

Le fait que l'eau limite la productivité végétale dans la partie nord et une carence en éléments nutritifs dans la partie sud du Sahel n'a pas seulement une importance académique: une limitation par la pluviosité n'ouvre pas des possibilités pour une stimulation de la productivité, parce que la pluviosité ne pourra pas être augmentée sur une grande échelle. (Irrigation pourrait augmenter la production, mais ceci nécessite bientôt aussi une fertilisation: voir partie 8.4.) Mais bien que difficile, il est possible en principe d'éliminer la pauvreté des sols dans la partie sud du Sahel.

4.2 LE POTENTIEL PHYSIOLOGIQUE DES PATURAGES ET DES CULTURES AGRICOLES

4.2.1 Introduction

La vitesse de croissance des végétations dans des conditions optimales (niveau de production A de la partie 2.3) est très élevée. Dans nos expériences à Niono, par exemple, des cultures de maïs et de riz ont produit environ 375 et 210 kg de matière sèche ha⁻¹ jour⁻¹, comme le montre la fig. 4.2.1. Ces vitesses sont 10-15x plus grandes que celles des cultures 'normales' sans fertilisation. Les conditions optimales concernent: l'état du sol (eau, azote et aération) et des plantes (absence de maladies et des insectes dévastateurs). Le climat est le seul facteur externe qui varie, et qui donc détermine la vitesse de croissance. On rencontre cette situation sur des terrains irrigués avec beaucoup d'engrais, et elle concerne donc des cultures agricoles. Parce que le terme 'condition optimale' se réfère exclusivement aux conditions de croissance, et pas aux espèces agricoles, les espèces des pâturages naturels aussi peuvent se retrouver dans des conditions de croissance potentielle. Dans de tels cas, on constate que leur pouvoir de croissance n'est pas inférieur à celui des espèces agricoles. On discute la production potentielle dans ce livre parce qu'on a besoin de quelques résultats de cette production potentielle pour des situations de croissance à des niveaux plus bas (parties 4.5 et 5.2). On reviendra aux résultats de cette partie dans une des options techniques (partie 8.4).

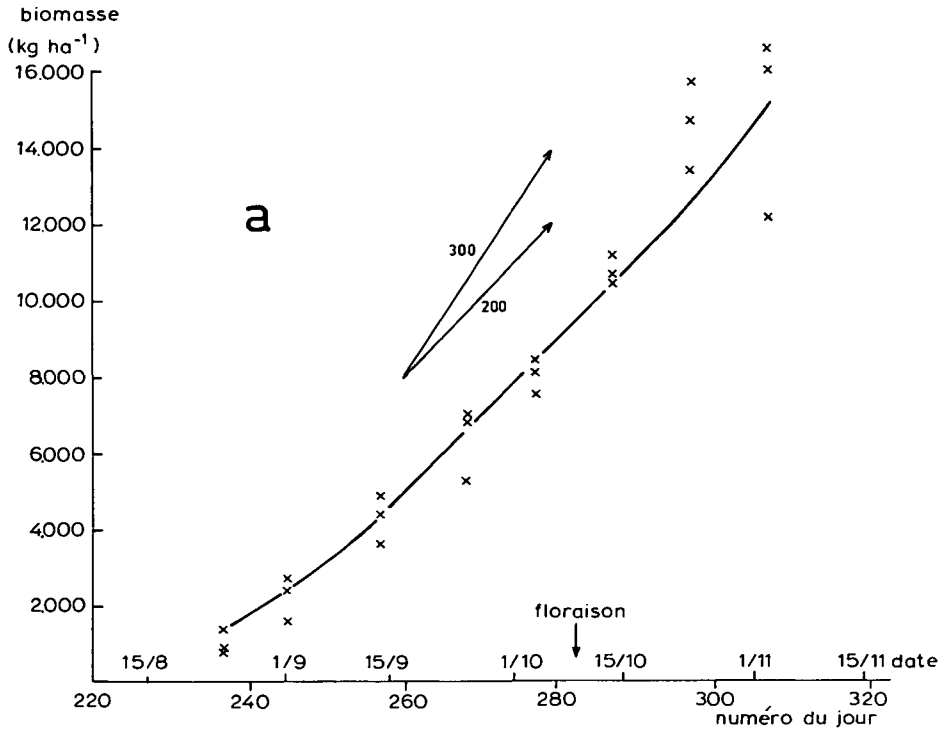
La quantité de biomasse récoltée à la fin d'une saison de croissance est étroitement liée à la durée de la période de croissance. Le début de cette période dépend de la date du semis ou de la plantation. La fin est déterminée par la récolte dans le cas des cultures fourragères, ou par la maturation dans le cas des céréales et des graminées des pâturages. Etant donné que le début et la fin dépendent souvent des activités de l'homme, on se concentre dans cette partie sur la vitesse de croissance dans la phase intensive.

