

Le projet P R O D U C T I O N P R I M A I R E au S A H E L (P P S)

à vu d'oiseau

Diffusion des résultats d'une étude des pâturages sahéliens, pour l'amélioration de la planification des programmes de développement de l'élevage et de la gestion des ressources naturelles.

Rédacteurs: H. Breman & P.W.J. Uithol

Edition: Centre de Recherches Agrobiologiques (CABO)
B.P. 14, 6700 AA Wageningen, les Pays-Bas

Financement: Direction Générale de la Coopération Internationale (DGIS)
des Pays-Bas

Wageningen - 1984

Table des matières

- noms des chercheurs et des adresses	3
- introduction	5
- rapport final	7
- colloque	9
- cours	13
- affiches	15
- contraintes écologiques et conséquences politiques	37
- manuel	43
- bibliographie annotée	
introduction	45
publications et leurs résumés	49
table des matières du rapport final du projet	97
index	105
résumé des études auto-écologiques	113

N o m s d e s c h e r c h e u r s e t d e s a d r e s s e s

Breman, H. Centre de Recherches Agrobiologiques (CABO)
 B.P. 14, 6700 AA Wageningen, les Pays-Bas

Cissé, A.M. Ecole Normale Supérieure (ENSup.)
 B.P. 241, Bamako, République du Mali

Cissé, I.B. Société Nationale d'Etude pour le Développement (SNED)
 B.P. 1846, Bamako, République du Mali

Diallo, A. Centre International pour l'Elevage en Afrique (CIPEA)
 B.P. 60, Bamako, République du Mali

Djitèye, M.A. Institut d'Economie Rurale (IER)
 B.P. 258, Bamako, République du Mali

Elberse, W.Th. Centre de Recherches Agrobiologiques (CABO)
 B.P. 14, 6700 AA Wageningen, les Pays-Bas

Heemst, H.D.J.. van Centre de Recherches Agrobiologiques (CABO)
 B.P. 14, 6700 AA Wageningen, les Pays-Bas

Keulen, H. van Centre de Recherches Agrobiologiques (CABO)
 B.P. 14, 6700 AA Wageningen, les Pays-Bas

Koné, D. Institut d'Economie Rurale (IER)
 B.P. 258, Bamako, République du Mali

Krul, J.M. Algemeen Diakonaal Bureau (ADB)
 Postbus 202, 3830 AE Leusden, les Pays-Bas

Penning de Vries, F.W.T. Centre de Recherches Agrobiologiques (CABO)
 B.P. 14, 6700 AA Wageningen, les Pays-Bas

Pol, F. van der Institut Royal des Régions Tropicales (KIT)
 Mauritskade 63, 1092 AD Amsterdam, les Pays-Bas

Ridder, N. de Centre International Pour l'Elevage en Afrique (CIPEA)
 B.P. 5689, Addis-Abeba, Ethiopie

Spitters, C.J.T. Institut National Agronomique, département d'Ecologie Théorique
 B.P. 430, 6700 AK Wageningen, les Pays-Bas

Stroosnijder, L.	Institut National Agronomique, département de Science du Sol et de l'Application des Engrais B.P. 8005, 6700 EC Wageningen, les Pays-Bas
Traoré, G.	Projet d'Inventaire des Ressources Terrestres (PIRT) B.P. 2357, Bamako, République du Mali
Wit, C.T. de	Institut National Agronomique, département d'Ecologie Théorique B.P. 430, 6700 AK Wageningen, les Pays-Bas

Adresses pour renseignements:

Centre de Recherches Agrobiologiques
B.P. 14, 6700 AA Wageningen, les Pays-Bas
Institut d'Economie Rurale
B.P. 258, Bamako, République du Mali
Département d'Ecologie Théorique
B.P. 430, 6700 AK Wageningen, les Pays-Bas

I n t r o d u c t i o n

Le projet 'Production Primaire au Sahel' (PPS) était un projet de recherche scientifique exécuté par l'Institut d'Economie Rurale (Bamako, Mali), le département d'Ecologie Théorique de l'Université Agronomique et le Centre de Recherches Agrobiologiques, ces deux derniers à Wageningen (les Pays-Bas). Les buts de la recherche sur la productivité végétale des pâturages sahéliens se résument comme suit: améliorer la connaissance du rendement végétal des pâturages sous différentes intensités d'exploitation, et étudier les possibilités d'augmenter ce rendement avec des légumineuses, des engrais ou par changement de la pression animale. Le projet, exécuté surtout au Mali de 1976 à 1981, a été financé par la Direction Générale de la Coopération Internationale des Pays-Bas et par le Ministère du Développement Rural du Mali.

Les résultats des recherches ont été synthétisés dans un rapport final intitulé 'La productivité des pâturages sahéliens - Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle' et dans des autres publications.

Plusieurs activités ont été organisées ou sont en cours pour la diffusion de ces résultats:

- Le projet PPS, en collaboration avec l'Institut du Sahel et le Centre International pour l'Elevage en Afrique, a organisé un colloque scientifique de 3 jours en janvier 1981 à Bamako pour des cadres supérieurs des pays du CILSS*. L'assemblée de ce colloque international a formulé 14 thèses et 6 recommandations.
- Il y avait trois cours PPS (entre février 1981 et novembre 1982 à Bamako) pour cadres moyens et supérieurs sahéliens, dont les deux derniers ont été organisés sous la responsabilité de l'Institut du Sahel pour tous les pays du CILSS.
- A l'occasion de la transmission du rapport final aux autorités néerlandaises et maliennes, le 29 juin 1982 à Wageningen, on a présenté un dizaine d'affiches, illustrant quelques aspects clefs des résultats de la recherche.

* Comité International pour la Lutte contre la Sécheresse au Sahel

- A la même occasion une note a été présentée, intitulée 'Contraintes écologiques et conséquences politiques', indiquant l'importance des résultats du projet PPS pour les programmes de développement de la région sahélienne.
- Un manuel est en préparation pour l'évaluation pratique des potentialités des pâturages sahéliens. Dans ce cadre on produira une carte détaillée d'un trajet nord-sud d'environ 300 km de longueur qui servira à la fois de base pour des exemples d'estimation de la production végétale et animale des zones écologiques diverses, et pour des études de l'évolution de l'environnement sahélien dans l'avenir.

La première partie de cette revue à vu d'oiseau présente les thèses et les recommandations du colloque à Bamako; les dix affiches et la note mentionnée 'Contraintes écologiques et conséquences politiques'. Elle renseigne aussi sur les cours 'la Production des Pâturages Sahéliens (PPS)' et sur le manuel de l'évaluation des pâturages sahéliens.

La deuxième partie de ce livre consiste d'une bibliographie annotée de 80 publications, pour la plupart du projet ou des membres individuels du projet. Son introduction (pages 45-47) explique comment l'utiliser. Il n'y a pas seulement présenté un résumé de toutes les publications, mais aussi une table des matières, un index et un résumé des études auto-écologiques.

