

dégagement du P continue plus au moins avec la même vitesse pour plusieurs années et enrichit donc lentement les formes de P-organique du sol et souvent la productivité. La récupération du P (PNT) après une longue période est probablement élevée. Le TSP non-absorbé est transformé en PIS et en PIL (ou est déjà sous une telle forme). Pour savoir sa destination, il est important de comparer la dose appliquée et la quantité minimale de PIS au dessus PIS est transformée en la forme très stable, le PIM (partie 5.4.2). Beek (1979) a déterminé que cette valeur minimale est égale à  $22 \text{ kg ha}^{-1}$ . Si cette valeur est applicable aux sols sahéliens, seulement une dose de P (TSP) de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  permet d'atteindre ce seuil: les doses en dessous restent complètement sous les formes PIL + PIS ou transformées en POL et en POS via les microbes, mais ce qui est donné en dessus de cette dose transformée vite en PIM est immobilisé pour longtemps. Il nous semble important de vérifier cette valeur de PIS minimale pour les conditions sahéliennes: l'hauteur de ce seuil a de grandes conséquences pour l'intensité et la fréquence de fertilisation. Nous suggérons de faire plus de recherches à ce sujet.

## 5.5 UN MODELE SIMPLE DE LA PRODUCTION ACTUELLE

### 5.5.1 Introduction

Le schéma, présenté ci-dessous, a une structure semblable au schéma pour la production potentielle dans la partie 4.6. Néanmoins il y a une différence. Nous avons vu, dans cette partie 5.3, que la fertilité du sol et surtout la disponibilité de l'azote inorganique ( $N_{\text{inorg}}$ ) et du phosphore inorganique ( $P_{\text{inorg}}$ ) en relation avec les caractéristiques du climat et du sol, sont difficiles à quantifier. En plus le 'timing' du dégagement de N et des minéraux et les quantités de ces éléments absorbées par les plantes sont difficiles à traduire en vitesse de croissance. Donc, même encore plus que la partie 4.6, ce modèle ne sert pas à prédire la production actuelle mais plutôt à expliquer la croissance actuelle comme nous l'avons observée au ranch de Niono, dans la partie sud du Sahel. Le schéma est basé sur les données de 2 expériences en 1977 sur un sol sablonneux (fig. 5.5.1) et sur un sol argileux (fig. 5.5.2) au ranch de Niono. L'expérience sur le sable était déjà partiellement rapporté dans la fig. 5.2.16. Les parties B de ces figures étaient déjà rapportées, sous une forme légèrement différente, dans la fig. 5.3.3. Toutes les données concernant ces expériences en 1977 sont rassemblées ici parce qu'elles jouent un rôle important dans l'explication du modèle qui suit. Nous ne prétendons pas que ces données, concernant la disponibilité de N et de P et l'absorption de N et de P par les plantes, sont valables ailleurs aussi. Cela signifie que nous ne pouvons pas utiliser ce schéma pour un autre endroit ou pour une autre année, sans mesurer de nouveau la disponibilité de N et de P et l'absorption de N et de P par les plantes à cet endroit et pendant cette année. Donc, comme déjà dit, ce schéma sert à une intégration de nos connaissances et hypothèses pour que nous obtenons une meilleure compréhension de l'influence de la fertilité du sol sur la production actuelle.

Le calcul présenté ici est une suite du calcul de la production potentielle comme présenté dans la partie 4.6. Il faut faire ce calcul tout d'abord parce qu'on a besoin des résultats à l'exécution du calcul qui suit. Le calcul est schématisé dans la fig. 5.5.3.

Fig. 5.5.1. Production actuelle sur un sol sablonneux en 1977 à Niono.

A: \* biomasse calculée avec le modèle simple expliqué dans la partie 5.5.

• biomasse (kg ha<sup>-1</sup>)

o N dans les plantes (kg ha<sup>-1</sup>) mesuré

x P dans les plantes (kg ha<sup>-1</sup>)

B: N<sub>total</sub> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans les plantes + sol et NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dans le sol dans l'expérience présentée à la partie A.