Un modèle simple qui résume les processus principaux de la croissance dans des conditions optimales est basé sur la formule suivante:

$$CR = (PH \times 0,68 - EN) \times EC \quad (\text{formule 4.2.1})$$

dans laquelle CR est la croissance en kg de matière sèche ha⁻¹ jour⁻¹, PH est la photosynthèse de la culture en kg de CO₂ ha⁻¹ jour⁻¹, 0,68 est le facteur représentant la conversion de CO₂ en glucose, EN est la consommation de glucose ha⁻¹ jour⁻¹ pour l'entretien des plantes au niveau biochimique et EC est l'efficacité de conversion: une fraction qui indique combien de kg de matière sèche est formé si 1 kg de glucose est engagé pour la

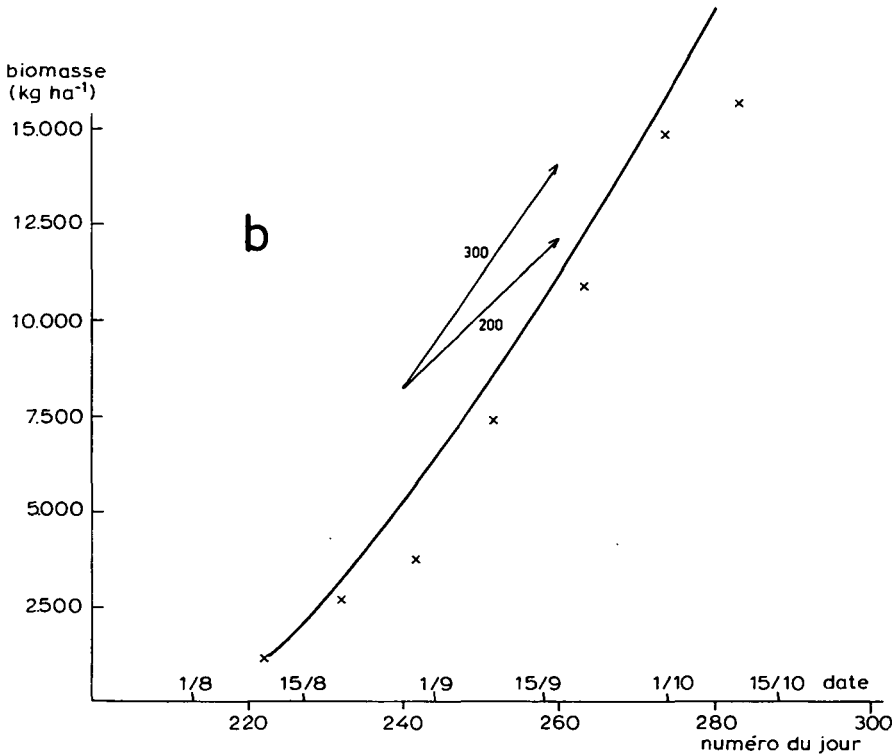
Fig. 4.2.1. La croissance du riz (a) et du maïs (b) dans des expériences dans des conditions optimales sur les terrains irrigués de la Station du Sahel à Niono en 1978. Les points (x) représentent les observations des poids des parties aériennes, les lignes représentent les simulations de croissance dans les mêmes conditions sans le mécanisme régulateur des stomates. Pour comparaison, les vitesses de croissance de 200 et 300 kg ha⁻¹ jour⁻¹ sont indiquées.



croissance. Ce petit modèle est le résultat des simplifications de modèles plus extensifs (Penning de Vries, 1982a). Il a été employé avec succès par Van Keulen (1976) pour simuler la croissance potentielle du riz. La matière sèche formée dans ce processus est distribuée aux organes des plantes.

Cette distribution n'est pas fixe dans le temps, mais suit une évolution bien définie au cours du développement des plantes. Au début, par exemple, on constate que la croissance est à peu près égale dans les racines et les feuilles, mais plus petite dans la tige. Plus tard, la croissance dans la tige est plus grande que celle des feuilles et racines ensemble et vers la fin du cycle de la plante on ne constate une croissance que dans les inflorescences et semences. Autrement dit, la croissance n'est pas la même dans tous les organes et n'est pas constante dans chaque organe. La fig. 4.2.2 illustre bien ce phénomène. L'état de développement, employé sur l'axe horizontal dans la figure, est défini comme la fraction de la période déjà couverte entre la germination et la maturation. La vitesse du progrès de l'état de développement est environ 0,01 jour⁻¹ dans cette période pour les céréales, mais elle est modifiée par la température et des fois aussi par la longueur du jour (voir partie 4.3.4.2).

Fig. 4.2.1. The growth of rice (a) and of maize (b) in experiments under optimal conditions on the irrigated land of the Station du Sahel at Niiono in 1978. The points (x) represent the observations of the weights of the aerial parts, the lines represent the simulations of growth under the same conditions without the regulatory mechanism of the stomata. For comparison, the growth rates of 200 and 300 kg ha⁻¹ day⁻¹ are indicated.



On discute d'abord les processus physiologiques de la croissance de façon plus détaillée (partie 4.2.2). Ensuite on présente brièvement un modèle compréhensif qui fait l'intégration de tels processus. Finalement on donne les résultats de la simulation de quelques expériences et l'on discute les données de base nécessaires pour de telles simulations (partie 4.2.3).