Le rapport final

Penning de Vries, F.W.T. & M.A. Djitèye (Eds.) (1982). La productivité des pâturages sahéliens - Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. Agric. Res. Rep. (Versl. Landbouwk. Onderz.) 918, ISBN 90 220 0806 1, (xxiii) + 525 p., 145 fig., 95 tab., 235 réf., Index des sujets.

Résumé

Le bilan d'eau, les cycles d'azote et de phosphore, la production actuelle et potentielle et l'écologie des pâturages sahéliens ont été examinés systématiquement afin de comprendre et de quantifier le potentiel de cette ressource. L'étude a été analytique plutôt que descriptive, et de ce fait ses résultats seront souvent valables pour l'ensemble de la zone. La simulation avec des modèles dynamiques a été employée dans plusieurs cas.

La pauvreté du sol, notamment le déficit d'azote et de phosphore, est souvent un facteur plus limitatif que la pluviosité faible et irrégulière. C'est pour cela que le bilan d'azote des pâturages à long terme est considéré pour faire comprendre le niveau de la production actuelle des pâturages et pour estimer l'efficacité des mesures et des interventions éventuelles d'aménagement et de gestion.

La disponibilité d'azote et de phosphore du sol pour les plantes reste au même niveau quand on traverse le Sahel du Nord au Sud, tandis que la disponibilité d'eau augmente. Ceci fait que la productivité des pâturages augmente en général dans ce sens, mais la qualité du fourrage - son taux d'azote et de phosphore - diminue fortement. C'est ainsi que la carence de fourrage d'une qualité acceptable est le problème clef de l'élevage. L'élevage traditionnel est une adaptation rationnelle et efficace à cette situation. Mais la croissance démographique exige une telle intensité d'exploitation des pâturages, que leur fertilité et productivité diminuent progressivement, ce qui provoque leur dégradation.

Des options techniques existent pour augmenter la disponibilité de fourrage et sa qualité. Pourtant, elles ne sont pas rentables, peut-être à l'exception de l'intégration croissante de l'élevage et de l'agriculture en intensifiant cette dernière simultanément.

Mots clefs: précipitation, bilan d'eau, fertilité de sol, azote, phosphore, productivité (potentielle), qualité de fourrage, systèmes d'élevage, transhumance, dégradation, feux de brousse, légumineuses, gestion, aménagement.

L e c o l l o q u e

Les 29, 30 et 31 janvier 1981 le projet PPS a organisé, en collaboration avec l'Institut du Sahel et le Centre International pour l'Elevage en Afrique (CIPEA), un colloque sur les résultats du projet 'Production Primaire au Sahel', une recherche sur des pâturages sahéliens, à Bamako, Mali.

Y ont participé onze représentants officiels et une dizaine d'observateurs des pays sahéliens, ainsi qu'une vingtaine d'observateurs des organisations internationales et bilatérales. Le colloque était dirigé par un panel composé de dr. G. Boudet, Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire Tropical, Paris, France, dr. L.J. Lambourne, CIPEA, Addis Abeba, Ethiopie, dr. A.K. Diallo, Laboratoire National de Recherches Vétérinaires, Dakar, Sénégal et dr. Th.M. Wormer, Institut Tropical Royale (KIT), Amsterdam, les Pays-Bas. A la fin du colloque on a accepté les thèses et les recommandations suivantes.

Thèses concernant les pâturages et l'élevage sahéliens
(zone entre les isohyètes de 100 et 600 mm):

1. La productivité de l'élevage sahélien, exprimée en protéines animales par unité de surface, est au moins égale ou même supérieure à celle du 'ranching' des zones comparables aux Etats-Unis et en Australie.
2. Ce n'est pas la sécheresse qui est le problème numéro un au Sahel, pour la production primaire, mais la pauvreté du sol. Par suite d'une augmentation de l'exploitation causée par des besoins croissants de développement et de l'explosion démographique, la zone est sujette à une productivité décroissante.
3. L'eau de pluie au Sahel n'est pas utilisée de façon optimale pour la production végétale, les sols étant carencés en azote et en phosphore. C'est ainsi qu'au sud du Sahel seulement 10% de la pluviosité annuelle est utilisée par les plantes alors que la production végétale sous les mêmes conditions pluviométriques pourrait y être quintuplée par apport d'engrais.
4. La transformation de l'engrais azoté en protéines végétales est très efficace sous les conditions sahéliennes. Mais l'utilisation d'engrais azotés dans l'élevage

sahélien est d'un coût trop élevé par rapport au cours actuel de la viande, d'autant plus que le rendement de la transformation des protéines végétales en protéines animales est relativement bas.

5. Il en est de même pour l'utilisation des engrais phosphatés pour les pâturages sahéliens. Plusieurs pays sahéliens possèdent cependant de grandes réserves de phosphates naturels, mais l'utilisation par les plantes de ce phosphore est 10 à 20 fois moins rapide que celui des phosphates traités.
6. Il y a au Sahel beaucoup de légumineuses locales à bonne capacité de fixation d'azote, mais leur faible pouvoir de compétition vis-à-vis des graminées, leur mode de germination, la pauvreté des sols en phosphore et la pluviosité basse limitent leur intérêt pour la productivité et la qualité des pâturages. L'introduction immédiate de nouvelles espèces légumineuses risque d'échouer pour les mêmes raisons et une expérimentation préalable est nécessaire.
7. En moyenne seulement 75% de la pluviosité pénètre dans le sol, le reste ruisselle. Le ruissellement est une source importante d'eau d'abreuvement de surface. Mais l'exploitation des pâturages aggrave le ruissellement et la surexploitation peut causer un ruissellement excessif, qui entraîne une dégradation de l'environnement.
8. En général il n'est pas question d'une avancée du Sahara vers le Sud: un manque d'eau d'abreuvement protège le flanc du désert contre la surexploitation. Par contre la surexploitation cause une dégradation croissante de l'environnement au sud du Sahel et au nord de la savane.
9. En plus des cultures commerciales développées avant l'Indépendance des Etats sahéliens, la satisfaction des besoins entraînés par l'accroissement de la démographie a provoqué un accroissement des superficies cultivées aussi bien que des charges en bétail. Il en résulte un appauvrissement graduel des sols et une productivité déclinante. Seul l'apport de nouveaux moyens de production peut inverser ce processus de dégradation.
10. Des projets de développement de l'élevage sahélien doivent choisir entre les stratégies suivantes (ou leurs combinaisons):
 - augmentation de la production sans apport de moyens de production (ceci implique un épuisement plus rapide des ressources naturelles de la zone);
 - augmentation de la production par unité de production du nombre des éleveurs (ceci risque d'augmenter le paupérisme d'une partie de la population);

