

- 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 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.

Les calculs de la partie 5.6.2 considèrent la situation d'un bilan de N qui a évolué vers un équilibre. Cela veut dire que chaque année la minéralisation et l'immobilisation de N sont pareilles et que chaque année le total des pertes de N est égal au total de N qui entre dans le système. Dans la partie 5.6.3 nous discutons de l'existence réelle d'une situation d'équilibre et du temps nécessaire pour arriver à un tel équilibre. La dernière partie, 5.6.4, explique le déplacement de l'équilibre et les conséquences sur la production en fonction d'un changement dans la disponibilité de P.

5.6.2 La production du système en équilibre

Dans les dépressions où l'eau de ruissellement se concentre, beaucoup de N peut se perdre pour le système à cause de la dénitrification ou à cause du lessivage. En dehors de ces dépressions, ces 2 processus de pertes ne sont pas importants: le N s'y perd surtout par volatilisation à partir de la biomasse sèche, par combustion pendant des feux de brousse et par quelques autres processus comme la consommation par des insectes et par l'érosion du sol. Naturellement le système perd aussi une quantité de N par la seule cause désirée, le broutage. Une partie de N consommé par des animaux est fixée dans la viande et dans le lait, une autre partie se volatilise des fèces et de l'urine et une dernière partie retourne dans le sol par ces mêmes excréments. Progressivement, cette dernière partie de N sera disponible pour les plantes dans les années suivantes. La fig. 5.3.1 résume le bilan de N.

Au cas où le système sol-plante est en équilibre sous exploitation, les pertes mentionnées ci-dessus sont compensées par l'apport de N par les pluies et par un nombre des processus par lesquels N est fixé. Par définition, on peut décrire l'équilibre par la formule suivante:

$$f N_b = N_a \quad (\text{formule 5.6.1})$$

dans laquelle:

- N_b = la quantité de N (kg ha^{-1}) dans la biomasse aérienne au moment de la floraison et absorbée du sol pendant chaque hivernage.
- N_a = la quantité de N ($\text{kg ha}^{-1} \text{an}^{-1}$) qui est ajoutée au système annuellement.
- f = la fraction de N_b (an^{-1}) qui disparaît annuellement.
- $f N_b$ = la quantité de N ($\text{kg ha}^{-1} \text{an}^{-1}$) qui disparaît du système annuellement.

Nous voulons calculer N_b en utilisant les meilleures estimations possibles de N_a et de f . On peut répartir la quantité de N qui est apportée annuellement dans le système; une partie est liée avec la pluviosité et une partie est liée avec la biomasse aérienne.

Suivant la partie 5.3.3, chaque mm de pluie apporte une quantité de N de $0,0065 \text{ kg ha}^{-1}$ et à cause de la fixation des algues à la surface du sol, encore $0,0020 \text{ kg ha}^{-1}$ est ajouté par chaque mm de pluie. La contribution des algues est plus faible que la contribution de la pluie, donc l'incertitude de l'importance des algues ne joue pas un rôle primordial dans ce calcul-ci. L'apport est donc:

$$(0,0065 + 0,0020) P \quad (\text{formule 5.6.2})$$

dans laquelle P1 est la pluviosité (moyenne annuelle) en mm.

La raison principale du fait que la biomasse-même contribue à la fixation de N est la présence des légumineuses. Leur contribution au bilan de N peut être liée à la quantité totale en N absorbée par la végétation, N_b . Ceci est illustré par un exemple assez représentatif pour le Sahel, dans lequel la croissance des graminées est limitée par N et la croissance des légumineuses par P. Dans une telle végétation avec une biomasse de 2.000 kg ha^{-1} et 5% de légumineuses, le N total dans la végétation est de l'ordre de 11 kg ha^{-1} :

1.900 kg (graminées) × 0,005 (le pourcentage minimal de N à la floraison, voir fig. 5.2.5)	= 9,5 kg ha ⁻¹
100 kg (légumineuses) × 0,013 (le pourcentage de N au même moment, voir fig. 5.2.5)	= 1,3 kg ha ⁻¹
2.000 kg de végétation	= 10,8 kg ha ⁻¹