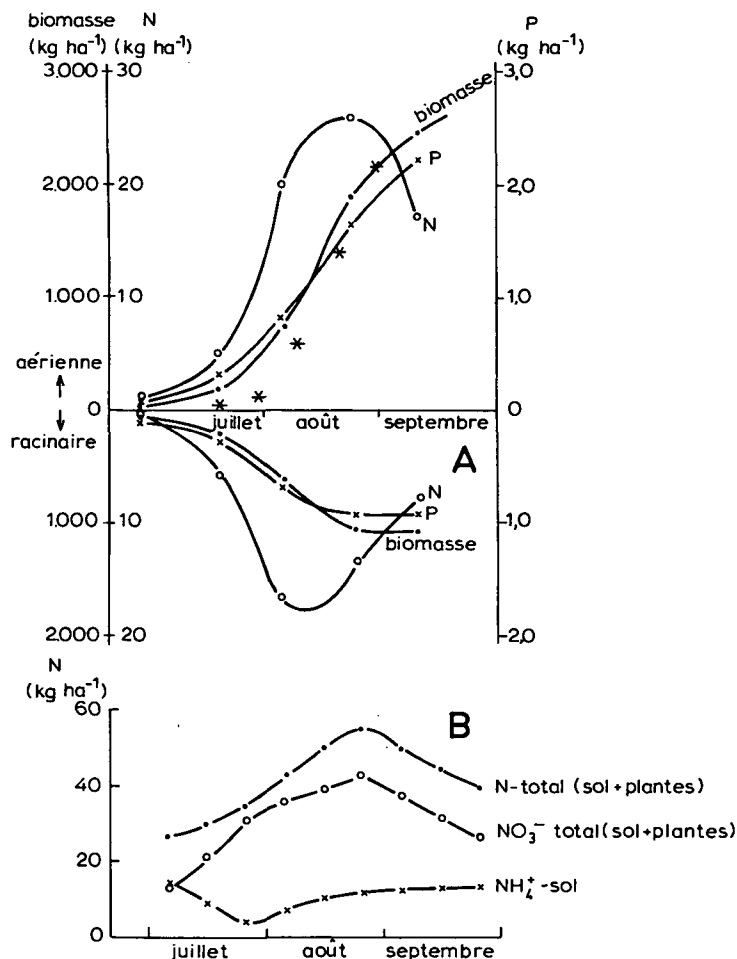


Fig. 5.5.1. Actual production on a sandy soil in 1977 at Niono.

A: \* biomass calculated with the simple model explained in part 5.5.

• biomass (kg ha<sup>-1</sup>)

o N in the plants (kg ha<sup>-1</sup>) measured

x P in the plants (kg ha<sup>-1</sup>)

B: N<sub>total</sub> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in the plants + soil and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> in the soil in the experiment presented in part A.

Au début de chaque décade, il faut déterminer la disponibilité de N et de P dans le sol (N<sub>disp</sub> et P<sub>disp</sub>). En plus il faut déterminer les quantités de N et de P, qui peuvent être absorbées par la végétation durant cette décade (N<sub>max</sub> et P<sub>max</sub>). Ces quantités plus les quantités totales de N et de P déjà absorbées pendant les décades précédentes (ΣN<sub>B</sub>(act)

Fig. 5.5.2. Production actuelle sur un sol argileux en 1977 à Niono. Explication: voir fig. 5.5.1.

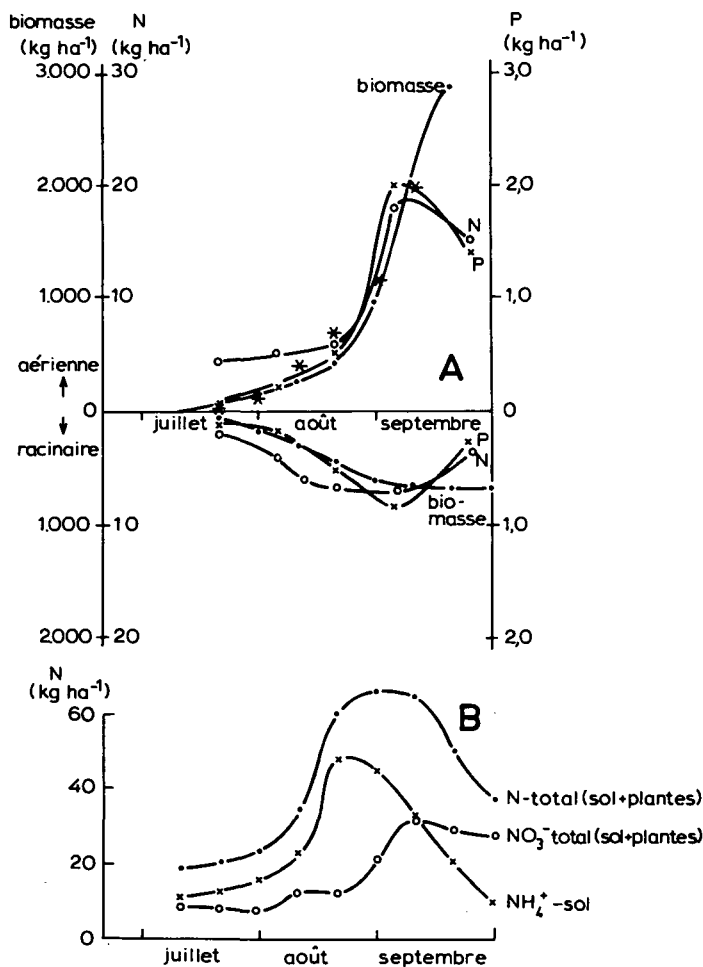


Fig. 5.5.2. Actual production on a clayey soil in 1977 at Niono. Explanation see fig. 5.5.1.

et  $\Sigma P_B(\text{act})$  donnent  $\Sigma N_{\text{max}}$  et  $\Sigma P_{\text{max}}$  dans les plantes. Avec ces quantités nous pouvons calculer le rapport  $(P/N)_{\text{max}} (= \Sigma P_{\text{max}} / \Sigma N_{\text{max}})$ . Le rapport P/N peut varier entre 0,04 et 0,15. Si le rapport P/N est  $>0,15$ , il y a un manque relatif de N. Cela veut dire que l'absorption de P sera limitée (moins que l'absorption maximale) par l'absorption de N. L'absorption actuelle de P est calculée avec la formule indiquée dans la fig. 5.5.3. Si le rapport P/N est  $<0,04$ , il y a un manque relatif de P, ce qui veut dire que l'absorption de N sera limitée (moins que l'absorption maximale) par l'absorption de P. L'absorption actuelle de N est calculée avec la formule indiquée dans la fig. 5.5.3. Si le rapport P/N est  $>0,04$  l'absorption actuelle de N est maximale ( $N_{\text{act}} = N_{\text{max}}$ ). Les quantités actuelles de l'absorption de N et de P nous donnent les quantités totales de N et de P dans les plantes. Ces quantités limitent la croissance possible dans la décade parce que la crois-

Fig. 5.5.3. Schéma du calcul de la production actuelle.