- augmentation de la productivité par l'apport de moyens de production (ceci rend la production moins dépendante de l'environnement).
11. Des options techniques existent pour augmenter la productivité du Sahel. Mais les bénéfices qui en découlent ne pourront pas financer les investissements pourtant indispensables. Cela signifie le maintien ou l'augmentation de la production sous forme d'aides financières. Ces aides et ces prêts sont actuellement insuffisants.
 12. L'agriculture du sud du Sahel et du nord de la savane profite actuellement plus de l'élevage, que l'élevage de l'agriculture. Des efforts pour renverser cette situation, donc de faire profiter l'élevage de l'agriculture par leur intégration, suppose que la quantité et la qualité des sous-produits agricoles devront être améliorées par le recours aux engrais.
 13. Par leur influence favorable sur l'offre de fourrages de qualité, le feu et la pâture assurent, dans le système traditionnel, le bon fonctionnement de l'élevage sahélien. La lutte contre les feux de brousse et la surexploitation pour combattre la dégradation et la diminution de la productivité suppose qu'au préalable le déficit en protéines du fourrage de saison sèche soit comblé.
 14. En moyenne le recouvrement naturel des arbres varie au Sahel entre 0 et 5%, en équilibre avec les ressources en eau. La plantation d'arbres n'a de chance de réussir qu'aux endroits où le bilan hydrique est augmenté par l'écoulement, c'est-à-dire sur moins d'un dixième de la région.

Recommandations:

A la suite des conclusions positives du programme de recherche P.P.S., les délégués réunis au colloque de l'Institut du Sahel (CILSS), du Gouvernement Royal néerlandais et du CIPEA, du 29 au 31 janvier 1981, recommandent,

1. La poursuite de l'étude du mécanisme du démarrage de la végétation et de la diversification floristique (ruissellement et bilan hydrique en particulier) afin de préconiser une méthode d'évaluation rapide des productions fourragères année par année pouvant être adoptée par des utilisateurs (service de production animale, pastoralisme, planification) en vue d'améliorer l'équilibre entre les ressources et leur degré d'exploitation.
2. La poursuite de l'étude de la dégradation et de la régénération des sols fragiles dont l'emprise est de plus en plus importante au Sahel, en particulier préciser les seuils de rupture à partir desquels des mises hors pâture devraient être appliquées.
3. Des études comparatives, dans plusieurs systèmes d'élevage, de l'ingestion volontaire et du profit que le bétail tire des pâturages sahéliens.
4. Des études sur les effets à long terme sur la fertilité du sol, la production et l'équilibre floristique des couverts herbacés et ligneux à la suite d'interventions modifiant l'équilibre évaporation - transpiration - stock d'eau (travail du sol, irrigation de complément ...) ou le bilan d'azote des pâturages, aussi bien que l'effet de divers charges en bétail et rythmes de broutage.
5. Des études complémentaires mais prioritaires sur l'aspect socio-économique de l'utilisation de la production primaire au Sahel (stratégies traditionnelles et possibilités d'adaptation aux conditions du monde d'aujourd'hui: gestions diversifiées des ressources en fourrage, définition des terroirs pastoraux).
6. Une amélioration de la formation des cadres agronomiques des Etats sahéliens en vue de mettre l'accent sur la pédologie, et notamment le bilan hydrique et la fertilité des sols.

L e s c o u r s

But et organisation

Le but des cours 'la Production des Pâturages Sahéliens (PPS)' était de présenter et expliquer les connaissances scientifiques, obtenues par le projet PPS. Trois cours ont été organisés au Mali par l'Université Agronomique (Wageningen) en coopération avec l'Institut du Sahel (Bamako). Le financement a été assuré par la Direction Générale de la Coopération Internationale (DCIS, les Pays-Bas).

Leur durée était quatre semaines et ils étaient en français. Les textes sont maintenant disponibles pour une utilisation générale, en français aussi bien qu'en anglais. Ils sont utiles pour la formation de cadres sahéliens moyens et supérieurs s'occupant directement ou indirectement de l'élevage, de la gestion des pâturages ou de l'environnement en général (par exemple des agrostologues et écologistes des projets de développement rural et forestier; des chercheurs du domaine de l'élevage, des eaux et forêts; des planificateurs aux ministères; des professeurs des écoles agricoles). Pour la compréhension et l'utilisation des textes il faut un niveau de formation universitaire (2^e cycle au moins).

Le cours est divisé en trois parties: une partie théorique de deux semaines, une étude sur le terrain, et l'étude des cas (d'une semaine chacune). La partie théorique est composée de conférences et travaux pratiques, tous deux présentés dans les livres de cours. Des diapositives pour l'illustration des conférences et un film sur la transhumance sont également disponibles. Les livres contiennent aussi un guide manuel pour l'excursion sur le terrain et quatre exemples d'études de cas. Les présentations sont conçues de manière à engager les participants dans une activité de plus en plus personnelle.

Contenu du cours

1. L'élevage et ses problèmes.

Les systèmes principaux d'élevage traditionnel et leurs restrictions, surtout du point de vue des pâturages et de leur production annuelle; évaluations des alternatives modernes à ces mêmes ressources.

2. L'écosystème sahélien.

Le rôle des 3 éléments de l'écosystème: le climat, le substrat et la végétation pour la productivité de cette dernière. Les types de substrat, leur distribution et leurs caractères chimiques et physiques. Les conditions de la surface du sol et le risque de sa dégradation. Les caractères des espèces importantes.

3. Le bilan d'eau.

Le bilan d'eau pendant la germination et la croissance. L'influence de la distribution des pluies sur la germination et sur la survivance des plantules. Les processus déterminants: le ruissellement, l'infiltration, l'évaporation du sol et la transpiration des plantes pendant la croissance.

4. Le bilan des éléments nutritifs.

La disponibilité de l'azote et du phosphore. Est-ce que l'azote ou/et le phosphore est un facteur limitatif pour la croissance? Le bilan de l'azote et du phosphore: l'exploitation et l'épuisement de l'environnement. Une carence du phosphore au début de la croissance et une carence de l'azote; leur influence sur la production.

5. La dynamique de la végétation.

La dynamique à court terme et la dynamique à long terme. Le climat, le substrat et les activités humaines (feu, exploitation) en relation avec la dynamique de la végétation.

6. Le calcul de la croissance.

Beaucoup de facteurs de la croissance sont présentés sous forme de processus. Si la quantité d'information disponible est suffisante, on pourra calculer la croissance actuelle et potentielle pendant une année à l'aide d'une calculatrice. Une méthode simple montre tous les facteurs qui contribuent à la croissance et elle permet de faire une estimation de la production annuelle déjà en août, et elle peut donc former une base de prise des décisions pour la gestion des pâturages de la saison sèche suivante.

7. L'exploitation des pâturages.

La variation de la quantité et de la qualité de la nourriture pendant une année, et d'une année à l'autre, en relation avec l'exploitation et l'épuisement de l'environnement.