Environ 75% de la quantité de N dans les légumineuses est fixé par le *Rhizobium*, ce qui revient à $0,75 \times 1,3 = 0,98 \text{ kg ha}^{-1}$. Donc la fixation de N est $0,98/10,8 = 0,1 \text{ kg kg}^{-1}$ de N absorbé dans la biomasse aérienne ($=N_b$). Si nous l'exprimons par pourcent de légumineuses dans la végétation, la fixation de N est de $0,02 \text{ kg ha}^{-1} \%^{-1} \text{ légumineuses kg}^{-1} N_b \text{ ha}$. Le rapport entre le pourcentage de N dans les graminées et le pourcentage de N dans les légumineuses ne varie pas beaucoup au cas où le pourcentage de N dans les graminées n'est pas supérieur à 1%, comme le montrent nos observations pendant les 4 années de nos recherches (fig. 6.3.10). Ceci implique que dans beaucoup de situations au Sahel cette première estimation de la fixation ($0,75 \times N$ des légumineuses) est bien valable. Mais si le taux de N dans les graminées est supérieur à 1%, il est possible que la contribution relative de la fixation à l'approvisionnement en N des légumineuses diminue (partie 6.2). Cette dernière situation se présente lorsque le pourcentage de légumineuses dans la végétation est élevé et cela peut aussi se produire dans la partie nord du Sahel où l'eau est plus limitative pour la production que les éléments nutritifs (voir partie 4.1.2).

La fixation de N par les légumineuses n'est pas la seule fixation qui importe. Suivant la partie 5.3.3 encore $0,013 \text{ kg}$ par $\text{kg } N_b$ est fixé par des bactéries associées à des graminées, et encore $0,025 \text{ kg N}$ par $\text{kg } N_b$ qui entre dans le sol ce qui est dû à la fixation par des bactéries libres. La contribution de ces 3 processus de fixation, à restriction des suppositions et des limitations mentionnées ci-dessus, est donc:

$$(0,02 L + 0,013 + 0,025 (1,0 - f))N_b \quad \text{(formule 5.6.3)}$$

dans laquelle L indique le pourcentage de légumineuses. Il faut qu'on note qu'au cas où le pourcentage de légumineuses dans la végétation est de 5% (la situation moyenne dans l'exemple ci-dessus), la contribution des bactéries associées et des bactéries libres dans l'apport de N est déjà relativement petite.

Si l'on met $N_a = \text{formule 5.6.2} + \text{formule 5.6.3}$ dans la formule pour l'équilibre (formule 5.6.1) on arrive à:

$$N_b = \frac{0,0085 P1}{1,025 f - (0,02 L + 0,038)} \quad (\text{formule 5.6.4})$$

Avec 5% de légumineuses dans la végétation la formule est:

$$N_b = \frac{0,0083}{f - 0,13} P1 \quad (\text{formule 5.6.5})$$

Si f (le total des pertes) serait plus faible que 0,13, la valeur N_b deviendrait négative. Dans ce cas la formule n'est plus valable parce que la supposition que l'apport de N est égal aux pertes n'est plus correcte. D'abord il ne semble pas possible que la gestion d'un pâturage soit tellement efficace que la valeur de f reste inférieure à 0,13. Mais si par exception un tel cas se présente, c'est-à-dire un enrichissement continu du système l'enrichissement ne continue jamais longtemps, parce que la fixation de N par des légumineuses devient réduite dès que le taux de N dans les graminées dépasse 1%.