4.2.2 Processus physiologiques

La photosynthèse Exposées à la lumière, les feuilles assimilent du CO₂, et elles le convertissent en hydrates de carbone. La vitesse de ce processus de photosynthèse d'une culture dépend étroitement de l'intensité de la lumière solaire à laquelle les feuilles sont exposées. La raison en est que les feuilles individuelles assimilent plus vite quand l'intensité est plus grande et que la lumière aussi pénètre plus dans la végétation. Avec une technique standardisée on peut déterminer la vitesse d'assimilation de CO₂ des feuilles isolées, bien qu'il faille des instruments précis. Cependant, il est difficile de profiter de ces données pour calculer la vitesse d'assimilation de toute la culture: en effet il

Fig. 4.2.2. La distribution de l'augmentation de la biomasse parmi les organes des plantes au cours de leur développement. Les fractions sont données d'une manière cumulative. L'état de développement correspond à 0,0 à la germination, à 0,8 à la floraison et à 1,0 à la maturation. La forme générale de cette figure est valable pour les graminées et les céréales; les valeurs exactes ont été déterminées sur le ranch pour les espèces *Diheteropogon hagerupii* et *Schoenefeldia gracilis* en condition de production potentielle.

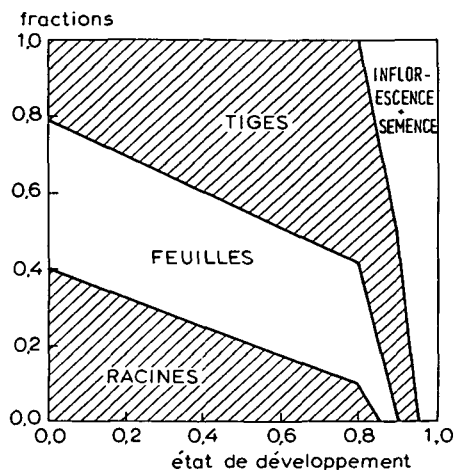


Fig. 4.2.2. The distribution of the increase in the biomass among the plants' organs during their development. The fractions are given cumulatively. The development stage corresponds to 0.0 at germination, 0.8 at flowering and 1.0 at maturity. The general form of this figure is valid for Gramineae and cereals; the exact values were determined on the ranch for the species *Diheteropogon hagerupii* and *Schoenefeldia gracilis* in a condition of potential production.

faut résoudre un problème géométrique difficile, parce que de la lumière est absorbée et réfléchiée par les feuilles en toutes directions, parce que les feuilles se trouvent dans de nombreuses positions différentes par rapport au plan horizontal et parce que le rapport entre la photosynthèse et l'intensité de la lumière n'est pas linéaire. Cependant, le problème a déjà été étudié à fond, et il est possible de calculer la photosynthèse de la culture, en se basant sur quelques caractéristiques des feuilles et des données météorologiques (Goudriaan et Van Laar, 1978a).

Il y a des fortes indications que les espèces naturelles dans des conditions optimales ont des vitesses de photosynthèse aussi élevées que les espèces cultivées depuis longtemps. C'est le cas pour le blé et ses ancêtres (Khan et Tsunoda, 1970), et cette affirmation est confirmée aussi dans notre recherche, où quelques graminées du Sahel étaient cultivées dans des chambres climatiques. Leurs vitesses de photosynthèse à des températures supérieures à 30 °C, présentées dans la fig. 4.2.3, sont bien comparables avec ce qu'on trouve en pareilles conditions pour les espèces cultivées, comme le maïs et l'herbe *Chloris gayana* (Van Laar et Penning de Vries, 1972), qui sont très productives. Il est donc évident que ce n'est pas une capacité basse de la photosynthèse des feuilles qui cause une croissance généralement plus lente des espèces naturelles en comparaison avec les espèces cultivées. Les valeurs de l'espèce *Andropogon Gayanus*, la seule pérenne dans la fig. 4.2.3 parmi les espèces observées, sont beaucoup plus basses que celles des autres à des températures élevées, ainsi que le *Cenchrus biflorus* à 40 °C. Nous estimons

Fig. 4.2.3. La vitesse de la photosynthèse des feuilles individuelles (en $\text{kg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ de feuille h^{-1}) à une intensité élevée de la lumière ($300 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) à des températures différentes de quelques graminées du Sahel, cultivées à 30°C sur une solution nutritive dans une chambre climatique. \times *Cenchrus biflorus*, Δ *Eragrostis tremula*, \circ *Pennisetum pedicellatum*, \square *Schoenefeldia gracilis*, ∇ *Andropogon Gayanus*.

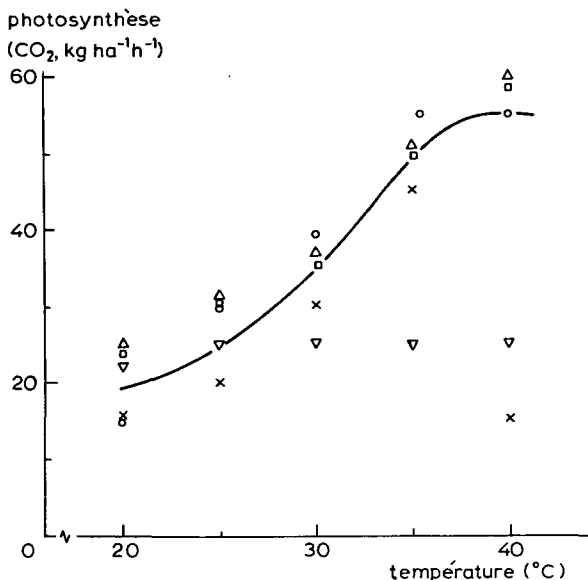


Fig. 4.2.3. The rate of photosynthesis of individual leaves (in $\text{kg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ of leaf h^{-1}) at an increased light intensity ($300 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) at different temperatures of some grasses of the Sahel raised at 30°C on a nutrient solution in a climatic chamber. \times *Cenchrus biflorus*, Δ *Eragrostis tremula*, \circ *Pennisetum pedicellatum*, \square *Schoenefeldia gracilis*, ∇ *Andropogon Gayanus*.