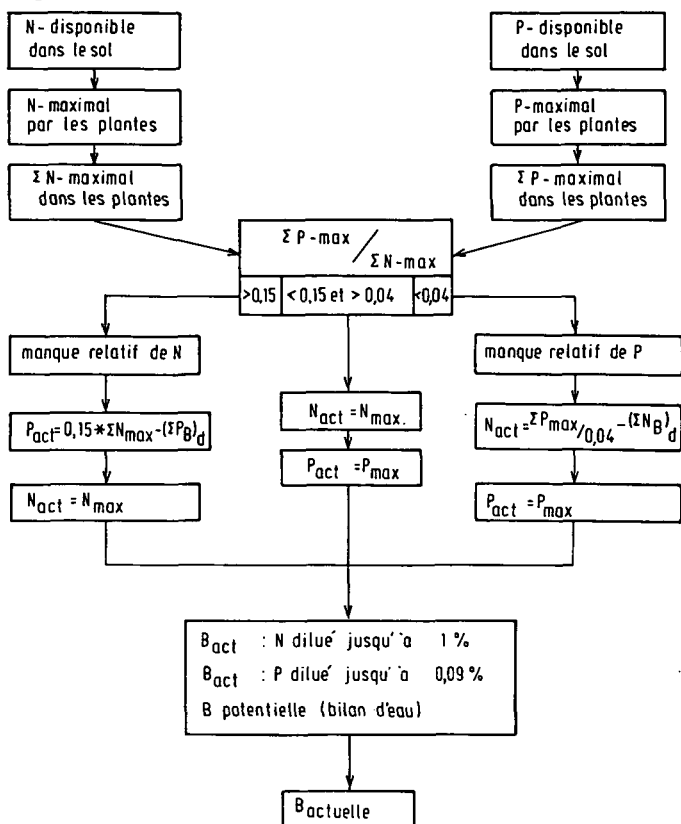


Fig. 5.5.3. Scheme of the calculation of the actual production.

sance ne peut jamais être telle que N et P sont dilués au-dessous des taux minimaux (voir fig. 5.2.5). Naturellement la croissance ne peut pas non plus être supérieure à la croissance potentielle dans la décade. Cette croissance potentielle est déterminée par le bilan d'eau du sol et doit être calculée avec le schéma présenté à la partie 4.6. Si la croissance est limitée à cause du fait que le taux de N ou de P atteint sa valeur minimale, on parle d'un manque absolu de N ou de P.

### 5.5.2 L'explication du calcul

L'explication du calcul se fait à l'aide d'exemples. Les tableaux 5.5.1 et 5.5.2 donnent les calculs de la production actuelle des champs identiques que nous avons présentés à la partie 4.6, sur le sable et l'argile, l'année 1977. Les calculs sont arrêtés au moment de la floraison, parce qu'à ce moment on constate une diminution des quantités de N et souvent aussi de P dans les plantes. Nos hypothèses pour cette diminution ne sont que qualitatives et ne pouvaient pas être incluses dans ce schéma de calcul. L'explication est encore assez brève. Le lecteur est invité, comme dans la partie 4.6, à exécuter les

Tableau 5.5.1. Calcul de la production actuelle sur un sol sablonneux.  
 Espace non rempli: valeur égale à zéro ou non applicable.  
 Année: 1977, Champs: S2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Déc	$\Sigma P_1$	$\Sigma N_t$	$\Sigma NO_3^-$	$B_{A+R}$	$\Sigma B_{A+R}$	$B_R$	$\Sigma B_R$	$B_A$	$\Sigma B_A$	$N_{disp}$	$P_{disp}$	$P_{max}$	$N_{max}$	$\Sigma N_{max}$	$\Sigma P_{max}$	$\frac{\Sigma P_{max}}{\Sigma N_{max}}$	$N_{act}$	$\Sigma N_B$	$\% N_B$	$P_{act}$	$\Sigma P_B$	$\% P_B$	$P/N$
juin 1																							
juin 2																							
juin 3																							
juillet 1	70	27	13,0		plantules										semences								
juillet 2	84	30	22,0		(36)		(18)		(18)					(0,35)	(0,10)			(0,35)			(0,10)		
juillet 3	126	35	30,0	177	213	88	106	89	107	29,65	8,65	0,13	29,65	30,0	0,23	0,01	5,4	5,75	2,7	0,13	0,23	0,11	0,04
août 1	187	43	36,0	943	1.156	472	578	472	579	30,25	8,92	0,81	30,25	36,0	1,04	0,03	20,25	26,0	2,3	0,81	1,04	0,09	0,04
août 2	277	50	39,5	1.425	2.581	612	1.190	813	1.392	13,5	8,46	1,28	13,5	39,5	2,32	0,06	13,5	39,5	1,5	1,28	2,32	0,09	0,06
août 3	311	55	43,0	875	3.456	110	1.300	765	2.157	3,5	7,43	0,79	3,5	43,0	3,11	0,07	3,5	43,0	1,2	0,79	3,11	0,09	0,07
septembre 1	367	50	37,5																				
septembre 2	370	45	32,0																				
septembre 3	376	40	26,5																				

Table 5.5.1. Calculation of the actual production on a sandy soil.  
 Blank space: value equal to zero or in applicable.  
 Year: 1977, Field: S2.