Quelles sont les valeurs caractéristiques de f et de N_b dans une situation réelle? Si par exemple, 20% de N dans la végétation est brouté (dont 50% est perdu pour le système) et si environ 20% de N est perdu par les feux de brousse et encore 20% est perdu par d'autres causes, comme par exemple la volatilisation, la valeur de f sera égale à 0,5. A une pluviosité de 500 mm et f égal 0,5, N_b est égal à 11,2 kg ha⁻¹. Cela correspond à une biomasse d'environ 2.000 kg ha⁻¹ (à la floraison) si le pourcentage des légumineuses est de 5%. Cette biomasse pouvait être calculée parce qu'avec une telle pluviosité et une quantité de N qui est relativement petite, le N est dilué maximale dans les plantes et ces plantes arrivent à des pourcentages minimaux de N , comme on l'a déjà mentionné dans l'exemple ci-dessus.

Avec une pluviosité nette de 150 mm an⁻¹, le broutage est moins important que dans le cas de 500 mm an⁻¹ et la végétation est tellement ouverte que des feux sont rares. D'autre part une plus grande fraction de N disparaît du système par d'autres processus. Néanmoins f est beaucoup plus petit et de l'ordre de 0,35. La quantité de N dans la biomasse aérienne (N_b) est encore de 6 kg ha⁻¹, suivant la formule 5.6.5. La biomasse correspondante serait 1.200 kg ha⁻¹, avec 5% de légumineuses, si la dilution de N continuerait jusqu'aux pourcentages minimaux comme dans la partie sud du Sahel. Mais cette valeur de 1.200 kg ha⁻¹ n'est presque jamais atteinte avec cette pluviosité basse à cause d'un manque d'eau. Par conséquent, le taux de N de la végétation reste au-dessus le taux minimal. Cela peut réduire la fixation de N par des légumineuses. En tout cas cela nous explique de nouveau pourquoi la qualité de la végétation dans la partie nord du Sahel avec une pluviosité basse, est meilleure que dans la partie sud du Sahel. On l'a constaté également dans la partie 5.2.3.

Les estimations précédentes correspondent assez bien à la réalité au terrain. L'applicabilité de ce modèle simple est discutée beaucoup plus dans la partie 6.3 et dans le chapitre 9.

Le tableau 5.6.1 représente les relations entre N_b et f pour un système en équilibre avec une pluviosité nette de 500 mm an⁻¹ et 5% de légumineuses dans la végétation. A

Tableau 5.6.1. Exemple d'une relation entre la quantité de N dans la biomasse aérienne à la floraison (N_b) et la fraction f de cette quantité qui se perd chaque année, en supposant un équilibre du bilan de N, une pluviosité nette de 500 mm an⁻¹ et 5% de légumineuses dans la végétation.

f	N_b (kg ha ⁻¹)	$f N_b$ (kg ha ⁻¹ an ⁻¹)
0,20	59,3	11,9
0,25	34,6	8,7
0,30	24,4	7,3
0,40	15,4	6,2
0,50	11,2	5,6
0,75	6,7	5,0
1,00	4,8	4,8

Table 5.6.1. Example of a relation between the amount of N in the aerial biomass at flowering (N_b) and the fraction f of this amount that is lost annually, assuming an equilibrium of the N balance, a net rainfall of 500 mm yr⁻¹ and 5% of legumes in the vegetation.

première vue on pourrait conclure qu'il est profitable de brouter très peu de biomasse et de minimaliser les feux. Dans ce cas d'équilibre, la quantité de N dans la végétation est presque 60 kg ha⁻¹, ce qui veut dire qu'il y a beaucoup de biomasse et que les terrains restent bien protégés contre la dégradation physique (voir la partie 6.6). Cette grande quantité de N dans la biomasse est le résultat du fait qu'avec peu de pertes, il y a plus de N dans le circuit de récirculation (sol-plante), ce qui provoque une augmentation de la biomasse, qui cause à son tour par suite du taux fixe de légumineuses dans la biomasse une augmentation de la fixation de N par les légumineuses. Malheureusement, ce cycle ne continue pas. Dans une biomasse élevée, il y a beaucoup de N qui disparaît par volatilisation, par consommation par des insectes et par le gibier, qui souvent est inexploitable. Plus important encore est le fait qu'avec beaucoup de paille morte, la germination des graminées, et d'autres herbacées est beaucoup réduite et pour cette raison l'emploi de feu semble inévitable (partie 6.5.3). Il faut bien se rendre compte du fait, que, dans la pratique, essayer d'améliorer la gestion par une limitation de la capacité de charge ne conduira point aux résultats désirés. Cette situation ressemble beaucoup à une situation comparable dans la pêche. Si la pêche est la seule cause de la diminution du nombre de poissons, donc s'il n'y a pas d'autres raisons de pertes, il est préférable de pêcher seulement une fraction limitée des poissons. Ainsi la quantité des poissons augmente. Cependant, s'il y a d'autres causes de pertes et donc la mortalité naturelle devient importante, il sera plus économique de pêcher autant que possible et d'empêcher d'autres pertes. De tels problèmes de la gestion sont discutés dans le chapitre 9.