qu'il s'agit des artefacts, mais il n'y avait pas des observations successives pour le confirmer. Une preuve indirecte du fait que la capacité de la photosynthèse des végétations naturelles est aussi grande que celle des cultures agricoles, c'est l'observation qu'une végétation naturelle avec engrais pousse aussi avec une vitesse de $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jour}^{-1}$ ou plus (partie 4.5).

Malgré la similitude parmi les espèces des plantes du point de vue de la capacité de photosynthèse, il existe une distinction importante: il y a des espèces libellées C_3 et des espèces C_4 . Un livre comme celui de Larcher (1980) montre cette différence très clairement: le premier groupe des espèces possède un mécanisme biochimique de photosynthèse qui est connu depuis longtemps et dont le premier produit est une triose: une molécule avec 3 atomes de carbone. L'enzyme clé de ces espèces, qui forme 25-60% des protéines des feuilles, est la Ribulose-di-Phosphate carboxylase (RudPC-ase). L'autre groupe des espèces possède l'enzyme phospho-enol-pyruvate carboxylase en plus, qui rend la RudPC-ase plus efficace. Son premier produit est une molécule avec 4 atomes de carbone. Cette différence biochimique a des conséquences de longue portée: au niveau anatomique, et pour des caractéristiques de la photosynthèse: les espèces C_4 ont une vitesse maximale de photosynthèse environ 2x plus élevée que les espèces C_3 , et leur température optimale de la photosynthèse est au-dessus de 30°C , pendant que les espèces C_3 montrent un opti-

mum généralement entre 15 et 25 °C (mais pas toujours, voir Björkman et al., 1977). La différence entre les vitesses de croissance du riz (espèce du groupe C₃) et du maïs (du groupe C₄) dans les fig. 4.2.1 est causée en premier lieu par leur différence en type de photosynthèse.

L'importance de la distinction des groupes C₃ et C₄ ne se limite pas au niveau de production optimale, mais s'étend aussi au niveau de production B, où l'eau limite la production, parce que les espèces C₄ utilisent l'eau plus efficacement pour leur croissance que les espèces C₃ (voir partie 4.5). Même au niveau de production C et D, où l'azote ou le phosphore limite la production, il existe une différence entre les groupes, parce que les plantes C₄ peuvent utiliser ces éléments d'une manière plus efficace que les espèces C₃ pour croître (voir partie 5.2). Une liste des plantes des types C₃ et C₄ trouvées au Sahel est présentée dans le tableau 4.2.1.

Afin de pouvoir faire le calcul de la photosynthèse d'une culture ou d'une végétation, il est nécessaire de connaître la surface foliaire totale. La détermination de cette surface se fait souvent par analogie avec des valeurs déterminées dans des expériences similaires, parce que sa croissance est trop peu connue pour une bonne simulation. Cette procédure a été suivie ici. Le poids spécifique des feuilles est presque toujours entre 500 et 1.000 kg de matière sèche ha⁻¹ de feuilles (un côté).

Les résultats des calculs de la photosynthèse brute dans des conditions optimales d'une culture de riz, comme exemple d'une espèce C₃, et d'une culture de maïs, comme exemple d'une espèce C₄, sont présentés dans la fig. 4.2.4b. Pour une comparaison de l'effet du climat pendant l'année, les calculs sont faits chaque fois pour une biomasse de 6.000 kg ha⁻¹ et une surface foliaire de 4 ha ha⁻¹. La diminution de la photosynthèse de l'espèce C₃ aux mois d'avril et de mai est le résultat de la température de l'air qui dépasse la température optimale pour la photosynthèse.

Les processus hétérotrophes Les produits de la photosynthèse, surtout le glucose, sont destinés à fournir d'abord l'énergie nécessaire pour l'entretien des cellules. Environ un cinquième des produits de la photosynthèse est employé à cet effet, mais cette fraction dépend fortement de la température. La quantité de sucre utilisé pour l'entretien des plantes à 25 °C est calculée approximativement en multipliant le poids des plantes par une constante 0,015 g g⁻¹ jour⁻¹, et en multipliant le résultat par 2 pour une augmentation de 10 °C de la température moyenne du jour (De Wit et al., 1978).