Tableau 5.5.2. Calcul de la production actuelle sur un sol argileux.  
 Espace non rempli: valeur égale à zéro ou non applicable.  
 Année: 1977, Champs: D1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Déc	$\Sigma P_1$	$\Sigma N_t$	$\Sigma NO_3^-$	$B_{A+R}$	$\Sigma B_{A+R}$	$B_R$	$\Sigma B_R$	$B_A$	$\Sigma B_A$	$N_{disp}$	$P_{disp}$	$P_{max}$	$N_{max}$	$\Sigma N_{max}$	$\Sigma P_{max}$	$\frac{\Sigma P_{max}}{\Sigma N_{max}}$	$N_{act}$	$\Sigma N_B$	$\% N_B$	$P_{act}$	$\Sigma P_B$	$\% P_B$	$P/N$
juin 1																							
juin 2																							
juin 3																							
juillet 1	56	19	8,0																				
juillet 2	80	21	8,0	42	78	21	39	21	39	7,7	8,02	0,04	7,7	8,0	0,07	0,01	1,45	1,75	2,2	0,04	0,07	0,09	0,04
juillet 3	114	24	8,0	144	222	72	111	72	111	6,25	8,13	0,13	6,25	8,0	0,20	0,03	3,25	5,0	2,3	0,13	0,20	0,09	0,04
août 1	145	35	12,0	578	800	289	400	289	400	7,0	8,55	0,52	7,0	12,0	0,72	0,06	7,0	12,0	1,5	0,52	0,72	0,09	0,06
août 2	290	60	13,0	500	1.300	250	650	250	650	1,0	9,28	0,63	1,0	13,0	1,35	0,10	1,0	13,0	1,0	0,63	1,35	0,10	0,10
août 3	317	66	21,0	800	2.100	390	1.040	410	1.060	8,0	8,95	0,96	8,0	21,0	2,31	0,11	8,0	21,0	1,0	0,96	2,31	0,11	0,11
septembre 1	374	65	32,0	1.100	3.200	260	1.300	840	1.900	11,0	7,94	0,93	11,0	32,0	3,24	0,10	11,0	32,0	1,0	0,93	3,24	0,10	0,10
septembre 2	377	50	29,0																				
septembre 3	383	38	27,5																				

Table 5.5.2. Calculation of the actual production on a clayey soil.  
 Blank space: value equal to zero or inapplicable.  
 Year: 1977, Field: D1.

calculs lui-même et à se familiariser ainsi avec ce schéma par essai et erreur. Le calcul commence la décade de la germination par la colonne 1. Cette décade est déterminée par le bilan d'eau du sol et peut être trouvée à l'aide du schéma dans la partie 4.6. Le calcul continue jusqu'à la colonne 24; après on recommence par la prochaine décade. L'ordre des colonnes suit de près le schéma de la fig. 5.5.3. Par exemple, dans les colonnes 13 jusqu'à 17 incluses, on calcule des termes sur la base d'une absorption maximale (c'est-à-dire théoriquement possible) de N et de P. Après avoir appliqué le critère que le rapport P/N doit rester toujours entre ces 2 limites, on calcule l'absorption actuelle. Dans ce qui suit on explique le calcul colonne par colonne et on se réfère souvent aux conclusions, aux figures et aux tableaux des chapitres précédents. C'est là où l'on trouve la base avec tous les détails des considérations en question.

Colonne	Abré- viation	Signification et instructions pour le calcul
1	Déc	La décade considérée.
2	$\Sigma P_1$	La pluviosité totale jusqu'à la décade considérée incluse. Nous obtenons ces chiffres par les données pluviométriques.
3	$\Sigma N_t$	$N_{inorg}$ total jusqu'à la décade considérée incluse, dans les plantes et le sol. Il paraît de nos expériences (voir fig. 5.3.4) que $\Sigma N_t$ est fortement lié à $\Sigma P_1$ et est une fonction linéaire de $\Sigma P_1$ jusqu'à la floraison. Cela n'est pas étonnant, parce que la minéralisation, la fixation de N et le N contenu dans la pluie sont liés à la pluviosité (voir partie 5.3.2.1). Pour le calcul dans les exemples nous utilisons les données d'expériences, c'est-à-dire les points qui sont indiqués dans la fig. 5.3.4.
4	$\Sigma NO_3^-$	$N_{inorg}$ total sous forme de $NO_3^-$ jusqu'à la décade considérée incluse, dans les plantes et le sol. Il apparaît que la croissance est liée à la quantité de $NO_3^-$ dans le sol plutôt qu'à la quantité totale de $N_{inorg}$ ( $NO_3^- + NH_4^+$ ), parce que les plantes absorbent le N surtout sous forme de $NO_3^-$ . Dans la fig. 5.3.4 nous voyons que $\Sigma NO_3^-$ n'est pas lié à $\Sigma P_1$ . Il faut signaler que l'évolution de $\Sigma NO_3^-$ sur le sable est différent de l'évolution de $\Sigma NO_3^-$ sur l'argile. Dans la figure nous voyons que $NH_4^+$ dans le sol sablonneux est nitrifié en $NO_3^-$ plus tôt et en plus grande quantité que dans le sol argileux. Nous ne sommes pas sûrs de la cause de cet effet; c'est probablement l'hydromorphie du sol argileux qui freine la nitrification. Nous ne savons pas si ces évolutions de $NO_3^-$ se répéteront de la même manière à un autre endroit ou pendant une autre année. Cela est une des raisons pour laquelle ce schéma de calcul n'est pas valable à d'autres endroits ou pendant d'autres années. Pour les calculs des exemples, nous devons utiliser les données telles que nous les avons mesurées sur le terrain (voir fig. 5.3.4).
5	$B_{A+R}$	L'augmentation de la matière sèche de la biomasse totale (aérienne et

