérale a été appliquée à raison de 150 kg d'azote, 50 kg d'acide phosphorique et 150 kg de potasse, dose apportée après deux coupes consécutives, soit quatre apports annuels environ.

Les parties aériennes sont récoltées périodiquement par coupes (« standing crop ») à une hauteur moyenne de 10 cm environ au-dessus du niveau du sol. Ce chiffre peut varier entre 5 et 15 cm suivant les espèces. Le fourrage vert est immédiatement pesé sur les lieux de la récolte.

Pour chaque parcelle, les prélèvements sont effectués par l'ensemble de la récolte de façon à déterminer :

— La teneur en matière sèche totale du « standing crop », qui permet de calculer le poids de matière sèche récoltée/m² de sol cultivé, pour chaque cycle d'exploitation, et la vitesse de croissance.

— La valeur du rapport : poids sec des feuilles/poids sec des tiges, afin d'établir pour chaque espèce

la valeur moyenne du pourcentage revenant aux feuilles sur l'ensemble de la matière sèche récoltée.

— Les masses surfaciques (exprimées en g de matière sèche par dm² de surface foliaire).

Ces deux dernières données permettent alors de déterminer les valeurs des indices de surface foliaire (Lai), étroitement liées aux « rendements photo-synthétiques » d'une culture (Baldy, 1973).

1.3. DÉTERMINATION DE L'EFFICIENCE EN EAU

Ce terme traduisant les relations quantitatives entre la consommation d'eau d'une plante ou d'une culture et sa production de matière sèche, on l'apprécie par la valeur entre l'ETR et le « standing crop », exprimés respectivement en mm (1) et en kg de matière sèche produite par m² de surface cultivée.

Dans les conditions de cette expérimentation, on peut en effet considérer que les valeurs de l'ETP calculées sont très voisines des quantités d'eau réellement consommées par les surfaces cultivées, quand elles sont soumises à un régime d'arrosages réguliers et suffisants. Pendant les périodes d'arrêt des apports d'eau, les déterminations de l'ETR s'effectuent approximativement, en tenant compte de l'épuisement des réserves utilisables du sol.

1.4. ANALYSES BROMATOLOGIQUES

Afin d'établir les besoins des cultures en éléments minéraux majeurs (N, P, K) et l'influence du régime d'arrosages sur la valeur fourragère de ces espèces, deux séries d'analyses bromatologiques, portant sur des échantillons récoltés en saison sèche et fraîche ainsi qu'en période chaude et humide, ont été effectuées par les Laboratoires d'Alimentation et de Nutrition de l'INRA à Maisons-Alfort. Elles ont porté sur les déterminations suivantes :

- matières azotées brutes (MAB);
- matières minérales totales;
- insoluble chlorhydrique;
- teneurs en P et K.

A partir de la première donnée, on obtient des teneurs en matières azotées digestibles (MAD), que l'on estime par la formule de Demarquilly : MAD (g/kg de mat. sèche) = 9,29 MAB (% de mat. sèche) — 35,2.

Elles constituent un des éléments essentiels servant à caractériser la valeur alimentaire d'un fourrage (Boudet, 1975).

(1) 1 mm d'eau/m² = 1 kg.

II. RÉSULTATS

2.1. BILAN HYDRIQUE ET CONSOMMATION D'EAU

Quelques séries de déterminations des profils d'humidité du sol ont été effectuées à différentes époques de l'année, afin de suivre l'épuisement des réserves en eau entre deux arrosages consécutifs. Elles ont été faites sous trois couverts différents.

Les valeurs moyennes journalières de la consommation d'eau seraient donc, d'après cette méthode (tabl. I à III) :

- 3,3 mm au cours des deux premières périodes (février-mars et août);
- 3,6 mm fin octobre;
- 3,2 mm fin janvier.

Ces valeurs sont très proches les unes des autres et confirment bien qu'une quantité journalière de 3,5 mm répond le plus souvent aux besoins des cultures fourragères, dans les conditions de ces observations. Notons toutefois que les possibilités de pertes par drainage au-dessous de 50 cm de profondeur ne sont pas exclues totalement, comme le montrent les tableaux I à III. Au cours des mêmes périodes, les résultats d'ETP enregistrés au poste météorologique ont été respectivement de : 3,5 - 3,8 - 4,0 et 3,1 mm en valeurs moyennes journalières, différences sans doute dues à sa position dégagée en sommet de dunes.

Ces résultats montrent également que la nécessité d'un arrosage par semaine n'est pas toujours impérative pendant toute l'année. Au cours de certaines périodes (par ex. du 24/2 au 10/3/76), un apport d'eau toutes les deux semaines serait sans doute suffisant, étant donné qu'il y a ralentissement de l'acti-

TABLEAU I
CONSOMMATION D'EAU SOUS *BRACHIARIA BRIZANTHA* :
DIFFERENCE ENTRE LES TAUX D'HUMIDITE DU SOL DETERMINES LE LENDEMAIN D'UN ARROSAGE
ET LA VEILLE DE L'ARROSAGE SUIVANT

Profondeur (cm)	24/2 et 10/3/76		Entre les :				26/1 et 1/2/77	
	%	mm	4/8 et 10/8/76		20/10 et 26/10/76		%	mm
0 - 10	16,9	25,4	5,8	8,7	6,8	10,2	5,0	7,5
10 - 20	17,2	25,8	4,2	6,3	8,0	12,0	4,5	6,8
20 - 30	5,6	8,4	2,0	3,0	1,9	2,9	1,3	1,9
30 - 50	1,4	4,2	0,8	2,4	-0,4	-1,2	0,2	0,6
Total		63,8		20,4		23,9		16,8
Moyenne Journal.		4,3		3,4		4,0		2,8

TABLEAU II
SOUS *ANDROPOGON GAYANUS*

Profondeur (cm)	24/2 et 10/3/76		Entre les :				26/1 et 1/2/77	
	%	mm	4/8 et 10/8/76		20/10 et 26/10/76		%	mm
0 - 10	15,7	23,6	7,0	10,5	8,0	12,0	7,7	11,5
10 - 20	5,0	7,5	2,2	3,3	4,9	7,4	5,2	7,8
20 - 30	4,2	6,3	2,4	3,6	2,7	4,0	1,8	2,7
30 - 50	2,2	6,6	-	-	-1,2	-3,6	-1,0	-3,0
Total		44,0		17,4		19,8		19,0
Moyenne Journal.		2,9		2,9		3,3		3,2