8. Options d'amélioration de la production des pâturages.

Options techniques: fertilisation, conservation des fourrages, points d'abreuvement, introduction et stimulation des légumineuses dans les pâturages naturels, la culture de ces fixateurs d'azote en monoculture.

L e s a f f i c h e s

Les dix affiches suivantes ont été dessinées par M. Gerhard Lentink*, invité dans le cadre du projet à l'occasion de la présentation officielle du rapport final le 29 juin 1982. Elles sont surtout basées sur les thèses acceptées par le colloque (pages 9-11). Les affiches sont à la disposition de ceux qui s'efforcent de faire comprendre la situation sahélienne au grand public.

* Gerhard Lentink
 Voorstraat 165
 3311 EN Dordrecht
 Les Pays-Bas

A U - D E L A D E L A S E C H E R E S S E

Identification des difficultés dans la problématique du Sahel.




lokalisatie van knelpunten
in de samenlevingsproblematiek

achter de droogte

D E L ' A I D E - - - O U D U S A B L E A U S A H A R A ?

L'efficacité des programmes d'aide au Sahel après la sécheresse cat.strophique est notamment insuffisante, même dans les cas où l'aide a été bien organisée et exécutée par des personnes capables et bien motivées.



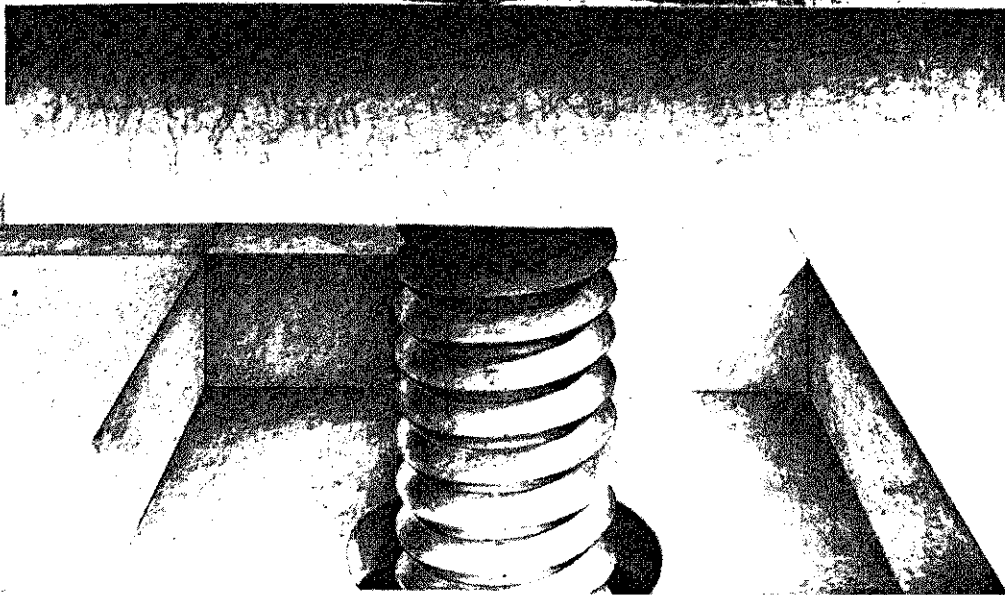
De effectiviteit van hulp aan de Sahel, na de droogteramp, is vaak be-
druwend laag, zelfs in die gevallen
dat de hulp goed georganiseerd is en
wordt uitgevoerd door capabele, gemoti-
veerde mensen.

**hulp...of zand
naar de sahara?**

T R O P D E B E T A I L ?

La cause de l'inefficacité de l'aide provient souvent d'une appréciation incorrecte des problèmes: outre sécheresse, le surpâturage par des troupeaux trop grands et mal composés et l'épuisement de champs par des cultures commerciales peuvent également contribuer à une situation de famine. Le projet malien-néerlandais 'Production Primaire au Sahel' (PPS), qui portait sur une étude de la production végétale des pâturages pendant les années '76 - '81, conteste la thèse selon laquelle la surexploitation et la sécheresse expliqueraient la faible disponibilité et la basse qualité de la nourriture humaine et animale de cette région.

Oorzaak van ineffektieve hulp is vaak het onjuiste beeld dat van de problematiek gevormd is: naast droogte zouden overbeweiding door te grote en verkeerd samengestelde kuddes en uitputting van akkers door cash-crops mede verantwoordelijk zijn voor de hongersnood. Het Malinees-Nederlandse project "Primaire Produktie Sahel" (P.P.S.), dat gedurende de jaren '76 - '81 de plantaardige produktie van Sahelweiden onderzocht, zet vraagtekens achter de stellingname dat overexploitatie en droogte de verklaring vormen voor de geringe beschikbaarheid en de lage kwaliteit van voedsel voor mens en dier.

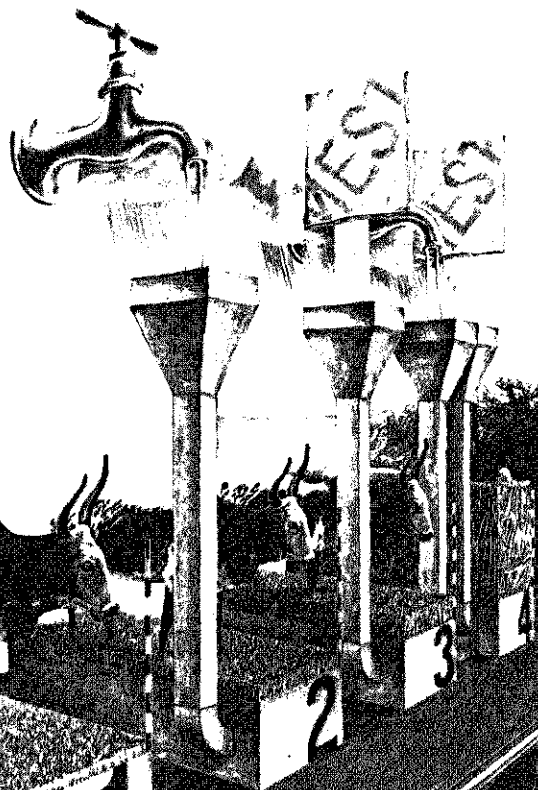


te veel vee!?

QUEL EST LE CHAINON LE PLUS FAIBLE ?

Le bilan d'eau établi pour des pâturages sahéliens montre que la végétation n'utilise en moyenne que 10 à 20% de l'eau de pluie. Environ 60% disparaît par évaporation et 25% ruisselle. A la fin de la saison de croissance on trouve encore jusqu'à 20% de l'eau de pluie dans le sol, à la portée des racines des plantes. En d'autres termes, ce n'est pas un manque d'eau qui fait arrêter la croissance de la végétation. Si la fertilité du sol est améliorée par l'application d'engrais, il apparaît que la végétation absorbe plus d'eau et produit davantage: ce n'est pas l'eau qui est le facteur limitatif, mais le déficit en éléments nutritifs. Si l'on applique suffisamment d'azote et de phosphore dans la partie sud du Sahel, la production pourra augmenter jusqu'au quintuple sous des précipitations naturelles, et la végétation utilisera effectivement 50% de l'eau de pluie.