racinaire) en  $\text{kg ha}^{-1}$  pendant la décade considérée. La croissance sera potentielle au début de la saison. C'est-à-dire la croissance sera déterminée par le bilan d'eau du sol. Donc, nous pouvons déterminer avec le schéma de calcul de la partie 4.6, la décade de germination et  $B_{A+R}$  dans cette décade. Si le taux de N ou de P devient inférieur aux taux minimaux,  $B_{A+R}$  est déterminé par les quantités totales absorbées de N et de P (voir colonnes 19 et 22).

- 6  $\Sigma B_{A+R}$  La biomasse aérienne et racinaire cumulative jusqu'à la décade considérée incluse.
- 7  $B_R$  L'augmentation de la biomasse racinaire pendant la décade considérée. Il faut suivre les instructions de la colonne 18 du schéma pour calculer la production potentielle, de la partie 4.6.
- 8  $\Sigma B_R$  La biomasse racinaire cumulative jusqu'à la décade considérée incluse.
- 9  $B_A$  L'augmentation de la biomasse aérienne pendant la décade considérée:  

$$B_A = B_{A+R} - B_R \quad (\text{kg ha}^{-1})$$
- 10  $\Sigma B_A$  La biomasse aérienne cumulative jusqu'à la décade considérée incluse.
- 11  $N_{\text{disp}}$  La quantité de N sous forme de  $\text{NO}_3^-$ , qui est disponible pour la croissance pendant la décade considérée:  

$$N_{\text{disp}} = \Sigma \text{NO}_3^- - (\Sigma N_B)_d \quad (\text{kg ha}^{-1})$$
 $\Sigma \text{NO}_3^- = \text{voir colonne 4}$ 
 $(\Sigma N_B)_d = \text{la quantité de l'azote dans la biomasse totale au début de la décade; pour } \Sigma N_B \text{ voir colonne 19. Pendant la première décade de croissance cette quantité est le N dans les semences. Nous avons supposé que cette quantité de N est } 0,30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ sur l'argile et } 0,35 \text{ kg ha}^{-1} \text{ sur le sable en 1977 à Niono. Il est clair que la supposition de cette quantité est ici très incertaine et que cette quantité peut varier beaucoup d'une année à l'autre. Un facteur qui ajoute aussi au problème de cette supposition est que le nombre des plantules qui continuent à croître est toujours une fraction seulement du nombre qui germent.}$
- 12  $P_{\text{disp}}$  La quantité de P, dans le sol, disponible pour la croissance pendant la décade considérée.  $P_{\text{disp}}$  dépend des 2 formes de P dans le sol:  $P_{\text{org}}$  et  $P_{\text{inorg}}$  (voir partie 5.4). La transformation de  $P_{\text{org}}$  en PSOL est liée à la minéralisation de la matière organique et donc, à la quantité de N minéralisée: nous estimons que la minéralisation de P et de N se passe avec le rapport  $P/N = 0,067$ . La plupart (environ 75%) de la quantité  $\Sigma N_t$  est du N minéralisé, donc nous calculons de façon approximative et à l'aide de la formule suivante le phosphore dégagé par minéralisation:  

$$\Sigma P_{\text{org}} = \Sigma N_t / 20 \quad (\text{kg ha}^{-1})$$
Le plus important pour  $P_{\text{disp}}$  est  $P_{\text{inorg}}$  sous la forme labile (PIL, voir partie 5.4). Nous faisons le calcul approximatif de cette quantité comme suit:  

$$\Sigma P_{\text{inorg}} = (P\text{-Bray II}) \times \text{kg sol} \quad (\text{kg ha}^{-1})$$
Suivant le tableau 3.3.3 le P-Bray II sur le sable S2 du ranch (0-20



cm) était  $3 \text{ mg kg}^{-1}$  et sur l'argile D1 (0-20 cm)  $2 \text{ mg kg}^{-1}$ . La couche 0-20 cm du sol pèse environ  $3 \cdot 10^6 \text{ kg ha}^{-1}$  donc  $\Sigma P_{\text{inorg}}$  est environ  $7 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Donc:

$$P_{\text{disp}} = (\Sigma P_{\text{org}} + \Sigma P_{\text{inorg}}) - (\Sigma P_{\text{B}})_{\text{d}} \quad (\text{kg ha}^{-1})$$

$(\Sigma P_{\text{B}})_{\text{d}}$  = La quantité de phosphore dans la biomasse totale au début de la décade (voir colonne 22). Pendant la première décade de croissance cette quantité est le P dans les semences. Nous avons supposé que c'est environ  $0,03 \text{ kg ha}^{-1}$  sur l'argile et  $0,10 \text{ kg ha}^{-1}$  sur le sable. Il faut rappeler ici aux remarques faits à la colonne 11 concernant l'incertitude de cette supposition. Les valeurs utilisées ici sont de meilleures suppositions de l'année 1977 pour les champs d'expériences (fig. 5.5.1 et 5.5.2) et sont donc utilisées dans ces exemples. Il faut bien signaler que d'autres valeurs étaient mesurées ailleurs et pendant d'autres années.