TABLEAU III
SOUS CHLORIS GAYANA

Profondeur (cm)	24/2 et 10/3/76		Entre les :				26/1 et 1/2/77	
	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm
0 - 10	12,4	18,6	5,5	8,3	6,0	9,0	9,1	12,1
10 - 20	12,9	19,4	5,8	8,7	7,8	11,7	2,9	4,4
20 - 30	6,1	10,1	0,8	1,2	-0,4	-0,6	1,6	2,4
30 - 50	-1,9	-5,7	1,3	3,9	0,5	1,5	0,7	2,1
Total		42,4		22,1		21,6		21,0
Moyenne Journal.		2,8		3,7		3,6		3,5

TABLEAU IV
PRODUCTION EN MATIERE SECHE DE LA PARTIE FAUCHEE (STANDING CROP) EN kg/m²
DE SURFACE CULTIVEE, ET VITESSE DE CROISSANCE (g. mat. sèche / jour).

Cycle	Espèce	<i>P. maximum</i> 5 601	<i>P. maximum</i> K. 187 b	<i>P. purpureum</i> Kizozì	<i>Androp.</i> <i>gayanus</i>	<i>Chloris</i> <i>gayana</i>	<i>Brach.</i> <i>brizantha</i>	<i>Brach.</i> <i>mutica</i>
12/9 - 11/12/75 90 jours		0,755 8,40	0,225 2,50	0,495 5,50	0,485 5,40	0,325 3,60	0,360 4,00	0,215 2,40
12/12/75 - 18/3/76 98 jours		0,300 3,05	0,525 5,35	0,470 4,80	0,105 1,05	0,110 1,10	0,340 3,45	0,340 3,45
19/3 - 28/4 41 jours		0,360 8,80	0,605 14,75	0,460 11,20	0,540 13,15	0,325 7,95	0,345 8,40	0,275 6,70
29/4 - 8/6* 41 jours		0,385 9,40	0,550 13,40	0,415 10,10	0,445 10,85	0,365 8,90	0,345 8,40	0,260 6,35
9/6 - 12/7 34 jours		0,950 27,95	0,845 24,85	0,850 25,00	0,665 19,55	0,605 17,80	0,485 14,25	0,490 14,40
13/7 - 19/8** 38 jours		0,745 19,60	0,740 19,50	0,605 15,90	0,565 14,85	0,570 15,00	0,395 10,40	0,455 12,00
20/8 - 30/9 42 jours		1,150 27,40	0,900 21,45	0,840 20,00	0,720 17,15	0,770 18,35	0,695 16,55	0,895 21,30
1/10 - 11/11 42 jours		0,785 18,70	0,510 12,15	0,475 11,30	0,625 14,90	0,690 16,45	0,595 14,15	0,615 14,65
12/11 - 14/1/77 64 jours		0,150 2,35	0,380 5,95	0,170 2,65	0,120 1,90	1,140 2,20	0,225 3,50	0,105 1,65
15/1 - 17/3 62 jours		0,505 8,15	0,670 10,80	0,720 11,60	0,580 9,35	0,620 10,00	0,600 9,70	0,630 10,15
18/3 - 27/4 41 jours		0,860 21,00	0,885 21,60	0,745 18,15	0,820 20,00	0,705 17,20	0,800 19,50	0,370* 9,00

* Parcelles broutées par du bétail non contrôlé.
** Attaques de sauterelles.

tivité de croissance. Ceci permettrait alors d'économiser, donc de mieux rentabiliser encore, l'eau apportée.

2.2. CROISSANCE ET PRODUCTIVITÉ SAISONNIÈRES

2.2.1. Valeurs du « standing crop » et de la vitesse de croissance

Les données portent sur 11 cycles d'exploitation, de durée variable suivant la saison. Ils s'échelonnent depuis le 12/9/75, date de la fin des mises en place et le 27/4/77, qui correspond à la dernière coupe. La fumure minérale a été appliquée au début des cycles 3, 5, 7, 9 et 11. Les quantités apportées paraissent *a priori* suffisantes pour assurer des productions de l'ordre de 30 à 40 t. de matière sèche par ha et par an, si l'on se réfère à ce qui est admis par certains auteurs (Dumas *et al.*, 1973, Boudet, 1975). Ce problème de la fumure minérale sera d'ailleurs examiné dans un autre chapitre, compte tenu des résultats d'a-

nalyses bromatologiques effectuées sur le fourrage récolté.

Les résultats portés sur le tableau IV, qui représentent les moyennes des données recueillies sur quatre parcelles par espèce, laissent apparaître la supériorité des deux *Panicum maximum* (5 601 et K. 187 b). Chez ces deux clones la productivité aérienne annuelle dépasse 5 kg de matière sèche par m² de surface cultivée, si l'on établit ce calcul à partir du cycle 3 (19/3/76 au 17/3/77), les deux premiers pouvant être considérés comme des cycles de reprise. Pour les autres espèces, les valeurs s'échelonnent entre 4,5 kg pour le Kizozzi et 3,8 kg pour les *Brachiaria*. La productivité du *Brachiaria mutica* est certainement sous estimée, cette espèce ayant été la plus atteinte par les prédateurs au cours des cycles 4 et 11 (29/4 au 8/6/75 et 18/3 au 27/4/77).

Pour les sept espèces, les valeurs saisonnières de la vitesse de croissance étayent l'hypothèse d'une nette influence climatique, comme on peut le voir en examinant les résultats suivants :

TABLEAU V
REPARTITION SAISONNIÈRE DE LA VITESSE DE CROISSANCE POUR SEPT GRAMINÉES FOURRAGÈRES
SOUMISES A L'IRRIGATION PENDANT UNE ANNEE (en g. de matière sèche / m² / jour).