Ce qui reste des produits de la photosynthèse est employé comme substrat pour la synthèse de biomasse donc pour la croissance. La biomasse est composée surtout d'hydrates de carbone (400-700 g kg⁻¹ poids sec), de protéines (100-250 g kg⁻¹) et de matière grasse (30-250 g kg⁻¹); les minéraux (50-100 g kg⁻¹), la lignine (environ 100 g kg⁻¹), et les acides organiques (20-50 g kg⁻¹) sont moins abondants. La formation des structures celluliques à partir du glucose a toujours un rendement plus grand que la production de protéine et de matière grasse (Penning de Vries et al., 1981):

1 g glucose → 0,83 g d'hydrates de carbone (polysaccharides)

1 g glucose → 0,62 g de protéine

1 g glucose → 0,33 g de graisses et huiles

Tableau 4.2.1. Classification des espèces principales du Sahel, basée sur leur mécanisme de photosynthèse: C₃ ou C₄. Les données ont été déterminées par une analyse anatomique des feuillés dans notre recherche (1), ou obtenues de la littérature: Downton, 1975 (2); Raghavendra et Das, 1978 (3); Downton et Tregunna, 1968 (4); Imbamba et Papa, 1979 (5).

		C ₃	C ₄	Source
I Herbacées naturelles::				
Graminées:	<i>Andropogon Gayanus</i>		x	1,2
	<i>Andropogon pseudapricus</i>		x	1
	<i>Aristida adscensionis</i>		x	2
	<i>Aristida funiculata</i>		x	1,3
	<i>Aristida mutabilis</i>		x	1
	<i>Cenchrus biflorus</i>		x	1,3
	<i>Cenchrus Prieurii</i>		x	3
	<i>Chloris pilosa</i>		x	3
	<i>Dactyloctenium aegyptium</i>		x	1,2
	<i>Diheteropogon hagerupii</i>		x	1
	<i>Echinochloa colona</i>		x	2
	<i>Echinochloa stagnina</i>		x	2
	<i>Eliomurus elegans</i>		x	1
	<i>Eragrostis tremula</i>		x	1,3
	<i>Pennisetum pedicellatum</i>		x	1,2
	<i>Schoenefeldia gracilis</i>		x	1
	<i>Tragus berteronianus</i>		x	3
Papilionacées: (Légumineuses)	<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	x		1
	<i>Cassia mimosoides</i>	x		1
	<i>Cassia Tora</i>	x		1
	<i>Indigofera astragalina</i>	x		1
	<i>Stylosanthes gracilis</i>	x		1
	<i>Stylosanthes humilis</i>	x		1
	<i>Zornia glochidiata</i>	x		1
Autres herbacées:	<i>Blepharis linariifolia</i>		x	1,5
	<i>Borreria chaetocephala</i>	x		1
	<i>Borreria radiata</i>	x		1
	<i>Borreria stachydea</i>	x		1
	<i>Evolvulus alsinoides</i>		x	2
	<i>Gisekia pharmacioides</i>		x	2
	<i>Gynandropsis gynandra</i>		x	3,5
	<i>Gynandropsis pentaphylla</i>		x	3
	<i>Polycarpha corymbosa</i>		x	2
	<i>Portulaca oleracea</i>		x	2
	<i>Tribulus terrestris</i>		x	1,2,5
II Cultures agricoles:				
Graminées:	<i>Chloris gayana</i> (Rhodes grass)		x	1,2
	<i>Digitaria exilis</i> (fonio)		x	1
	<i>Pennisetum typhoides</i> (petit mil)		x?	
	<i>Riza sativa</i> (riz)	x		4
	<i>Saccharum officinarum</i> (canne à sucre)		x	2
	<i>Sorghum vulgare</i> (gros mil)		x	2
	<i>Triticum sativa</i> (froment)	x		4
	<i>Zea mays</i> (maïs)		x	2
Papilionacées: (Légumineuses)	<i>Arachis hypogaea</i> (arachide)	x?		
	<i>Vigna unguiculata</i> (niébé)	x?		

Table 4.2.1. Classification of the main Sahel species, based on their mechanism of photosynthesis: C₃ or C₄. The data were determined during our research by an anatomical analysis of the leaves (1), or obtained from the literature: Downton, 1975 (2); Raghavendra and Das, 1978 (3); Downton and Tregunna, 1968 (4); Imbamba and Papa, 1979 (5).

Fig. 4.2.4. Quelques caractéristiques du climat (a), et de la photosynthèse (b), de la transpiration (c) et le rapport transpiration/photosynthèse (d) d'une culture de riz (comme exemple d'une espèce C_3) et du maïs (comme exemple d'une espèce C_4) au cours d'une année. Le climat est caractérisé par le niveau de la radiation totale et globale (+), la température maximale (x) et minimale (o), l'humidité de l'air (Δ , exprimé comme la température d'une bulbe mouillée), et la longueur du jour à Niono (\square). Les fig. b, c, et d sont calculées avec le modèle BACROS pour une culture standardisée à 6.000 kg ha⁻¹ et un index foliaire de 4 ha ha⁻¹. Les simulations ont été faites pour des plantes avec un mécanisme régulateur des stomates (+), et pour des plantes sans ce mécanisme (-).