13

$P_{\text{max}}$

La quantité de P qui pourrait être absorbée pendant la décade considérée.  $P_{\text{max}}$  dépend de la biomasse racinaire et de l'efficacité des racines quant à l'absorption de  $P_{\text{disp}}$ .  $P_{\text{max}}$  est calculé de façon approximative comme suit:

$$P_{\text{max}} = \alpha f(\text{racines}) \times P_{\text{disp}} \quad (\text{kg ha}^{-1})$$

$f(\text{racines})$  = la quantité de la biomasse racinaire qui est active dans l'absorption. Les expériences présentées dans les fig. 5.5.1 et 5.5.2 nous permettent de calculer la relation entre la biomasse racinaire et l'absorption de P. Cela donne l'impression que les capacités des racines à absorber le P du sol sur le sable et sur l'argile diffèrent. Sur le sable cette capacité semble fortement liée à la quantité des nouvelles racines tandis que sur l'argile les anciennes racines aussi contribuent à l'absorption. Cependant, les expériences n'étaient pas assez nombreuses et précises (surtout la détermination de la biomasse racinaire) pour justifier une hypothèse qui différencie un mécanisme d'absorption sur sable et un autre sur l'argile. Donc, pour les 2 types de sol, une seule approximation est utilisée:

$$f(\text{racines}) = B_{\text{R}} + \frac{1}{2}(\Sigma B_{\text{R}})_{\text{d}}$$

$\alpha$  = l'efficacité des racines pour l'absorption de P. Pour l'absorption de N nous partons de la supposition (colonne 14) que les plantes peuvent absorber tout le  $\text{NO}_3^-$  disponible dans le sol. Cette supposition pouvait être faite, étant donné la grande mobilité de  $\text{NO}_3^-$  dans le sol. Le  $P_{\text{disp}}$  n'est pas du tout mobile et les racines peuvent absorber seulement une fraction  $\alpha$  de  $P_{\text{disp}}$ ;  $\alpha = 1,5 \cdot 10^{-4}$  donne le meilleur résultat dans le calcul.

$P_{\text{disp}}$  = voir colonne 12.

14

$N_{\text{max}}$

La quantité de N qui pourrait être absorbée au maximum pendant la décade considérée. Nous supposons que tout le N disponible sous forme de  $\text{NO}_3^-$  est absorbé:

- $N_{\max} = N_{\text{disp}}$   
 $N_{\text{disp}}$  = voir colonne 11.
- 15  $\Sigma N_{\max}$  La quantité maximale de N, absorbée par la végétation:  
 $\Sigma N_{\max} = N_{\max} + (\Sigma N_B)_d$  (kg ha<sup>-1</sup>)  
 $N_{\max}$  = voir colonne 14.  $(\Sigma N_B)_d$  = la quantité de N dans la biomasse totale au début de la décade.
- 16  $\Sigma P_{\max}$  La quantité maximale de P, absorbée par la végétation:  
 $\Sigma P_{\max} = P_{\max} + (\Sigma P_B)_d$  (kg ha<sup>-1</sup>)  
 $P_{\max}$  = voir colonne 13.  $(\Sigma P_B)_d$  = la quantité de phosphore dans la biomasse totale au début de la décade.
- 17  $\frac{\Sigma P_{\max}}{\Sigma N_{\max}}$  Le rapport P/N maximal. Il y a 3 possibilités:  
 - P/N > 0,15: il y a un manque relatif de N. Cela signifie que l'absorption actuelle de P pendant la décade considérée,  $P_{\text{act}}$ , est limitée et qu'elle est calculée par la formule suivante:  
 $P_{\text{act}} = \Sigma N_{\max} \times 0,15 - (\Sigma P_B)_d$  (kg ha<sup>-1</sup>)  
 et  
 $N_{\text{act}} = N_{\max}$   
 - P/N < 0,04: il y a un manque relatif de P. Cela signifie que l'absorption actuelle de N pendant la décade considérée  $N_{\text{act}}$  doit être limitée et qu'elle est calculée par la formule suivante:  
 $N_{\text{act}} = (\Sigma P_{\max} / 0,04) - (\Sigma N_B)_d$  (kg ha<sup>-1</sup>)  
 et  
 $P_{\text{act}} = P_{\max}$   
 - 0,04 < P/N < 0,15. Il n'y a ni un manque relatif de P ni un manque relatif de N:  
 $N_{\text{act}} = N_{\max}$   
 et  
 $P_{\text{act}} = P_{\max}$
- 18  $N_{\text{act}}$  La quantité de N absorbée pendant la décade considérée.
- 19  $\Sigma N_B$  La quantité totale de N dans la biomasse totale.  
 $\Sigma N_B = (\Sigma N_B)_d + N_{\text{act}}$  (kg ha<sup>-1</sup>)
- 20 %  $N_B$  Le taux de N dans la matière sèche de la biomasse totale:  
 $\% N_B = 100 \times \Sigma N_B / \Sigma B_{A+R}$   
 La fig. 5.2.5 indique qu'il y a un taux minimal de N, qui est différent pour chaque stade de développement. Nous calculons de façon approximative cette évolution du taux minimal comme suit: jusqu'à la floraison le taux minimal est pris constant à 1%, après ce taux est 0,5%. Comparez aussi la fig. 5.2.3. Si le %  $N_B$ , comme calculé ci-dessus, devient inférieur au taux minimal, cela veut dire qu'il y a un manque absolu de N, et il faut réduire  $B_{A+R}$  jusqu'à ce que le taux minimal de N ne soit pas dépassé. Ce qui signifie que la croissance n'est pas potentielle: elle est déterminée par la disponibilité de N. Si c'est le cas, il faut refaire le calcul des colonnes 5 à 19 sur la base de la nouvelle estimation de  $B_{A+R}$ .