Epoque	Espèce	<i>P. maximum</i> 5 601	<i>P. maximum</i> K. 187 b	<i>P. purpureum</i> (Kizozzi)	<i>Androp.</i> <i>gayanus</i>	<i>Chloris</i> <i>gayana</i>	<i>Brach.</i> <i>brizantha</i>	<i>Brach.</i> <i>mutica</i>
(1) 12/11/76 au 17/3/77		5,20	8,35	7,05	5,55	6,05	6,55	5,85
(2) 19/3 au 8/6/76		9,10	14,10	10,65	12,00	8,45	8,40	6,55
(3) 9/6 au 11/11/76		23,30	19,20	17,75	16,50	16,90	13,90	15,75
(1 + 2)		6,75	10,60	8,45	8,10	7,00	7,30	6,10
(3)		23,30	19,20	17,75	16,50	16,90	13,90	15,75

(1 + 2) correspond à des périodes de basses moyennes thermiques, sèches dans les conditions naturelles.
(3) est la saison chaude, normalement humide.

Ces résultats peuvent être rapprochés de ceux obtenus dans l'étude précédente, qui concernent les valeurs moyennes de la transpiration relative (1) au cours d'une année (Boyer et Grouzis). Les valeurs de T/E varient en effet dans le même sens que celles des vitesses de croissance, et par conséquent des productivités. Les valeurs élevées de T/E, qui traduisent une bonne

ouverture stomatique, correspondent en général avec de fortes vitesses de croissance, donc *a priori* avec des productivités élevées. C'est le cas de la période chaude et humide dite « d'hivernage » (juillet/octobre). Mais cette relation n'est pas toujours stricte. On peut en effet remarquer que la production peut s'élever même au cours de périodes où les valeurs de T/E sont basses (avril - début juin). Ceci confirme donc que d'autres facteurs que la demande évaporative peuvent intervenir pour limiter ou élever la production. En particulier, l'action des températures atmosphériques

(1) Rapport entre les valeurs de la transpiration (T) et de l'évaporation physique (E) d'une surface inerte (rondelle de Piche) = T/E.

joue certainement un grand rôle dans l'intensité saisonnière de l'activité végétative de ces Graminées, comme on peut le voir sur les fig. 1 à 4. La juxtaposition des graphiques des fig. 2, 3 et 4 avec ceux de la fig. 1 est particulièrement révélatrice. L'action de la température atmosphérique serait donc à examiner de plus près par expérimentation en conditions contrôlées. On sait en effet que ces Graminées fourragères tropicales fixent le CO² externe grâce à un enzyme, la phosphoenolpyruvate carboxylase (PEPC) qui poséderait une action optimale entre 30° et 40° C. La chute très nette de la production, pendant les mois de l'année où les moyennes thermiques sont les plus basses (décembre à mars), même si l'alimentation en eau est suffisante, vient donc à l'appui de cette hypothèse.

2.2.2. Variations des teneurs en matière sèche

Pour les différentes périodes de l'année, les résultats obtenus sont les suivants :

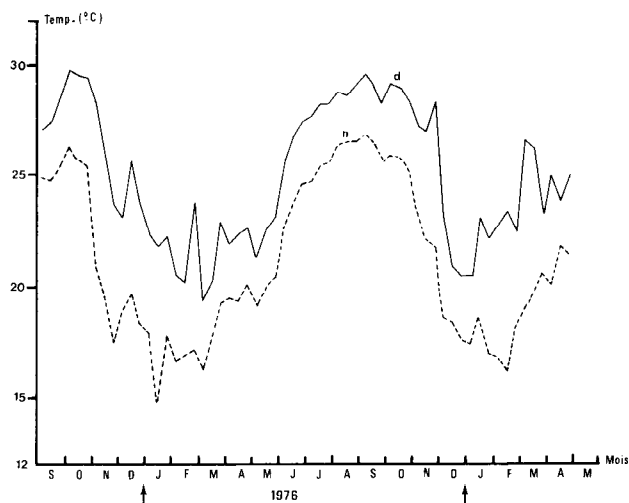


Fig. 1. — Moyennes décadaires des températures atmosphériques diurnes (d) et nocturnes (n) à Sangalkam.

TABLEAU VI
TENEUR EN MATIERE SECHE DU « STANDING CROP » POUR LES SEPT ESPECES ETUDIEES
(% par rapport au poids de matière fraîche).

Epoque	Espèce	<i>Brach. brizantha</i>	<i>Androp. gayanus</i>	<i>Brach. mutica</i>	<i>Chloris gayana</i>	<i>P. maximum</i> 5 601	<i>P. maximum</i> K. 187 b	<i>P. purpureum</i> (Kizozzi)
(1) 12/11/76 au 17/3/77		24,4	23,1	22,4	21,8	23,5	21,6	14,4
(2) 19/3 au 8/6/76		24,6	24,3	24,0	23,5	22,1	20,3	16,1
(3) 9/6 au 11/11/76		20,5	19,5	18,3	18,7	17,3	16,0	12,0
(1 + 2)		24,5	23,8	23,1	22,6	22,8	20,9	15,2
(3)		20,5	19,5	18,3	18,7	17,3	16,0	12,0

Pour donner plus de rigueur à cette notion de « poids de matière fraîche », les prélèvements sont effectués en début de matinée, au cours des deux jours qui suivent un arrosage. De cette façon, on diminue au maximum les variations dues aux effets du déficit hydrique qui existe au moment de la coupe.

Les résultats obtenus montrent que c'est *Brachiaria brizantha* qui a les teneurs en matière sèche les plus élevées, *Pennisetum purpureum* (Kizozzi) les plus faibles. Les différences saisonnières sont surtout dues à la durée des cycles d'exploitation. En saison sèche, et au cours des périodes où les moyennes thermiques sont basses, les vitesses de croissance sont plus faibles ce qui augmente l'intervalle de temps entre deux

coupes consécutives. On a pu en effet constater l'influence de la durée de ces cycles sur la valeur de certains rapports ou paramètres de croissance (Boyer et Grouzis, 1^{re} partie). S'ils sont inférieurs à 5 semaines environ, les masses surfaciques ont des valeurs plus basses et les rapports feuilles/tiges (en matière sèche) plus élevés. Dans ces conditions, les cycles courts des périodes chaudes et humides donnent un fourrage à plus faible taux de matière sèche. Si les cycles ont des durées supérieures à 5 semaines, les valeurs de ces deux paramètres se modifient beaucoup plus lentement et, après 8 semaines, l'élévation nette des taux de matière sèche est essentiellement due à la lignification des tiges.