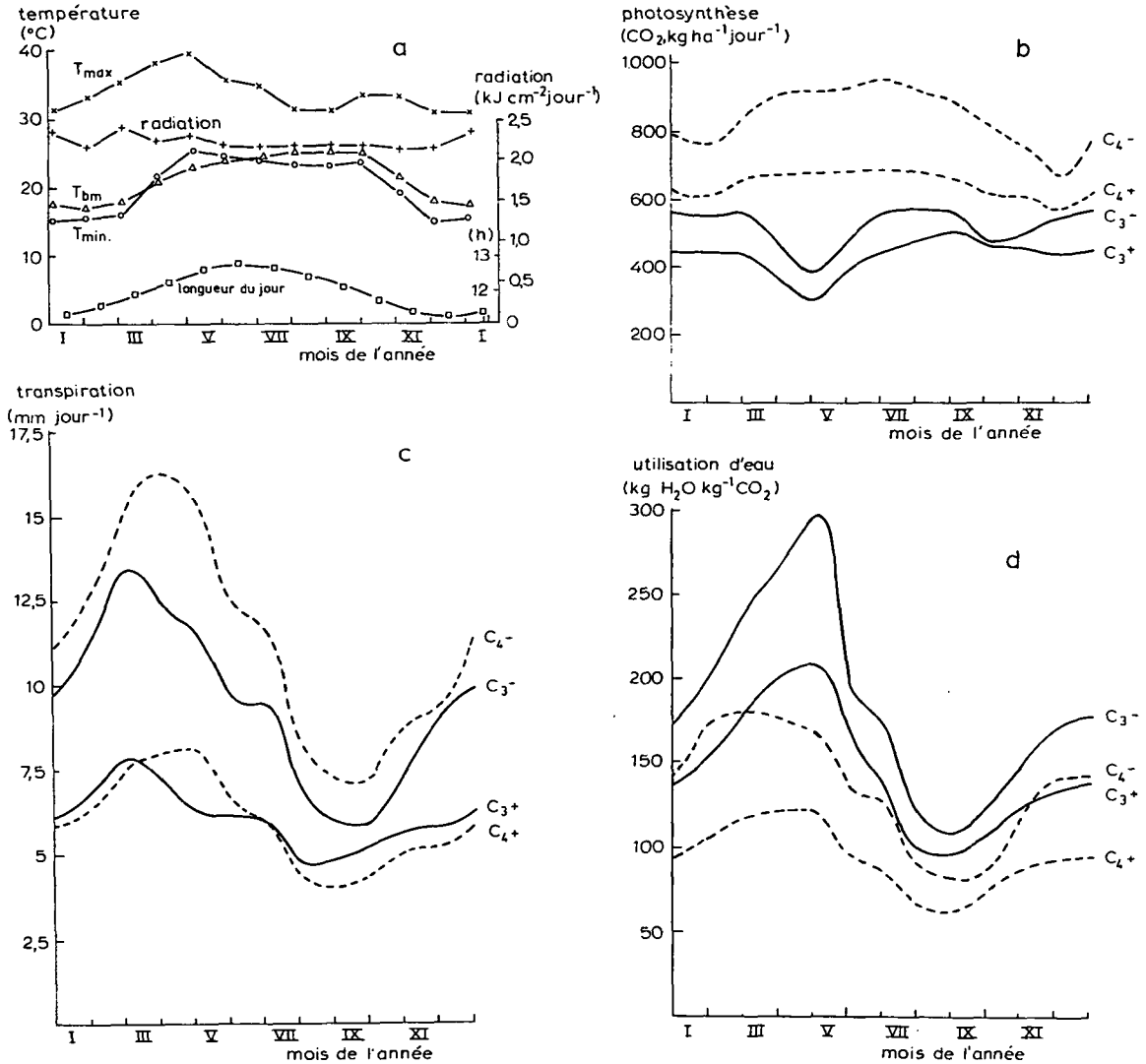


Fig. 4.2.4. Some characteristics of the climate (a), the photosynthesis (b), the transpiration (c) and the relation transpiration/photosynthesis (d) of a culture of rice (as an example of a C_3 species) and of maize (as an example of a C_4 species) during one year. The climate is characterized by the level of total global radiation (+), maximum (x) and minimum (o) temperature, air humidity (Δ , expressed as the wet bulb temperature), and the day length at Niono (\square). The fig. b, c, and d were calculated using the BACROS model for a culture standardized at 6000 kg ha⁻¹ and a foliar index of 4 ha ha⁻¹. The simulations were done for plants with a regulatory mechanism of stomata (+), and for plants without this mechanism (-).

1 g glucose → 0,47 g de lignine

1 g glucose → 1,10 g d'acides organiques

L'absorption des minéraux, exige de l'énergie d'environ 0,1 g glucose g^{-1} de minéraux. Ainsi il est clair qu'en cas de croissance optimale, quand le niveau énergétique limite la croissance, la composition chimique de la biomasse formée détermine fortement le rendement du processus de croissance. Par conséquent, le rendement de la conversion du substrat en biomasse est environ 0,7 pour la biomasse végétative, environ 0,75 pour les grains de maïs et riz, mais seulement 0,5 pour les fruits de l'arachide.

Ces rendements par groupe de composants chimiques sont indépendants de la température, et ils sont les mêmes pour toutes les espèces végétales. Par contre, la composition de la biomasse n'est pas la même pour toutes les espèces: surtout dans la phase reproductive il y a de grandes différences dans cette composition (Penning de Vries et al., 1981).