Uit een voor Sahelweiden opgestelde waterbalans blijkt dat de vegetatie gemiddeld niet meer dan 10 à 20% van het regenwater gebruikt. Ongeveer 60% verdwijnt door verdamping en 25% stroomt af. Aan het einde van het groeiseizoen wordt er nog tot 20% van het regenwater in de bodem aangetroffen, binnen het bereik van de plantenvortels. Met andere woorden, het is geen tekort aan water dat de vegetatie doet stoppen met produceren. Door via bemesting de bodemvruchtbaarheid te verhogen blijkt de vegetatie meer water op te nemen en meer te produceren: niet water is de beperkende factor maar tekort aan nutriënten. Door in voldoende mate stikstof en fosfor toe te dienen kan in het zuiden van de Sahel de productie, bij de natuurlijke neerslag, maximaal vervijfvoudigen, waarbij 50% van het regenwater door de vegetatie effectief gebruikt wordt.

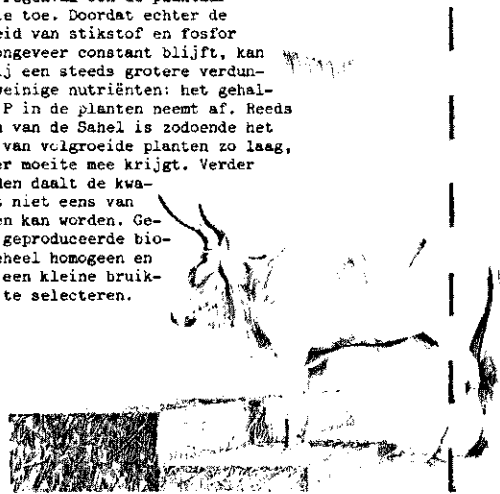


**welke schakel
de zwakste?**

Q U A L I T E C O N T R E Q U A N T I T E

En s'approchant du Sahara l'application d'engrais devient de moins à moins efficace; la pluviosité y devient si basse que la végétation n'arrive pas à épuiser le peu d'éléments nutritifs naturels. Allant du Sahara par le Sahel vers les savanes, la production végétale augmente avec la pluviosité. Cependant, comme la disponibilité de l'azote et du phosphore reste à peu près constante, cette production n'est possible que par une dilution progressive de la quantité limitée d'éléments nutritifs: les teneurs en N et en P dans les plantes diminuent. C'est ainsi que déjà au mi-Sahel, la teneur en protéine des plantes adultes est si basse qu'elle constitue un problème pour le bétail. Plus vers le Sud la qualité diminue tellement qu'on ne peut même pas parler de fourrage. La biomasse produite n'est pas entièrement homogène, heureusement, et le bétail arrive à sélectionner une petite fraction utilisable. ('goed' = bon, 'middel' = moyen, 'slecht' = mauvais)

Hoe dichter bij de Sahara des te minder effect heeft bemesting; de regenval wordt er zo laag dat de vegetatie in de korte groeiduur die haar gegeven is, geen kans ziet de weinige natuurlijke nutriënten op te maken. Van Sahara via Sahel naar de savannen, neemt met de regenval ook de plantaardige produktie toe. Doordat echter de beschikbaarheid van stikstof en fosfor in de bodem ongeveer constant blijft, kan dit alleen bij een steeds grotere verdunning van de weinige nutriënten; het gehaltes aan N en P in de planten neemt af. Reeds in het midden van de Sahel is zodoende het eiwitgehalte van volgroeide planten zo laag, dat het vee er moeite mee krijgt. Verder naar het zuiden daalt de kwaliteit zo dat niet eens van voer gesproken kan worden. Gelukkig is de geproduceerde biomassa niet geheel homogeen en veet het vee een kleine bruikbare fractie te selecteren.



GOED MIDDEL SLECHT
NOORD-SAHEL



GOED MIDDEL SLECHT
ZUID-SAHEL



GOED MIDDEL SLECHT
SAVANNE

**kwiteit haaks
op kwantiteit**

T R A N S H U M A N C E

La transhumance semi-nomade, le système d'élevage de loin le plus important au Sahel, profite de la qualité élevée du fourrage dans le Nord pendant la saison de pluie, tandis qu'en saison sèche elle essaie de maintenir le bétail près des points d'eau permanents de la partie sud du Sahel ou dans les parties nord des savanes. En termes de production de protéines animales par unité de surface, cette forme d'élevage traditionnelle est au moins aussi productive que le 'ranching' moderne de régions comparables aux Etats-Unis et en Australie.