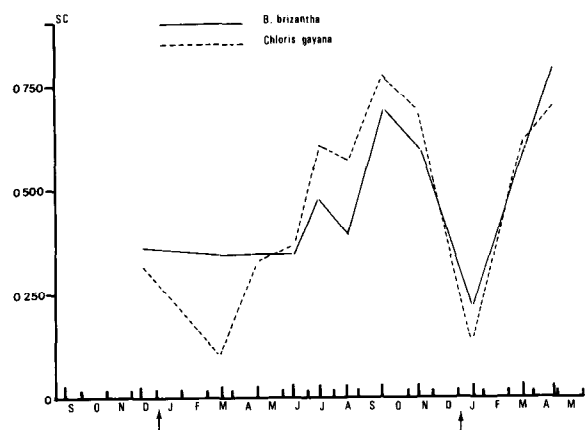
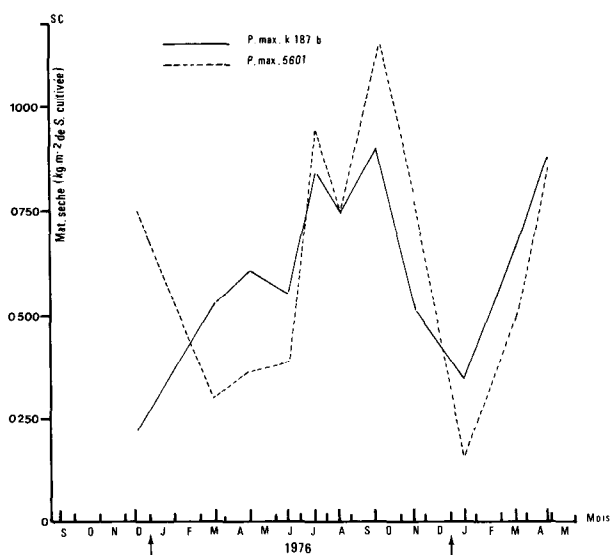
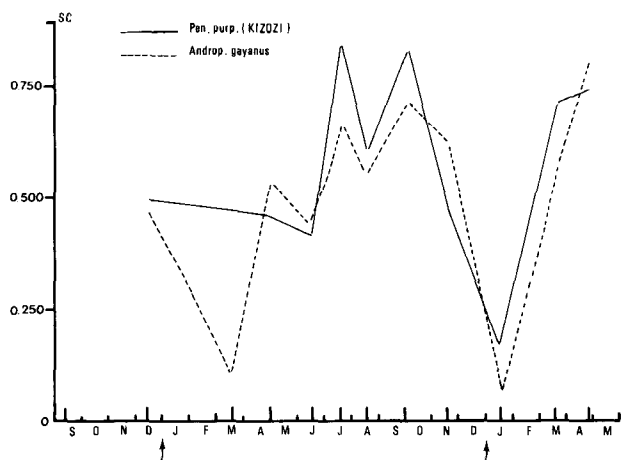


Fig. 2 à 4. — Valeurs saisonnières du «standing crop» chez des Graminées fourragères cultivées à Sangalkam.

2.2.3. Valeur et utilité de ces paramètres de croissance

Ils peuvent donc être utilisés pour déterminer les rythmes d'exploitation et les stades de croissance qui apparaissent les plus favorables à la consommation. Ils permettent également le calcul de l'indice de surface foliaire (LAI) d'une culture, paramètre lié à ses possibilités productives. A chaque cycle d'exploitation, le calcul des LAI demande donc, en principe, la détermination des valeurs moyennes des masses surfaciques et des rapports feuilles/tiges (en matière sèche) pour chaque espèce cultivée. Pour les 10 premiers cycles, on a obtenu les résultats suivants :

TABLEAU VII
VALEUR MOYENNE DES POURCENTAGES DE FEUILLES PAR RAPPORT A L'ENSEMBLE DE LA RECOLTE (en poids sec).

Espèce	Valeur moyenne	Différence significative	
		P 0,05	P 0,001
K. 187 b	58,2	± 2,5	± 3,3
Kizozzi	51,3	± 2,5	± 3,3
B. brizantha	49,7	± 4,7	± 6,1
Chloris	49,3	± 3,6	± 4,7
P. 5 601	48,1	± 4,4	± 5,7
B. mutica	45,1	± 2,9	± 3,8
Andropogon	44,6	± 3,0	± 3,9

TABLEAU VIII
VALEUR MOYENNE DES MASSES SURFACIQUES (g/dm²).

Espèce	Valeur moyenne	Différence significative	
		p 0,05	p 0,001
P. 5 601	0,614	± 0,031	± 0,040
K. 187 b	0,579	± 0,023	± 0,030
Kizozzi	0,565	± 0,028	± 0,037
B. brizantha	0,533	± 0,026	± 0,034
Andropogon	0,501	± 0,030	± 0,039
Chloris	0,498	± 0,026	± 0,036
B. mutica	0,399	± 0,021	± 0,027

Les mesures obtenues ayant une faible dispersion, on peut donc utiliser les valeurs moyennes pour ces deux paramètres, puisque la durée des cycles d'exploitation est généralement de 5 à 9 semaines. On sait en effet que leur valeur moyenne varie peu pendant ce laps de temps (Boyer et Grouzis, 1^{re} partie).

Ceci permet de calculer les valeurs des indices de surface foliaire à la récolte (LAI), dont on a établi les moyennes pour les principales époques de l'année et de les comparer avec les données de productivité :

TABLEAU IX
VALEURS MOYENNES DES INDICES DE SURFACE FOLIAIRE (LAI) AU MOMENT DE LA RECOLTE, ET DES RAPPORTS AVEC LA PRODUCTION MOYENNE JOURNALIERE (P_j/LAI).

Epoque	Espèce	<i>P. maximum</i> K. 187 b	<i>P. purpureum</i> Kizozì	<i>P. maximum</i> 5 601	<i>Brach.</i> <i>mutica</i>	<i>Chloris</i> <i>gayana</i>	<i>Androp.</i> <i>gayanus</i>	<i>Brach.</i> <i>brizantha</i>
LAI (1 + 2)		4,46	4,20	3,28	3,67	2,86	2,83	3,53
LAI (3)		8,36	7,17	7,68	7,38	6,68	6,11	4,84
P _j /LAI (1 + 2)		2,10	1,83	2,03	1,40	2,05	2,39	1,96
P _j /LAI (3)		2,32	2,51	3,07	2,16	2,56	2,73	2,89

On note la supériorité du *Panicum maximum* K.187 b, dont les valeurs de l'indice de surface foliaire sont dûes à un rapport élevé feuilles/tiges et à une croissance meilleure en période fraîche. Si l'on compare les données du tableau IX avec celles du tableau IV, on s'aperçoit que les deux *Panicum maximum* et le Kizozì se classent toujours en tête en ce qui concerne la productivité et les rendements photosynthétiques.