21	$P_{act}$	La quantité de P absorbée pendant la décade considérée.
22	$\Sigma P_B$	La quantité totale de P dans la biomasse totale: $\Sigma P_B = (\Sigma P_B)_d + P_{act} \quad (\text{kg ha}^{-1})$
23	$\% P_B$	Le taux de P dans la biomasse totale: $\% P_B = 100 \Sigma P_B / \Sigma B_{A+R}$ <p>On note bien que cela est une grande simplification parce qu'on suppose que tout le P est redistribué également dans les plantes. En plus nous supposons un taux constant à 0,09% pour le taux minimal de P dans la biomasse sèche, bien qu'en réalité ce taux dépende du stade de développement, voir fig. 5.2.4 et 5.2.5. Si <math>\% P_B</math>, comme calculé ci-dessus, est inférieur à 0,09%, cela veut dire qu'il y a un manque absolu de P et il faut réduire <math>B_{A+R}</math> jusqu'à ce taux minimal. Ce qui signifie que la croissance n'est pas potentielle; elle est déterminée par la disponibilité de P. Si c'est le cas il faut recalculer les colonnes 5 à 22 sur base de cette nouvelle estimation de <math>B_{A+R}</math>. (Cela impose un problème d'itération, parce que si <math>B_{A+R}</math> change, <math>B_R</math> change aussi et ainsi <math>P_{max}</math> est modifié aussi. Pour éviter un effort excessif dans le calcul, nous proposons de bien ajuster <math>B_{A+R}</math> mais de ne pas changer <math>P_{max}</math> si l'ajustement de <math>B_{A+R}</math> n'est pas très grand.)</p>
24	P/N	Le rapport $P/N = \Sigma P_B / \Sigma N_B$

### 5.5.3 Discussion

Après avoir étudié ce schéma, on comprend bien que ce schéma est encore plus une approximation que le schéma de la production potentielle. Il faut réaliser surtout que le calcul n'est pas vraiment indépendant des mesures, parce qu'on a utilisé beaucoup des éléments de ces mesures. Mais cela est de moindre importance parce que, répétons le encore une fois, le but principal n'était pas de présenter une méthode de prédiction ou d'extrapolation mais de présenter une synthèse aussi simple que possible de nos connaissances et de nos hypothèses de la croissance actuelle. En plus, ce modèle est un modèle de travail, pour jouer avec. Chacun peut faire des réserves sur certaines suppositions, approximations etc. Aussi on est invité à changer, à compléter le modèle pour découvrir l'effet sur la production actuelle.

Malgré le fait que l'utilisation du schéma pour l'estimation de la production ne soit pas le but de ce schéma, nous avons comparé la production actuelle calculée avec celle mesurée dans les fig. 5.5.1 et 5.5.2.

On constate que le bilan d'eau du sol ne joue plus un rôle dans ce schéma. On utilise les données de la production potentielle (schéma dans la partie 4.6), qui reflètent le calcul du bilan d'eau. Il est intéressant de refaire le calcul du bilan d'eau adapté pour la production actuelle, pour qu'on puisse constater qu'il reste de l'eau dans le sol à la fin de la croissance à cause d'une croissance (et donc une transpiration) limitée. Un tel calcul n'est pas présenté ici et le lecteur est invité à le faire lui-même.

Il y a le commentaire suivant sur les résultats du tableau 5.5.1 pour la croissance sur un sol sablonneux:

- juillet 3. La croissance est potentielle mais limitée par une quantité d'eau restreinte, et il y a un manque relatif de P. En forçant (dans le calcul) le rapport P/N dans sa valeur minimale on observe que les plantes absorbent moins de N que disponible. Ainsi le taux de N des jeunes plantes reste limité. On comprend bien maintenant pourquoi une fertilisation avec P dans ce stade n'augmentera pas seulement l'absorption de P mais en même temps celle de N et fait donc que les jeunes plantes seront plus riches en N. Malgré le manque relatif de P (et un rapport P/N minimal) il n'y a pas un manque absolu de P: c'est-à-dire la croissance ne suffit pas pour diluer le P jusqu'à un taux minimal. La cause est la croissance exponentielle limitée par un manque d'eau (voir calcul de la production potentielle).

- août 1. Dans cette décade le manque relatif de P change en manque absolu. La croissance n'est plus potentielle à cause de cette carence. A noter aussi l'absorption de N qui est encore inférieure à la quantité disponible parce que l'offre de N et de P ne sont pas en équilibre. A cause du fait que l'absorption de N est limitée par l'absorption de P et que P est dilué à son taux minimal, le taux de N aussi est inférieur à celui de la décade précédente.