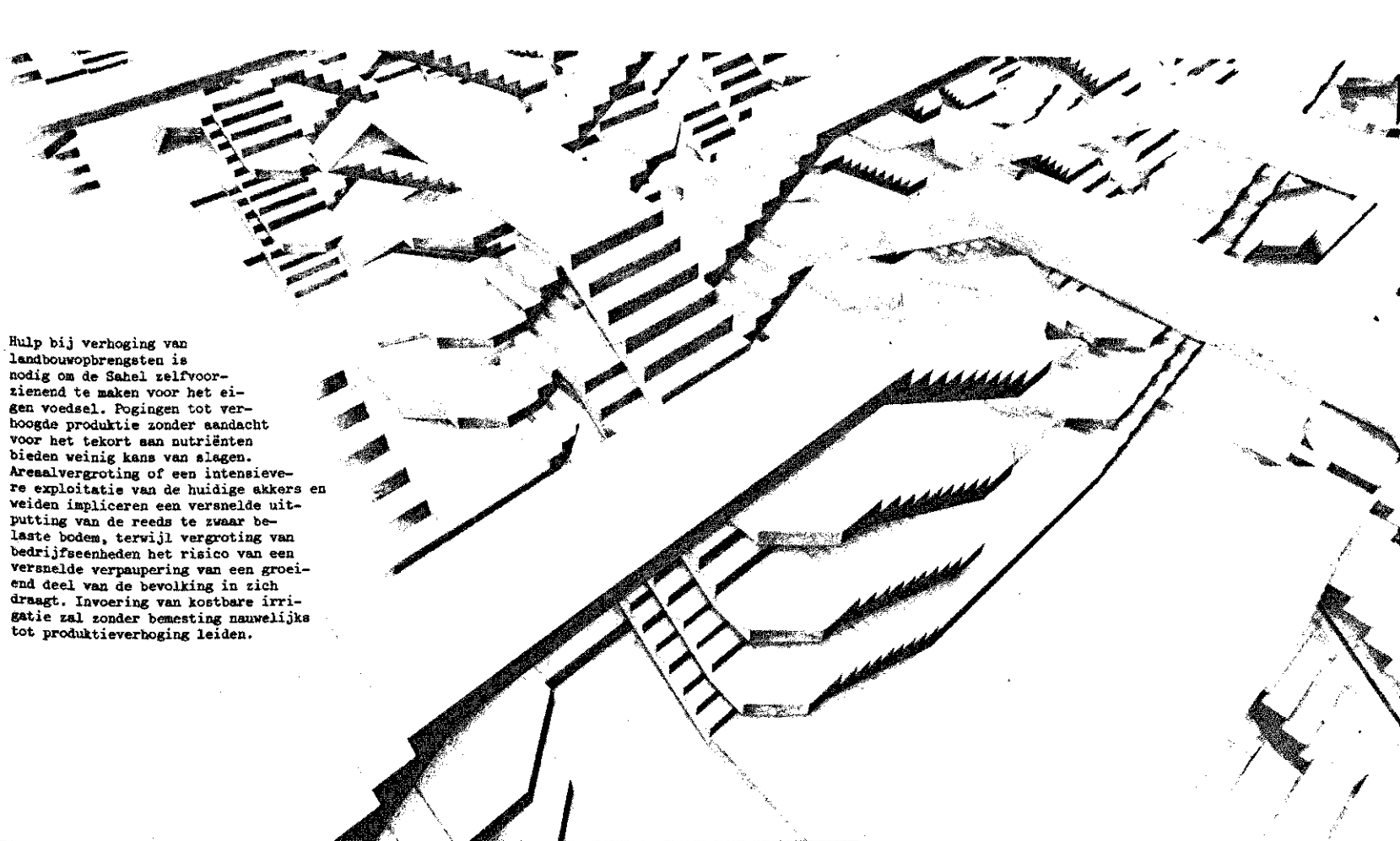
De halfnomadische transhumance, verreweg de belangrijkste vorm van veehouderij in de Sahel, profiteert in de regentijd van de hoge kwaliteit van het voer in het noorden, terwijl in de droge tijd getracht wordt het vee op peil te houden bij permanente waterbronnen in de Zuid-Sahel of de noordelijke savannen. Deze traditionele vorm van veehouderij is, gerekend naar produktie van dierlijk eiwit per oppervlakte-eenheid, ten minste zo produktief als moderne "ranching" in vergelijkbare gebieden in de USA en in Australië.



transhumance

VOIES SANS PROGRES

De l'aide en matière d'augmentation de la production agricole s'impose afin de permettre au Sahel de se suffire sur le plan alimentaire. Les efforts d'augmentation de production qui feraient abstraction du manque d'éléments nutritifs seraient voués à l'échec. L'augmentation de la superficie agricole ou l'exploitation plus intensive des champs et des pâturages actuels se traduiraient par un épuisement accéléré du sol déjà trop chargé, tandis que l'agrandissement des unités d'exploitation impliquerait le risque d'un paupérisme accéléré pour une partie croissante de la population. L'aménagement de coûteuses irrigations sans application d'engrais n'augmentera qu'à peine la production.



Hulp bij verhoging van landbouwopbrengsten is nodig om de Sahel zelfvoorzienend te maken voor het eigen voedsel. Pogingen tot verhoogde produktie zonder aandacht voor het tekort aan nutriënten bieden weinig kans van slagen. Arealvergroting of een intensievere exploitatie van de huidige akkers en veiden impliceren een versnelde uitputting van de reeds te zwaar belaste bodem, terwijl vergroting van bedrijfsseenheden het risico van een versnelde verpaupering van een groeiend deel van de bevolking in zich draagt. Invoering van kostbare irrigatie zal zonder bemesting nauwelijks tot produktieverhoging leiden.

wegen zonder progressie

U N E O P T I O N R E A L I S A B L E ?

Une solution qui semble s'imposer, selon l'analyse PPS, est l'augmentation de la production par apport d'engrais. Une telle approche pourrait être probante et ralentir la dégradation de l'environnement. Malheureusement, on est loin de pouvoir rentabiliser l'utilisation d'engrais pour la production de lait, de viande et de céréales. Elle ne se paie que dans les cultures commerciales comme le coton et l'arachide.




MEST

Een oplossing waarnaar de P.P.S. analyse direct lijkt te wijzen is produktieverhoging via bemesting. Een dergelijke benadering zou effectief kunnen zijn en de milieu degradatie zou er door kunnen worden afgeremd, maar de rentabiliteit van kunstmestgebruik voor melk-, vlees- en graanproduktie is helaas ver te zoeken. Slechts voor cash-crops als katoen en pinda's is het gebruik ervan betaalbaar.

een haalbare optie?

U N E A L T E R N A T I V E N A T U R E L L E ?

Une alternative suggérée pour des engrais chimiques coûteux est la fixation de l'azote aérien par des légumineuses indigènes ou introduites, stimulées par du phosphate naturel à extraire au Sahel. Cependant, ce phosphate apparaît beaucoup moins efficace que celui de l'engrais chimique: il en faut donc de grandes quantités et l'avantage de son prix relativement bas est annihilé par des frais de transport très élevés. Et parce qu'en outre la stimulation de légumineuses ne peut guère être envisagée sous les conditions climatiques qui existent, à cause de différences typiques de germination et pouvoir de compétition entre légumineuses et graminées en présence, cette voie n'offre guère de perspectives à l'heure actuelle.



Een gesuggereerd alternatief voor dure kunstmest is binding luchtstikstof door natuurlijk voorkomende of geïntroceerde vlinderbloemen, gestimuleerd door in de Sahel te winnen natuurlijk fosfaat. Dit fosfaat blijkt echter veel minder effectief dan fosfaat uit kunstmest; grote hoeveelheden zijn dus nodig en de relatief lage prijs wordt teniet gedaan door hoge transportkosten. Omdat daarbij onder de heersende klimaatcondities het vlinderbloemenbestand niet veel verbeterd kan worden vanwege een typisch verschil in kiemgedrag en concurrentiekracht tussen vlinderbloemen en de aanwezige grassen, is er momenteel zelden sprake van een opening naar een oplossing.

**een
natuurlijk
alternatief?**

I L N ' Y A P A S D E S O L U T I O N T O U T E F A I T E

Néanmoins, vu la misère qui règne dans la région sahélienne, la fertilisation par les engrais aux phosphates et les légumineuses méritent d'être considérées, à côté de l'intégration de l'agriculture et de l'élevage. Les recherches agronomiques portant sur le développement rural devront indiquer toujours, selon les situations locales, quelle sera la meilleure voie à choisir entre les limites très étroites du climat et du sol. De toute façon, de vraies possibilités d'amélioration ne pourront exister au Sahel qu'avec le partage équitable des moyens et potentialités de tous les hommes: c'est la politique qui déterminera si des potentialités agronomiques se réaliseront ou non.