Il est également intéressant de noter que les valeurs les plus élevées des rapports entre la production moyenne journalière (P_j) et l'indice de surface foliaire (LAI) correspondent en général aux plus fortes valeurs des masses surfaciques (tabl. VIII). Elles indiquent une très bonne aptitude à la productivité de matière. Là encore, on observe la supériorité des *Panicum maximum* et du *Pennisetum purpureum* (Kizozì).

2.3. Efficience de l'utilisation de l'eau

Les valeurs recueillies ont été groupées pendant les quatre périodes principales de l'année, à l'exception

de celles du premier cycle d'exploitation qui a suivi l'implantation (12/9 au 11/12/75).

Les résultats sont en étroite corrélation avec ceux du tableau V (vitesse de croissance) : l'efficience de l'utilisation de l'eau est d'autant plus faible (valeurs élevées) que la vitesse de croissance est plus basse.

Le K.187 b utilise le mieux l'eau pendant la plus grande partie de l'année. L'effet dépressif de la période fraîche (1 + 2) se fait nettement moins sentir que chez l'autre clone de *Panicum maximum* le (5 601). Chez ce dernier, on note toutefois la meilleure efficience en eau au cours des périodes chaudes et humides. La supériorité du K.187 b réside donc dans une meilleure répartition saisonnière des productions. A un moindre degré, le *Pennisetum purpureum* (Kizozì) et le *Brachiaria brizantha* ont cette même tendance. Par contre, *Andropogon gyanus*, *Brachiaria mutica* et *Chloris gayana* se rangent dans le même groupe que le 5 601 : bonne efficience en eau en période chaude et humide, chute très nette en saison sèche et fraîche.

TABLEAU X
VALEURS MOYENNES DE L'EFFICIENCE DE L'UTILISATION DE L'EAU POUR LES SEPT ESPECES OBSERVEES A SANGALKAM, EXPRIMEES EN litres PAR kg DE MATIERE SECHE PRODUITE.

Epoque	Espèce	<i>P. maximum</i> K. 187 b	<i>P. purpureum</i> Kizozì	<i>P. maximum</i> 5 601	<i>Androp.</i> <i>gayanus</i>	<i>Brach.</i> <i>brizantha</i>	<i>Chloris</i> <i>gayana</i>	<i>Brach.</i> <i>mutica</i>
(1) 12/11/76 au 17/3/77		335	380	516	483	415	445	460
(2) 19/3 au 8/6/76		302	399	469	355	506	506	653
(3) 9/6 au 11/11/76		198	214	163	231	273	225	241
(1 + 2)		317	389	491	408	457	474	541
(3)		198	214	163	231	273	225	241

2.4. BESOINS EN ÉLÉMENTS MINÉRAUX MAJEURS

Au cours d'une année, la fumure minérale appliquée correspond aux quantités suivantes, apportées en 4 épandages, et que nous exprimons par m² de surface cultivée :

- 270 g de sulfate d'ammoniaque à 21 % de N;
- 44 g de phosphate super-triple à 45 % de P₂O₅;
- 115 g de sulfate de potasse à 50 % de K₂O.

Ceci correspond à une dose de :

- 56,7 g de N - 8,6 de P et 47,7 g de K.

Des analyses bromatologiques, effectuées sur deux séries d'échantillons récoltés pendant la saison sèche et fraîche (décembre à mai) et la période chaude et humide (juin à novembre) ont permis de déterminer les taux de N, P et K, dont nous donnons ici les valeurs moyennes pour les sept espèces observées (4 déterminations par espèce).

On peut alors calculer l'ordre de grandeur des exportations annuelles par le fourrage récolté, en prenant pour base une production en matière sèche valable pour les espèces à grande rendement (type *Panicum maximum*).

La fumure azotée semble donc suffisante. Par contre les doses de phosphore sont à multiplier par 1,5 et celles de potasse, très insuffisantes, par près de 2,5, si l'on veut compenser les exportations par les récoltes.

Nous proposons donc les doses suivantes, par m₂ de surface cultivée :

- 285 g de sulfate d'ammoniaque à 21 % de N;
- 66 g de phosphate super-triple à 45 % de P₂O₅;
- 280 g de sulfate de potasse à 50 % de K₂O;

à répartir après chaque coupe (soit 8 épandages par an au lieu de 4).

2.5. VALEUR FOURRAGÈRE ET ÉCONOMIE D'EAU

Des analyses bromatologiques d'échantillons récoltés au cours de deux périodes principales de l'année (mars et août 1976) ont permis de montrer que le fourrage pouvait être classé dans les catégories bonne et excellente qualité du point de vue des teneurs en matières azotées digestibles (plus de 34 g/kg de MAd). Mais on ne peut pas dégager de différences nettes entre les teneurs en MAd des plantes de saison fraîche et sèche, ou chaude et humide. Celles-ci sont surtout dues au fait que la durée des cycles d'exploitation était très différente (respectivement 98 et 38 jours). Par contre l'allongement de la durée de ces cycles élève en général le taux de matières minérales totales et de silice (insoluble chlorhydrique). Il semble également diminuer le taux de phosphore et élever celui de potassium.

Afin de pouvoir comparer la valeur respective des diverses espèces, compte tenu de leur productivité saisonnière et annuelle en matière sèche, nous avons dressé un bilan de ces différents éléments nutritifs en les rapportant à l'unité de surface cultivée. Les résultats figurent dans le tableau XII.

À l'échelle annuelle, les quantités d'éléments apportés par le fourrage de *Panicum maximum* et *Pennisetum purpureum*, sont généralement plus élevées que pour les autres espèces : MAd, matières minérales, P, K et silice.

Notons toutefois l'intérêt de l'*Andropogon* et du *Chloris* dont les quantités de MAd apportées sont sensiblement plus élevées que celles des *Panicum maximum*. Ces deux espèces ont également une meilleure répartition saisonnière des quantités d'azote digestible produites.