- août 2. Il reste un manque absolu de P ce qui limite la croissance. Pour la première fois il n'y a pas un surplus dans l'offre de N et les plantes absorbent tout le N et le P disponible. Par conséquent le rapport P/N augmente.

- août 3. C'est la décade de la floraison. Il y a toujours un manque absolu de P, mais la croissance est plus que potentielle sur la base du calcul de la production potentielle où la croissance était fortement limitée par un manque d'eau pendant cette décade. La croissance élevée est possible parce qu'il reste plus d'eau disponible dans un sol avec une biomasse 'naturelle' que dans un sol avec une biomasse 'potentielle'.

- septembre 1. Comme expliqué déjà, le calcul n'est pas continué après la floraison. Nous pouvons constater que jusqu'à la floraison toute la croissance était limitée par P. Mais s'il n'y avait pas eu un tel manque la production pourrait être  $850 \text{ kg ha}^{-1}$  plus élevée seulement. Cela veut dire que la disponibilité des 2 éléments est très limitée et on peut dire que la croissance est limitée par P ou par N. En d'autres termes, avec une fertilisation avec P seulement la croissance au début aurait été plus rapide mais la production totale n'aurait pas beaucoup changé. Naturellement cette dernière remarque n'est valable qu'à la supposition préalable que la disponibilité de N (colonnes 3 et 4) ne change pas. En réalité il est possible qu'avec une croissance plus rapide ces chiffres changent (partie 5.3.2.1). Le modèle tel qu'il est présenté ici, offre au lecteur une possibilité d'analyser un changement dans la production si l'on essaie n'importe quelle hypothèse pour un tel changement dans la disponibilité de N.

Pour la croissance sur le sol argileux (tableau 5.5.2) on remarque:

- juillet 2. Il y a un manque absolu de P et la croissance n'est même pas potentielle pendant cette décade. L'absorption de N est réduite par un rapport minimal de P/N. Par conséquent les jeunes plantes sont plus pauvres en N que sur le sable. Comme mentionné déjà avec les suppositions des quantités de N et de P dans les semences, ces valeurs peuvent varier beaucoup d'une année à l'autre. Par conséquent aussi les jeunes plantes ont des rapports P/N très variés d'une année à l'autre comme signalé par nos analyses pendant plusieurs années.

- juillet 3. La croissance est limitée comme en juillet 2. Il y a toujours plus de N disponible que les plantes ne peuvent absorber.
- août 1. La croissance est encore limitée par un manque absolu de P. Mais la disponibilité de N est limitée aussi pendant cette décade. Les plantes absorbent tout ce qui est disponible. Le rapport P/N augmente et il devient supérieur à sa valeur minimale.
- août 2. Le N remplace le P comme élément déterminant la croissance. Cette croissance est telle que d'abord tout le N disponible est absorbé et est dilué après jusqu'au taux minimal. Les plantes deviennent plus riches en P et le taux de P ainsi que le rapport P/N sont au-dessus des valeurs minimales.
- août 3. Le calcul est identique à celui d'août 2.
- septembre 1. C'est la décade de la floraison. Le calcul est comme en août 2 et 3.

## 5.6 LA PRODUCTION ACTUELLE DANS UNE SITUATION D'EQUILIBRE

### 5.6.1 Introduction

Dans la partie 5.2.1 on a constaté qu'aux régions avec une pluviosité supérieure à  $300 \text{ mm an}^{-1}$  la production actuelle des pâturages naturels est beaucoup plus basse que la production potentielle. Cela est dû à un manque d'éléments nutritifs, c'est-à-dire de l'azote et des minéraux. Dans beaucoup de cas le pourcentage d'azote (N) dans la végétation est minimal pendant la deuxième partie de la croissance, tandis que le rapport P/N est souvent bien au-dessus de son minimum pendant cette même période (voir fig. 5.2.3 et 5.2.18). De plus, on a constaté qu'une augmentation de la production après une fertilisation avec du phosphore (P) est liée des fois à une augmentation de l'absorption de N par la végétation. Toutes ces observations illustrent, grosso modo, que la production dans des conditions naturelles dans la partie sud au Sahel est surtout déterminée par la disponibilité de N.

La conclusion précédente n'est pas valable pour les légumineuses. A cause de leur capacité de fixer du N, leur production est souvent limitée par l'absorption de P. La fertilité basse des sols au Sahel est la cause des taux de P faibles dans les légumineuses, ainsi que le rapport P/N atteint son minimum (partie 5.2.4) et le taux de N reste en dessous de son maximum. Cependant, ce taux en N est encore 2x (dans la partie nord du Sahel) à 4x (dans la partie sud du Sahel) plus élevé que dans les graminées.

Comme en général, la contribution des légumineuses dans la biomasse n'est pas supérieure à 5%, on peut constater, grosso modo, que la production dans des conditions naturelles est surtout déterminée par la disponibilité de N du sol. Ainsi les pertes et les gains du bilan de N, dont on a parlé dans la partie 5.3, obtiennent une valeur spéciale. La quantification de ces pertes et gains n'était que globale et une meilleure estimation est certainement possible après des études plus approfondies, mais les estimations actuelles sont déjà assez précises pour permettre une discussion des relations entre la production, le climat et l'exploitation. Une telle discussion est le sujet de cette partie. Sa vérification à l'aide d'observations écologiques de terrain et à l'aide de la littérature, et l'application de ses considérations pour des situations pratiques, sont traitées dans le chapitre 9.