Pendant la discussion sur les essais de fertilisation avec N (partie 5.2.3), nous avons parlé du taux du N appliqué qu'on retrouve dans la biomasse. Là, nous avons traité un cas d'un effet direct et indirect (dans les années suivantes) d'une seule fertilisation par N. Ici on peut se demander ce que sera la situation d'équilibre si l'on donne une

telle quantité de N chaque année au même endroit. On peut estimer le nouvel équilibre à l'aide de la formule 5.6.5 par introduction d'un nouveau terme, N_f (en $\text{kg ha}^{-1} \text{an}^{-1}$), qui représente la fertilisation annuelle par N. L'effet de cette introduction est qu'un nouveau terme est ajouté à la section droite de la formule 5.6.4:

$$N_b = \frac{0,0085 P_1 + N_f}{1,025 f - (0,02 L + 0,038)} \quad (\text{formule 5.6.6})$$

Avec fertilisation, il est réaliste de supposer que le pourcentage des légumineuses est réduit jusqu'à zéro, donc le terme additionnel est: $N_f/(1,025 f - 0,038)$ ou presque N_f/f . Si chaque année tout le N dans la biomasse se perd par des feux ou par une récolte totale ($f = 1,0$), la valeur de N_b est augmentée avec une quantité de N égale à la fertilisation annuelle. Cela vaut seulement s'il n'y a pas d'autres pertes comme par exemple la dénitrification ou le lessivage. Cependant, f n'est jamais égal à 1,0, parce qu'une partie de N récircule toujours et ainsi f est toujours plus petit que 1,0. Dans ce cas, N_b est augmenté avec une quantité qui est plus grande que la fertilisation annuelle. Si par exemple f est égal à 0,5, l'augmentation est 2x plus grande que la fertilisation annuelle, et une fertilisation annuelle de $40 \text{ kg ha}^{-1} \text{an}^{-1}$ augmente N_b avec 80 kg ha^{-1} . Aux alentours de Niono il a été constaté qu'il faut une quantité de N de 150 kg ha^{-1} dans la biomasse aérienne pour obtenir une croissance potentielle. Cette production est possible avec une fertilisation de N de $75 \text{ kg ha}^{-1} \text{an}^{-1}$, si f reste 0,5 chaque année. Cet aspect de la situation d'équilibre est aussi discuté dans le chapitre 9.

5.6.3 Le dynamisme dans le système en équilibre

Les considérations de la situation d'équilibre (la partie 5.6.2) sont seulement fructueuses si un tel équilibre s'établit dans un délai raisonnable. Le projet P.P.S. durait trop peu de temps pour pouvoir obtenir des résultats expérimentaux. Ce que nous pouvons dire de cet aspect, c'est d'une part une synthèse de quelques autres expériences et d'autre part des connaissances des processus de transformation de N dans le sol.

En cas d'équilibre, avec une perte 'normale' de N, c'est-à-dire f égal 0,5, la quantité de N dans la biomasse est à peu près 2x plus grande que l'apport annuel de N dans le système. Une grande partie de cette quantité de N dans la biomasse est absorbée au moment de l'excès temporaire de $N_{\text{inorganique}}$ dans le sol. Cet excès temporaire de N est le résultat de la minéralisation de la matière organique du sol qui commence à minéraliser plus vite au début de la saison des pluies que l'immobilisation (partie 5.3.2). La quantité de N absorbée par les plantes est fonction de l'importance de cet excès. Si l'excès est important, la durée pendant laquelle N est disponible est également longue. Une certaine situation d'équilibre est liée à un certain excès et l'importance de l'excès est encore liée à la quantité et à la qualité de la matière organique dans le sol.