Il est donc probable que des cycles de 5 à 6 semaines soient souhaitables pour ces cultures, de façon à obtenir le meilleur bilan saisonnier et annuel des matières nutritives du fourrage.

TABLEAU XI
TENEUR EN ÉLÉMENTS MAJEURS DU FOURRAGE RECOLTE (en g %) ET BILAN ANNUEL DES EXPORTATIONS EN CES MEMES ÉLÉMENTS (g/m² de surface cultivée).

Période	Teneurs (g %)			Mat. sèche (Kg/m ²)	Exportations (g/m ²)		
	N	P	K		N	P	K
Déc. à mai	1,65	0,369	2,79	1,4	23,1	5,2	39,1
Juin à nov.	1,42	0,297	2,98	2,6	36,9	7,7	77,5
Total année				4,0	60,0	12,9	116,6
Doses apportées annuellement (g/m ²)					56,7	8,6	47,7

TABLEAU XII
VALEUR NUTRITIVE DU FOURRAGE POUR SEPT ESPÈCES CULTIVÉES A SANGALKAM :
QUANTITÉS SAISONNIÈRES ET ANNUELLES D'ÉLÉMENTS EN g/m² DE SURFACE CULTIVÉE.

Eléments \ Espèces	<i>P. maximum</i> 5 601	<i>P. maximum</i> K. 187 b	<i>P. purpureum</i> Kizozi	<i>Androp.</i> <i>gayanus</i>	<i>Chloris</i> <i>gayana</i>	<i>Brach.</i> <i>brizantha</i>	<i>Brach.</i> <i>mutica</i>
M A d							
S	65,4	61,9	54,0	83,1	102,1	64,6	31,2
H	154,3	173,7	201,9	183,3	141,8	101,4	127,0
Total an.	219,7	235,6	255,9	266,4	243,9	166,0	158,2
Mat. minér.							
S	145,6	201,5	197,2	121,9	166,7	146,7	126,6
H	496,5	389,4	409,6	244,8	272,3	239,5	295,5
Total an.	642,1	590,9	606,8	366,7	439,0	386,3	422,1
Insol. Chlor.							
S	65,9	84,3	87,2	58,5	86,7	73,3	59,6
H	163,7	149,0	125,4	87,0	72,9	91,6	95,1
Total an.	229,6	233,3	212,6	145,5	159,6	164,9	154,7
Phosphore							
S	3,88	4,37	6,34	3,12	5,05	4,25	3,21
H	12,00	9,29	11,58	7,48	9,70	7,04	9,74
Total an.	15,88	13,66	17,92	10,60	14,75	11,29	12,95
Potassium							
S	33,9	51,2	51,7	25,5	23,3	25,1	25,0
H	145,0	99,4	137,8	70,3	68,2	69,4	87,3
Total an.	178,9	150,6	189,5	95,8	91,5	94,5	112,3
M A d = Matières azotées digestibles S = Période sèche et fraîche (décembre à mai) H = Saison chaude et humide (juin à novembre)							

DISCUSSION GÉNÉRALE ET CONCLUSIONS

Une alimentation en eau suffisante est la base essentielle pour une production fourragère intensive. Cette condition est en effet indispensable, étant donné que les soins apportés ne seront valorisés que si ces plantes ont à leur disposition les quantités d'eau nécessaires à l'élaboration de la matière sèche du fourrage.

Dans les conditions de nos observations, les cultures doivent disposer de 3 à 3,5 mm d'eau par jour, ce qui correspond à des apports de 4 à 5 mm, si l'on applique un « coefficient d'efficacité d'irrigation » qui tient compte des pertes sur le circuit de distribution (Boudet, 1975). Des mesures de bilan hydrique, effectuées à différentes époques de l'année, confirment que ces valeurs coïncident sensiblement avec celles de

l'ETP calculée (Riou, 1973). Théoriquement, elles doivent donc répondre aux besoins en eau nécessaires pour une croissance optimale. Mais étant donné le coût de l'eau, ces apports doivent être rentabilisés au maximum, afin que la pratique de l'irrigation soit vulgarisable à la production fourragère intensive. L'étude de l'efficacité de l'utilisation de l'eau par ces plantes répond à cette préoccupation, puisque son but consiste à rechercher la relation quantitative entre leur consommation d'eau et la production en matière sèche.

Les résultats ont montré que les productions annuelles pouvaient être très élevées pour les six espèces observées. Elles atteignent 5 à 5,5 kg de matière sèche par m² de surface cultivée, pour deux clones de *Panicum maximum* (K.187 b et 5 601) et s'échelonnent entre 4 et 4,5 kg respectivement pour : *Chloris gayana*, *Andropogon gayanus* et *Pennisetum purpureum*

(Kizosi). Elles sont comprises entre 3,8 et 4 pour les *Brachiaria brizantha* et *mutica*. Ces résultats correspondent à une consommation d'eau théorique de 1 250 mm par an environ. Dans ces conditions, l'efficience de son utilisation s'échelonne, en valeurs annuelles, entre 220 et 330 litres par kg de matière sèche produite, ce qui indique une très bonne rentabilisation de l'eau pour la production.

L'étude de l'évolution de la vitesse de croissance au cours d'une année montre qu'il existe une nette variation saisonnière, même si les apports d'eau et les soins qui sont appliqués à ces cultures se rapprochent des conditions requises pour une production optimale en matière sèche. C'est ainsi que l'on peut constater une chute des productivités pendant la période de l'année qui correspond à la saison sèche et fraîche. Au contraire, elles sont les plus élevées au cours de la période dite « d'hivernage », caractérisée par une forte humidité et une nette remontée des moyennes thermiques.

Malgré les différences que l'on peut observer entre les espèces, variétés et clones, ces résultats semblent bien étayer l'hypothèse d'une influence climatique. En particulier, l'évolution saisonnière des moyennes thermiques diurnes et nocturnes comparativement avec celles des productions en matière sèche montre un parallélisme qui évoque un contrôle de ces composantes climatiques sur l'activité de croissance de ces Graminées fourragères. Les variations qui en résultent se répercutent sur les valeurs de l'efficience en eau qui peuvent s'échelonner, chez une même espèce et au cours d'une année, entre moins de 200 et plus de 750 litres d'eau par kg de matière sèche produite. Du point de vue agronomique, la connaissance de ces valeurs est indispensable si l'on veut obtenir une rentabilisation maximale de l'eau apportée : choix des espèces qui l'utilisent le mieux, établissement de modules d'irrigation tenant compte des variations saisonnières de l'activité végétative.