Il n'est pas nécessaire de considérer le processus de respiration à part, parce qu'elle est un phénomène secondaire: il s'agit du CO_2 qui s'échappe pendant les processus de croissance et d'entretien.

La transpiration La capacité d'une culture d'absorber suffisamment d'eau pour la transpiration dépend de la quantité de racines présentes. La croissance des racines est donc réglée par les plantes de telle façon que cette quantité est toujours adaptée raisonnablement aux circonstances climatiques.

Pour connaître les besoins en eau des cultures, on peut calculer la transpiration. La transpiration est un phénomène qui a beaucoup en commun avec la photosynthèse. De l'eau s'évapore de toutes les feuilles. La vitesse de transpiration dépend de la radiation absorbée, de l'ouverture des stomates et de l'humidité relative de l'air. La vitesse du vent influence la transpiration aussi, parce qu'avec peu de vent, il y a de l'air humide qui s'accumule en bas dans la culture, ce qui réduit la transpiration. Cette couche d'air humide se développe moins lorsqu'il y a du vent. La transpiration journalière pendant une année d'une culture standardisée est présentée dans la fig. 4.2.4c.

Un aspect de la transpiration des cultures mérite une attention particulière: la résistance des stomates. Cet aspect est bien intéressant, et a des conséquences énormes pour l'utilisation d'eau, et ainsi pour l'économie des cultures irriguées et non-irriguées. On a constaté que beaucoup de plantes règlent l'ouverture de leurs stomates de telle sorte que la concentration de CO_2 dans leurs cavités est plus ou moins constante (Goudriaan et Van Laar, 1978b). Ceci implique que quand la photosynthèse est intensive les stomates s'ouvrent au maximum, mais si la photosynthèse est nulle, les stomates se ferment complètement. De cette façon, la photosynthèse détermine l'ouverture des stomates, et ainsi la transpiration. Si ce mécanisme régulateur est opérationnel, l'efficacité d'utilisation d'eau pour la photosynthèse est optimale. Pourtant, le mécanisme n'est pas opérationnel dans tous les cas, parce qu'il y a aussi un désavantage: la résistance stomataire sans régulation (environ 0,2 $s\ cm^{-1}$) est encore plus basse que la résistance minimale des stomates avec régulation (environ 0,5 $s\ cm^{-1}$). La cause n'est pas très claire, mais la conséquence est évidente: la vitesse maximale de photosynthèse des végé-

tations sans régulation dépasse celle des végétations avec une efficacité optimale de l'utilisation de l'eau. Les cultures de l'expérience présentées dans la fig. 4.2.1 contenaient des plantes sans régulation: nous l'avons mesuré d'une façon directe, et ensuite confirmé par comparaison des résultats expérimentaux avec ceux obtenus avec le modèle à simuler BACROS (partie 4.2.3). Il est tentant de supposer que les éléments structuraux de ce mécanisme sont présents dans tous les stomates dès la germination, et qu'il leur faut un manque d'eau temporaire pour les activer. Dans les expériences de la fig. 4.2.1 avec le riz et le maïs, il n'y avait pas un tel manque d'eau. Sur le ranch, il est très probable que pendant la période de croissance un tel manque se présente, et ainsi le mécanisme fonctionne probablement presque toujours dans les conditions naturelles. L'aspect important de ce mécanisme a été reconnu trop tard dans le projet pour lui donner toute l'attention qu'il mérite. Les fig. 4.2.4b, c, et d donnent les résultats des calculs avec (+) et sans (-) ce mécanisme opérationnel.

S'il n'y a pas assez d'eau dans le sol, les stomates se ferment, réduisant simultanément la transpiration et la photosynthèse. Le rapport transpiration/photosynthèse reste encore plus ou moins constant. Ceci est aussi valable pour toutes les espèces (De Wit, 1958; Lof, 1976). Mais ce rapport n'est pas le même chez les plantes C_3 et les plantes C_4 : les plantes C_3 ont, en général des rapports 2x plus élevés que les plantes C_4 . Le rapport transpiration/photosynthèse pendant une année pour des cultures de plantes C_3 et C_4 est présenté dans la fig. 4.2.4d. La variation de la transpiration pendant l'année est assez grande; la transpiration relativement basse pendant la saison pluvieuse est la plus importante pour la transpiration des pâturages naturels. La grande différence entre des espèces avec un mécanisme régulateur ou sans ce mécanisme souligne l'importance qu'il y a à déterminer sur le terrain si ce mécanisme est opérationnel ou non.

Une fois que le rapport photosynthèse/transpiration d'une espèce a été déterminé, on pourra l'appliquer aux niveaux de production potentielle. Le rapport doit être corrigé pour des conditions climatiques seulement (fig. 4.2.4c). Les exceptions à cette règle sont les plantes dans des conditions sans manque d'eau et sans mécanisme régulateur des stomates. Nous n'avons trouvé qu'une espèce de ce type: *Borreria stachydea*. Cependant, il sera utile lors de prochaines études détaillées de l'utilisation d'eau, de déterminer si ce mécanisme est vraiment opérationnel, parce que sa généralité est encore trop peu confirmée. En ce qui concerne la régulation des stomates aux niveaux de production C et D, voir la partie 5.2.6.