Toch verdienen gezien de nood in het Sahelgebied fosfaatbesteding en vlinderbloemigen naast integratie van akkerbouw en veeteelt ruime aandacht. Op ontwikkeling gericht landbouwkundig onderzoek moet, afhankelijk van lokale situaties, binnen de zeer krappe manoeuvreerruimte die klimaat en bodem bieden, aangeven welke weg van moment tot moment het beste gekozen kan worden. Werkelijke ruimte ontstaat er overigens alleen voor de Sahel bij een eerlijke verdeling van middelen en mogelijkheden tussen mensen op wereldschaal: politiek bepaalt of landbouwkundige mogelijkheden eer. haalbare kaart vormen.



**pasklare oplossing
ontbreekt**

C o n t r a i n t e s é c o l o g i q u e s e t c o n s é q u e n c e s
p o l i t i q u e s

L'importance des résultats du projet de recherche dit 'Production Primaire au Sahel' pour l'effort de développement dans le Sahel.

Les plans de développement régional

A première vue publier sur la production des pâturages sahéliens peut sembler prétentieux dans le cas où les travaux sur le terrain sont limités à une petite partie de l'un des pays sahéliens. Cependant, la généralisation est justifiée par le caractère analytique de l'étude; ce n'est pas une région qui est décrite mais les processus les plus importants qui déterminent la production. L'objet de ce travail est de permettre une évaluation rapide et précise d'une région afin d'établir des plans de développement régional.

Une compréhension améliorée

L'étude de base en soi augmentait déjà la connaissance existante des problèmes associés au Sahel, notamment en ce qui concerne les points suivants:

1. La qualité médiocre du sol est une barrière au développement aussi significative que les conditions climatiques.
2. Les pastoralistes nomades et semi-nomades entendent très bien tirer parti de leur environnement difficile: la production par animal est basse, mais elle est élevée par unité de surface.

On saura difficilement convaincre ceux qui sont concernés par le développement du Sahel de la valeur des constatations qui ressortent de cette étude. L'accent mis par l'étude sur l'environnement n'est pas considéré comme essentiel par ceux qui voient dans les insuffisances de la gestion ou de la structure sociale les zones problématiques les plus importantes. Les approches diverses au problème du Sahel sont malheureusement trop souvent considérées comme contradictoires plutôt que complémentaires.

Des conséquences profondes

Des millions de francs pourraient être dépensés plus efficacement si les résultats de l'étude de PPS faisaient l'objet d'une réflexion approfondie et étaient appliqués dans le cadre de projets et programmes. Les pays sahéliens et les agences nationales et internationales de l'assistance au développement doivent se pénétrer des contraintes écologiques sévères qui se dressent sur la voie du développement. Il existe un vrai danger que les millions de francs affectés au développement entraînent plus de mal que de bien.

La surestimation des méthodes modernes

Tant qu'on sera obsédé par le problème de la sécheresse et de l'eau et qu'on passera sous silence le problème de la pauvreté du sol l'aménagement de barrages, de projets d'irrigation, de puits et de forages aideront la population sahélienne d'un mal dans un pire. L'augmentation de la production obtenue par l'application d'une eau si chère sera presque négligeable à cause de la pauvreté du sol. Il ne peut donc être question de financer ainsi un programme de développement soutenu et autonome.

Sans entrer dans le détail quelques exemples suffiront pour illustrer la situation:

1. Augmentation de la production du lait de la ville X

On espère assurer la population de X son propre approvisionnement en lait, ce en irriguant les pâturages. Sans adopter l'hypothèse optimiste selon laquelle chacune des 400 vaches envisagées à la station proposée, donnera 1500 litres de lait par an, il faut remarquer qu'en sus d'un investissement initial supérieur à un million de dollars, et des dépenses d'exploitation qui représentent 0,2 million par an, le coût des engrais s'élèvera à 0,1 million de dollars de plus par an. Le lait sera ainsi plus cher que le lait en poudre importé'. (Extrait d'un commentaire sur une proposition de projet).

2. Construction de barrages en terre

On se fait guider dans le meilleur cas, pour la prévision de la production de céréales grâce à l'eau retenue par un barrage, sur les niveaux traditionnels de la production céréalière dans les bas-fonds contenant des eaux de pluie en stagnation intérimaire. C'est une erreur. La fertilité du sol dans les dépressions naturelles de ce type est en général plus élevée que celle des terres inondées par des barrages artificiels: a. Le volume de

sédiments fertiles amenés dans les bas-fonds est en effet plus important. b. Le bétail qui vient boire à la dépression y dépose suffisamment de fumier pour maintenir le niveau de la fertilité du sol dans les petits champs traditionnels; par contre, ce volume de fumier est négligeable dans les grandes zones de terres irriguées artificiellement.

3. L'amélioration de la gestion des pâturages

Sur le papier, le coût des pare-feux, de l'approvisionnement en eau potable, de la fenaison, etcétera, est financé par l'accroissement de la disponibilité de fourrage. En général cependant, on ne tient compte que de la biomasse, sans reconnaître l'importance de la qualité. On présume ainsi que, dans la région septentrionale du Sahel, on peut produire 10 kg de viande à partir de 1000 kg d'herbage. Etant donnée la mauvaise qualité du fourrage, qui est due à la pauvreté des sols, on ne parviendra à produire, au mieux, que 2,5 kg de viande sur ces pâturages naturels.

4. L'amélioration des pâturages à légumineuses

On peut enrichir le sol et la végétation en azote en ayant recours à des légumineuses; toutefois, vu les déficiences en phosphore des sols du Sahel, la seule manière d'améliorer la croissance des légumineuses dans les pâturages naturels est d'y ajouter des phosphates. Dans la région du Sahel lui-même, le coût de cette mesure sera probablement cinq fois supérieur au rendement.

La sous-estimation des systèmes d'élevage traditionnels

Il convient de réhabiliter l'élevage tel qu'il est pratiqué dans le Sahel. Par le passé, l'on a conclu trop facilement que la faible productivité par tête de bétail dans les grands troupeaux apportait la preuve d'une mauvaise gestion des troupeaux et des pâtures. Compte tenu de l'extrême pauvreté des sols et de l'hostilité du climat, on devrait au contraire faire compliment aux éleveurs pour la production animale qu'ils parviennent à obtenir (en viande et en lait) par unité de surface. En dépit de ce qui précède, le niveau de la production ne suffit souvent pas à assurer la subsistance des peuples pastoraux. De plus, cette haute production exige un mode d'exploitation épuisante qui conduit à détériorer l'environnement, celui-ci étant déjà pauvre et en équilibre instable; à long terme, il est impossible de maintenir ces niveaux de production sans une intervention substantielle de l'extérieur. Il existe de nombreux exemples de projets dans

lesquels les éleveurs sont en fait induits en erreur lorsqu'on leur dit que c'est leur système traditionnel d'exploitation qui est de qualité inférieure. Et ensuite on les attribue les échecs et on les blâme pour leur attitude conservatrice et leur manque de coopération.