Le choix du matériel végétal constitue l'une des bases de la production fourragère intensive, puisque cette dernière est en partie tributaire de l'adaptation des plantes pour le milieu dans lequel elles sont introduites. Dans ce domaine, l'intérêt des *Panicum maximum* n'est plus à démontrer : il apparaît en effet que certaines souches, comme le 5 601 ou le K. 187 b, constituent un matériel de choix, aussi bien par leur vitesse de croissance et leur productivité élevées que par leur excellente aptitude à utiliser l'eau.

Cette espèce, qui a fait l'objet de travaux de sélection très poussés, présente l'avantage de grouper un nombre important de clones et lignées, dont les très hautes productivités se répartissent d'une façon différente au cours des diverses périodes d'une même année.

Pour le 5 601 par exemple, les 3/4 de la production annuelle proviennent de la période chaude et humide, au cours de laquelle l'efficience en eau atteint d'excellentes valeurs voisines de 150 litres d'eau par kg de matière sèche produite, si les cycles d'exploitation n'excèdent pas des durées d'environ 40 jours. Le reste du temps les valeurs montrent une très forte diminution de cette aptitude à utiliser l'eau.

Le K. 187 b au contraire offre une meilleure répartition saisonnière de sa production, ce qui fait que son efficience en eau varie beaucoup moins et reste encore assez bonne même pendant les périodes de chute de croissance. Dans ces conditions, l'irrigation devient rentable pendant la plus grande partie de l'année, à condition que les apports en fumure minérale soient suffisants.

Il y a donc intérêt à choisir des espèces, variétés ou clones dont le comportement présente une relative indépendance entre les facteurs physiologiques de la croissance et les composantes climatiques essentielles. Dans tous les cas, une étude plus fine du rythme des coupes s'impose, de façon à assurer les productivités les plus élevées et la meilleure efficience de l'utilisation de l'eau. Il serait très intéressant de pouvoir définir à partir de quel moment les proportions de tiges deviennent plus importantes et augmentent le refus à la consommation. Dans ce domaine, l'étude de l'évolution des « indices de surface foliaire » (LAI) et de leur rapport avec la production en matière sèche serait du plus grand intérêt. A ce sujet, on peut déjà mentionner la valeur des rapports entre la production moyenne journalière de matière sèche entre deux coupes consécutives (P_j) et celle du LAI au moment de l'exploitation. On observe en effet que les valeurs les plus élevées de ce rapport sont en relation avec une efficience de l'utilisation de l'eau voisine de 200 litres consommés pour une production d'1 kg de matière sèche, et un cycle d'exploitation court (30 à 40 jours). Mais ces résultats ne peuvent être vraiment valables que dans la mesure où ce rythme assure également une valeur nutritive satisfaisante et une bonne digestibilité du fourrage.

En termes de rentabilité, on peut dire que dans tous les cas où la valeur de l'efficience de l'utilisation de l'eau dépasse 400 litres de consommation pour la production d'un kg de matière sèche, on a tout intérêt à réduire les quantités d'eau apportées en modifiant le rythme des arrosages, ou à couper plus tôt pour ne pas augmenter la proportion et la lignification des tiges.

Rappelons également que ces premiers résultats s'appliquent au climat très particulier du Cap-Vert, dont les caractéristiques ont été exposées dans la première partie de ce travail (Boyer et Grouzis). Bien que la

méthode puisse rester valable si on l'applique à d'autres régions du Sénégal, il est probable que les résultats pourraient être notablement modifiés dans des zones plus septentrionales ou situées plus au Sud. Il serait alors sans doute nécessaire d'étudier les limites de résistance au manque d'eau des espèces retenues pour la production fourragère.

REMERCIEMENTS

Il nous est particulièrement agréable de remercier le Docteur Khader Diallo, Directeur des Laboratoires de l'Élevage et de Recherches Vétérinaires de Hann (LNERV/ISRA), ainsi que Monsieur R. Cadot, Coordinateur des programmes de Recherches sur les plantes fourragères de grande culture, qui ont bien voulu mettre à notre disposition leur expérience et les moyens nécessaires à la réalisation de ce travail à la Station Expérimentale de l'Élevage de Sangalkam.

Nos remerciements d'adressent également à MM. Montanery et Fode Sarr, respectivement Chef de culture et Assistant d'expérimentation, pour l'aide bienveillante qu'ils nous ont apportée dans la réalisation des tâches et observations de terrain.

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'ORSTOM
le 24 janvier 1978

BIBLIOGRAPHIE

(des parties I et II)