4.2.3 Un modèle à simuler et son évaluation

On a fait l'intégration des connaissances sur la photosynthèse, la transpiration, les processus d'entretien et la croissance dans un grand modèle à simuler, nommé BACROS. Ce modèle compréhensif est le résultat d'une étude approfondie d'un groupe de chercheurs qui s'étend sur une dizaine d'années. Ce modèle a été décrit en détail et documenté et évalué pour des zones tempérées (De Wit et al., 1978, Penning de Vries et Van Laar, 1982). Dayan et al. (1978) l'ont employé pour des conditions méditerranéennes. Les calculs de ce modèle sont très détaillés, et ils simulent tous les processus pour chaque heure d'une saison de croissance.

Tableau 4.2.2. Liste des variables à spécifier pour l'utilisation du modèle BACROS. Les variables de la catégorie 1 doivent toujours être fournies. Celles de la catégorie 2 doivent être ajoutées si on simule des expériences spécifiques. Les variables de la catégorie 3 sont nécessaires comme données supplémentaires pour des simulations précises.

Catégorie	Plante	Météo	Divers
1	mécanisme de photosynthèse C ₃ ou C ₄ régulation des stomates effective ou non largeur des feuilles	par jour: radiation totale globale; température et humidité de l'air maximale et minimale approximativement; vent, approximativement	latitude, période de croissance végétative
2	croissance de la surface totale des feuilles et poids sec des plantes à quelques stades d'une expérience similaire	-	-
3	effet de la température sur la photosynthèse; relation entre la résistance stomataire et le contenu relatif en eau; hauteur des plantes; la composition chimique	température, humidité et vent plus précis qu'en catégorie 1; constantes de la formule de la radiation des ondes longues	-

Table 4.2.2. List of variables to be specified for the utilization of the BACROS model. The variables from category 1 must always be provided. Those from category 2 must be added if specific experiments are simulated. The variables from category 3 are needed as supplementary data for accurate simulations.

Le modèle BACROS a été évalué déjà en zones tempérées (De Wit et al., 1978), mais pas encore dans des conditions tropicales. C'est pourquoi on a fait des expériences et des simulations de la croissance dans des conditions tropicales. Les expériences ont été exécutées sur le terrain irrigué de la Station du Sahel à Niono en 1978 et 1979 avec le riz, le maïs et le Rhodes grass (*Chloris gayana*). Les doses d'engrais appliqué étaient très élevées et les cultures étaient très bien entretenues. Les résultats de 2 expériences et leurs simulations sont présentés dans la fig. 4.2.1. En général, la similitude entre simulation et expérience est grande, et il n'y a pas lieu de penser que le modèle contient des erreurs graves. La transpiration n'a pas été mesurée à Niono.

Afin de pouvoir faire des calculs détaillés à l'aide du modèle BACROS, il faut un certain nombre de données de base qui caractérisent les plantes et le climat. Plus le nombre de ces données est grand, plus les résultats de la simulation seront précis. Le tableau 4.2.2 donne une spécification du type et de l'exactitude de ces données de base pour les différents niveaux d'exactitude du résultat final. Ce sont uniquement les données des catégories 1, 2 et 3 qui ont été spécifiées pour les simulations de la fig. 4.2.1.

Dans beaucoup de cas il serait trop compliqué d'utiliser tout le modèle, notamment quand on n'a besoin que des résultats approximatifs ou quand on n'a pas de données exactes sur le climat ou sur les circonstances météorologiques. Dans ces cas on peut calculer approximativement la vitesse de croissance potentielle et la transpiration des cultures dans un climat sahélien à l'aide des données de la fig. 4.2.4. Ces données ont été calculées à l'aide du modèle BACROS. Par application de la formule pour la croissance donnée ci-dessus avec des précisions de l'énergie pour l'entretien et l'efficacité de conversion, on pourra calculer la croissance d'une culture en utilisant les données de photosynthèse de la fig. 4.2.4 et celles de la répartition de la biomasse de la fig. 4.2.2. Le modèle simple, présenté dans la partie 4.6, le montre.

4.3 LE POTENTIEL BOTANIQUE DES PATURAGES

4.3.1 Introduction

La détermination du fourrage disponible doit tenir compte de la composition floristique des pâturages, qui co-détermine la quantité et la qualité du fourrage disponible. Pour comprendre, par la voie de la simulation, pourquoi une certaine production a été réalisée, il n'est pas possible de négliger les caractères des espèces. Il faut au moins savoir si elles ont une photosynthèse du type C_3 ou C_4 et il faut connaître leur période de croissance (partie 4.2). Et ce n'est pas seulement la biomasse qui intéresse, mais aussi la qualité, l'appétibilité et l'évolution de ces 3 propriétés au cours des saisons. Tous des arguments pour porter l'attention sur la composition floristique des pâturages.

4.3.2 Composition floristique

On distingue au Sahel plusieurs zones climatiques avec leurs propres végétations, encore bien variables à cause des facteurs édaphiques (partie 3.4). Cependant il ne suffit pas dans le cadre de cette étude de se limiter à présenter par zone une liste des