Il y a quelques centaines de kg de N par ha dans le sol dans la matière organique. Ce stock ne diminue ou n'augmente qu'avec quelques kg an^{-1} au cas où il n'y pas encore une situation d'équilibre. Si tout le N était contenu dans la matière organique du sol de la

même manière, la création d'un équilibre durerait des centaines d'années et toute la discussion sur l'équilibre, comme elle est présentée ici, serait inutile. Mais il y a des arguments forts qui disent que pas toute la quantité de N ne joue un rôle dans la minéralisation et dans l'immobilisation en même temps. Clark et Paul (1970) divisent le stock de N dans le sol en 3 fractions: l'une avec une vitesse de décomposition de quelques centaines d'années, l'autre avec une vitesse d'une dizaine d'années et la dernière avec une vitesse de quelques années (voir aussi partie 5.3.2). Pour la situation d'équilibre, qui est le sujet de notre discussion, surtout la deuxième fraction est importante. Cette quantité de N est probablement de l'ordre de 100 kg ha^{-1} . Un argument en faveur de l'existence d'une telle fraction intermédiaire est présenté par le système d'agriculture en jachère. Dans ce système tout le N qui est disponible d'une façon relativement facile est épuisé en 4 ans environ, si de grandes quantités de N sont prélevées avec la récolte annuelle et ne retournent pas dans le sol. Si l'on laisse le sol se régénérer comme dans le cas d'une jachère, on a besoin d'à peu près 20 ans, avant que cette fraction ne soit rétablie. L'épuisement rapide prouve l'existence de cette fraction. La régénération lente est due aux petites quantités de N, qui sont apportées annuellement avec les pluies, par la fixation et par la décomposition lente de la première fraction. Encore un autre argument pour l'existence d'une telle fraction intermédiaire de la matière organique se trouve dans la fertilisation avec N et les effets de cette fertilisation pendant les années qui suivent (voir fig. 5.2.9). Sur des sols avec un pourcentage 'normal' en matière organique, une partie de N de la fertilisation restera immobilisée dans le sol, pendant cette année-même. Cependant, cette immobilisation est telle que nous estimons que pendant les 5 ans suivants, tout le N apporté sera disponible pour les plantes.

La fraction de la matière organique qui est stable contient quelques centaines de kg de N par ha. Dans une situation d'un vrai équilibre, cette fraction ne change pas. Mais à cause du fait que sur la plupart des terrains au Sahel l'intensité de l'exploitation augmente toujours lentement, cette fraction est minéralisée peu à peu également. On suppose que sa minéralisation donne une quantité de N de $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ au maximum. On pourrait introduire cette petite quantité dans des considérations d'un quasi-équilibre (c'est-à-dire une situation où tous les processus sont en équilibre à l'exception d'un processus lent), comme nous avons parlé du vrai équilibre dans la partie 5.6.2. Vu l'incertitude de cette contribution, il semble plus sage d'oublier cette petite source de N et de ne pas distinguer la situation d'un quasi-équilibre.

L'existence d'une grande quantité de N, presque inerte, et d'une petite fraction de N qui réagit plus activement explique pourquoi il n'existe pas une relation entre la quantité de N dans le sol et la quantité de N dans la récolte, bien que la production soit limitée par cet élément nutritif. La corrélation entre la production végétale, N_b , et la pluviosité (partie 6.3.2), et l'absence d'une corrélation entre la pluviosité et la quantité totale de N dans le sol (fig. 3.3.7) l'illustrent aussi.