- ASTON (M. J.), 1973. — Changes in internal water status and the gas exchange of leaves in response to ambient evaporative demand. Actes du coll. Uppsala, (UNESCO) : 243-247.
- BALDY (Ch.), 1973. — Contribution à l'étude de la photosynthèse apparente du blé. Application de méthodes gravimétriques en conditions naturelles. *Oecol. plantar.*, 8 : 247-262.
- BARRS (H. D.), 1973. — Controlled environment studies of the effects of variable atmospheric water stress on photosynthesis, transpiration and water status of *Zea mays* L. and other species. Actes du coll. Uppsala, (UNESCO) : 249-258.
- BERGER (A.), 1971. — La circulation de l'eau dans le système sol/plante. Etude de quelques résistances, en relation avec certains facteurs du milieu. Thèse Doct. USTL, Montpellier : 224 p.
- BJÖRKMAN (O.), 1971. — In : Photosynthesis and photorespiration (Hatch, Osmond and Slayter Eds.) New York : Wiley Interscience : 18-32.
- BORGET (M.), 1969. — Résultats et tendances présentes des recherches fourragères à l'IRAT. *Agron. Trop.*, 24 : 103-123.
- BOUDET (G.), 1975. — Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. Publ. Ministère Coop., IEMVT, 2^e éd. : 254 p.
- BOYER (J.), 1976. — Etude éco-physiologique de la productivité de quelques plantes fourragères au Sénégal (1^{re} et 2^e parties). Rapp. int. *multigr.* ORSTOM, Dakar.
- BOYER (J. S.), 1967. — Leaf water potential measured with a pressure chamber. *Plant physiol.*, 42 : 133-137.
- BRIGAUD (F.), 1965. — Le climat du Sénégal (In : *Etudes Sénégalaises* n° 9, climat/sol/végétation). CRDS, fasc. n° 3 : 109 p.
- CADOT (R.), 1965. — Expérimentation sur les plantes fourragères. Rapp. CRZ Bouaké-Minankro, 21 p. *multigr.*
- CADOT (R.), COULOMB (J. C.), RIVIÈRE (R.), 1965. — Les pâturages artificiels en savane à saison sèche peu marquée. *Rev. Elev. Med. Vet. Trop.*, 18 : 307-312.
- CARY (J. W.), WRIGHT (J. L.), 1971. — Response of plant water potential to the irrigated environment of Southern Idaho. *Agron. J.*, 63 : 691-695.
- CHARTIER (P.), 1975. — Transport du CO² et des métabolites. In : Table ronde photosynth. et prod. mat. org. (Gif S/Yvette) du 19 sept. 1975, I : 7 p.
- CORNET (A.), 1974. — Essai de cartographie bioclimatique à Madagascar. Publ. ORSTOM-Paris, Not. expl. n° 55 : 34 p.
- DUMAS (Y.), SALETTE (J. E.), SOBESKY (O.), 1973. — Eléments d'écologie des herbages à Pangola (*Digitaria decumbens*) dans divers milieux des Antilles Françaises. *Agron. trop.*, 28 : 819-845.
- DUNIWAY (J. M.), 1971. — Comparison of pressure chamber and thermocouple psychrometer determinations of leaf water status in tomato plant. *Plant physiol.*, 48 : 106-107.
- EVANS (G. C.), 1972. — Quantitative analysis of plant growth. *Studies in Ecol.* Vol. 1. Univ. of Berkeley, California Press.
- GARDNER (W. R.), 1973. — Internal water status and plant response in relation to the external water regime. Actes du coll. Uppsala, (UNESCO) : 221-225.
- GROUZIS (M.), 1976. — Transpiration, potentiel hydrique et résistance à la circulation de l'eau chez trois Graminées fourragères tropicales. Rapp. int. *multigr.* ORSTOM, Dakar.
- HATCH (M. D.), SLACK (C. R.), JOHNSON (H. S.), 1967. — Further studies on a new pathway of carbon dioxide fixation in sugar cane, and its occurrence in other plant species. *Biochem. J.*, 102 : 417-422.
- HETH (D.), 1974. — Water potentials of stressed pine seedlings under controlled climatic conditions. *Is. J. Bot.*, 23 : 127-131.

- HOLMGREN (P.), JARVIS (P. G.), JARVIS (M. S.), 1965. — Resistance to CO² and water vapour transfer in leaves of different plant species. *Physiol. plantar*, 18 : 557-573.
- KRAMER (P. J.), 1963. — Water stress and plant growth. *Agron. J.*, 55 : 31-35.
- KRAMER (P. J.), 1969. — Plant and soil water relationships : a modern synthesis. McGraw-Hill Ed., New York : 482 p.
- LEMEE (G.), 1956. — Aspects écologiques de la régulation stomatique de la transpiration. *Bull. Soc. Fse. Physiol. vég.*, 2 : 29-38.
- LEMEE (G.), 1975. — L'eau et les basses températures. In : Table ronde photosynth. et prod. mat. org. (Gif S/Yvette) du 19 sept. 1975, II : 3 p.
- MEIDNER (H.), HEATH (O.V.S.), 1959. — Studies in stomatal behaviour. VIII. Stomatal responses to temperature and CO² concentration in *Allium cepa* and their relevance to midday closure. *J. of Exp. Bot.*, 10 : 206-219.
- MILTHOPE (F. L.), 1956. — The growth of leaves. London Buther worths scientific publications : 254 p.
- PARCEVAUX (S. De), 1964. — Transpiration végétale et production de matière sèche. Essai d'interprétation en fonction des facteurs du milieu. In : l'eau et la prod. vég. INRA, Paris : 63-150.
- PERNÈS (J.), 1975. — Organisation évolutive d'un groupe agamique : la section des *Maximae* du genre *Panicum* (Graminées). *Mém. ORSTOM*, n° 75, Paris, 108 p.
- RIOU (Ch.), 1973. — Le bac d'eau libre et l'évaluation des consommations d'eau des couverts végétaux. *Agron. trop.*, 28 : 855-857.
- SCHOLANDER (P. F.), HAMMEL (H. T.), BRADSTREET (E. D.), HEMMINGSEN (E. A.), 1965. — Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148 : 339-346.
- SLATYER (R. O.), 1967. — Plant water relationships. *Acad. Press.*, London : 366 p.
- SLATYER (R. O.), 1973. — The effect of internal water status on plant growth, development and yield. Actes Coll. Uppsala, UNESCO : 177-191.
- STALFELT (M. G.), 1956. — Die cuticuläre. Transpiration. Die Stomatäre Transpiration und die physiologie der Spaltöffnungen. *Hdb. der Pflanzenphysiol.*, III : 342-349 et 351-421.
- STALFELT (M. G.), 1959. — Sonstige Reizreaktionen der Spaltöffnungen. *Hdb. der Pflanzenphysiol.*, XVII : 465-471.
- STOKER (R.), WEATHERLEY (P. E.), 1971. — The influence of the root system on the relationship between the rate of transpiration and depression of the leaf potential. *Newphysiol.*, 70 : 547-554.
- TOUTAIN (B.), 1973. — Principales plantes fourragères cultivées. IEMVT, note de synth. n° 3 : 201 p.
- WATSON (D. J.), 1952. — The physiological basis of variation in yield. *ADV. in Agron.*, IV : 101-145.
- WEATHERLEY (P. E.), 1963. — The pathway of water movement across the root-cortex and leaf mesophyll of transpiring plants. In : The water rel. of plants, Blackwell, London : 85-100.
- WHYTE (R. O.), MOIR (T. R. G.), COOPER (J. P.), 1959. — Les Graminées en agriculture. *Etudes agricoles*, n° 42, FAO, Rome.