5.6.4 L'influence du phosphore sur l'équilibre

On a indiqué déjà quelques fois que l'effet d'une fertilisation de P sur la production est en réalité souvent un effet caché de N. L'explication qui semble être la plus logique

est que le P a un effet sur la synchronisation de la croissance et l'excès temporaire de N dans le sol. C'est vrai que pendant la deuxième partie de la croissance le rapport P/N est supérieur au minimum, mais nous avons constaté à l'aide des récoltes périodiques qu'il y a une période, pendant la première partie de la croissance, où le rapport P/N est des fois si bas qu'on peut supposer qu'à ce moment la vitesse est limitée par P et non par N (voir aussi la partie 5.2.4). Ce manque de P a pour effet que la croissance au début est lente, ce qui cause une mauvaise synchronisation entre la croissance et l'excès temporaire de N. Si l'on apporte P en tant que fertilisation, la vitesse de croissance augmentera et ainsi la synchronisation est améliorée et les plantes profiteront davantage de l'excès temporaire en N (partie 5.3.2).

Si l'on oublie les changements dans la contribution des légumineuses et dans la fraction des pertes de N, on peut s'imaginer la conséquence d'une meilleure disponibilité de P sur la situation d'équilibre. Avec une disponibilité basse de P, la croissance du début est lente et la synchronisation est mauvaise. Comme résultat, la quantité de N dans le stock intermédiaire du sol est relativement grande et donne donc un grand excès toutes les années. Cette situation peut être en équilibre, comme on l'a expliqué dans la partie 5.6.2. Si l'on apporte P, on stimule la croissance du début et par une meilleure synchronisation la végétation peut absorber une plus grande quantité de N: la production sera donc plus élevée. Cependant le stock intermédiaire de N est épuisé par cette meilleure utilisation et puisque l'excès est lié à ce stock, l'excès diminuera également. A cause de cette diminution l'absorption de N devient réduite. Ces changements continuent jusqu'à ce qu'une nouvelle situation d'équilibre soit atteinte avec la même absorption de N et donc avec la même production qu'au départ. L'effet définitif d'une meilleure disponibilité de P est que le stock intermédiaire de N dans le sol est diminué. Un autre effet définitif, en faveur d'une fertilisation de P, qu'on peut envisager est une stimulation des légumineuses dans la végétation (partie 8.5.2). Mais sans ces légumineuses, l'effet sur la production d'une fertilisation de P sans fertilisation avec N est seulement temporaire.

Nous rappelons que l'aspect qualité de la végétation du point de vue fourragère peut être influencé d'une façon négative par la fertilisation avec P: dans les cas où le rapport P/N a une valeur moyenne (et la disponibilité de N et de P limitent la productivité), la productivité est stimulée par la fertilisation avec P, mais le taux de N de la biomasse produite au contraire diminue (partie 5.2.4), et donc sa valeur nutritive.

La discussion qui précède traite le cas d'une augmentation de la disponibilité de P. Peut-on utiliser la même théorie pour un épuisement de P par exploitation de la végétation? Au début d'un tel épuisement ceci est bien le cas. La croissance diminuée au début, par un manque de P, est compensée par une augmentation du stock intermédiaire de N et donc par une augmentation de l'excès temporaire. Cette situation tend aussi vers un nouvel équilibre dans lequel la quantité de N absorbée par les plantes reste la même mais les plantes souffrent d'une carence en P. Ce déplacement de la synchronisation entre croissance (surtout au début) et l'excès temporaire peut continuer, mais la cruche va tant à l'eau qu'à la fin elle casse: finalement, l'épuisement de P conduit à une situation dans laquelle le pourcentage de P dans la végétation garde sa valeur minimale pendant toute la croissance. La situation au ranch est proche de ce stade (fig. 5.2.4 et 5.2.18). Dans le

cas extrême, la fertilisation avec seulement du N ne donne aucune augmentation de la production et le rapport P/N reste minimal tout le temps. Les légumineuses, ayant besoin de plus de P par kilogramme de biomasse que les graminées (fig. 5.2.5) en souffrent plus, ce qui réduit leur contribution annuelle au bilan de N.