L'aveugle guidant le paralytique

Nombre de programmes de développement tentent de résoudre les problèmes d'élevage en intégrant l'élevage à l'agriculture, l'idée étant que le déficit de bon fourrage pourrait être compensée par l'utilisation des sous-produits agricoles. En réalité, l'agriculture profite de l'élevage! Les sols pauvres constituent tout autant un goulot d'étranglement pour le développement de l'agriculture que pour celui de l'élevage. L'apport de fumier par le bétail qui passe des terres incultes aux villages suffit rarement à maintenir la fertilité des sols cultivés; la quantité de sous-produits agricoles d'une qualité utile restera négligeable aussi longtemps que l'on n'utilisera aucun engrais. Dans cette situation, les efforts croissants que l'on accomplit pour intégrer les deux types d'exploitation ne serviront guère aux éleveurs.

Perspectives futures

Les résultats de l'étude PPS n'ont guère facilité la formulation de propositions qui permettraient un développement accéléré de la région du Sahel. Il convient de reconnaître que les facteurs environnementaux (aussi bien les sols que l'eau) sont d'une importance fondamentale dans la production agricole aussi bien pendant les années de sécheresse que pendant les années 'normales'. Ce point est essentiel, même pour ceux que sont d'avis que la mauvaise gestion des ressources naturelles, ou les mauvaises conditions sociales, sont à l'origine des problèmes de la région, le Sahel dépendant presque entièrement de l'agriculture.

Il est vrai que le sol est en cours d'épuisement, pour l'élevage comme pour l'agriculture, mais ceci est inévitable: il n'y a en effet pas d'alternative. Sans l'introduction de nouveaux moyens de production comme les engrais, toute tentative d'amélioration de la vie dans le Sahel, par l'accroissement de la production agricole, risque d'être du bricolage. C'est ce que fait la population indigène, et nos connaissances sont beaucoup trop limitées pour l'aider à trouver une solution rapide. Dans de nombreux cas, il n'y a

d'autre choix que de continuer sur leur voie, car les conditions sociales et économiques de la région sont telles que les méthodes modernes de production ont peu de chances de réussir à court terme. Même si la situation sociale et économique se modifierait, les problèmes environnementaux empêcheraient toute expansion à grande échelle dans l'agriculture.

Arrêter la détérioration de l'environnement

Ceci n'implique toutefois pas qu'il nous faut laisser la région tel qu'elle est. La recherche de nouvelles chemins et les activités visant à promouvoir le développement sont vitales pour le Sahel, car l'inaction ne peut que conduire à une détérioration continue de l'environnement et à laisser passer les occasions d'améliorer la situation. Dans certains cas, par conséquent, les investissements qui, d'un point de vue purement économique, n'ont pas un rendement immédiat, sont justifiés.

Ces investissements pourraient porter entre autres sur des mesures telles que la création d'emplois alternatifs et sur l'amélioration de l'infrastructure de la région. Il serait même possible de se pencher sérieusement sur une 'révolution verte', ainsi que sur le subventionnement de la production de la viande et des céréales.

Entamer le problème

Néanmoins, l'accent devra être mis sur des solutions, quoique marginales, des problèmes auxquels sont confrontés les millions d'éleveurs et d'agriculteurs, qui n'ont que rarement eux-mêmes les ressources qui leur permettraient d'investir.

Suivant le stade du développement de l'agriculture dans certaines régions, les solutions éventuelles englobent:

- 1) Le développement des cultures de légumineuses et la promotion d'engrais phosphaté.
- 2) L'intégration continue de l'agriculture et de l'élevage; l'utilisation du fumier et des engrais chimiques, ainsi que la production et le stockage du fourrage.
- 3) L'engraissement, à petite échelle, dans les cas où les engrais chimiques peuvent être employés dans des conditions rentables pour la production des cultures commerciales, comme le coton et les arachides, qui donnent des sous-produits de haute qualité.

4) L'amélioration des approvisionnements de lait aux villes, par la conservation des produits laitiers et du lait pendant les saisons de pointe, et la production de fourrage pour la longue saison sèche.

L'aspect le plus précieux du projet PPS tient vraisemblablement au fait qu'il fournit un moyen de déterminer, avec plus d'exactitude que ce n'était le cas auparavant, les apports nécessaires à la mise en oeuvre et à la réussite de ces mesures. On pourra ainsi acquérir une vision plus approfondie des obstacles sociaux et économiques qui s'opposent au progrès.

L e m a n u e l

Dans plusieurs publications PPS, parues déjà ou en cours de préparation, on donne beaucoup d'information sur la manière dont on pourrait déterminer avec plus de précision que jusqu'ici le potentiel des pâturages naturels au Sahel. La dynamique des pâturages pourra y être escomptée ainsi que l'influence de l'exploitation des sols et des feux, sans qu'une pareille évaluation prenne plus de temps ou d'effectifs qu'une évaluation recourant aux méthodes actuelles.

Le projet PPS revêtait nécessairement un caractère fondamental qui ne permettait pas de publier les connaissances dégagées directement sous la forme d'un manuel. Mais le CABO*, un des partenaires du projet PPS, a entrepris des recherches sur la productivité des régions semi-arides, traitant de cultures aussi-bien que d'élevage. C'est dans ce cadre que s'inscrit son projet 'Evaluation dynamique du terrain' dont l'objectif est la préparation d'un manuel pour l'inventaire et la cartographie des pâturages sahéliens en vue d'une bonne gestion.

Ce manuel sera réalisé en collaboration étroite avec la section chimie agricole de l'Université Agronomique (Wageningen) et sera édité conjointement avec le Centre International pour l'Elevage en Afrique (Addis Abeba) et avec l'Institut du Sahel (Bamako).

* adresse: voir page 4

B i b l i o g r a p h i e a n n o t é e

Introduction

La bibliographie annotée ci-après ne donne pas un panorama systématique des résultats des recherches, ceci ayant déjà été tenté antérieurement. L'intention, ici, est de donner une impression des domaines abordés par la recherche, ainsi que des connaissances et des compétences acquises. On se sert à cet effet de la table des matières et de l'index du rapport final (pages 97-111), ainsi que de la bibliographie elle-même (pages 49-96).

La table des matières n'est pas reproduite de façon aussi détaillée que dans le rapport final. Bien que le rapport final ait été dressé en commun par l'ensemble de l'équipe de recherche, les auteurs initiaux sont seuls cités pour chacun des paragraphes ou chapitres. Ceci permettra aux tiers de savoir à qui s'adresser principalement pour se procurer les renseignements correspondants. Lorsque possible, les titres des paragraphes sont suivis d'une indication des publications dans lesquelles on pourra trouver de plus amples renseignements sur les paragraphes en question. On a utilisé pour ce faire les numéros des publications. Les publications antérieures à 1982 auront été en partie intégrées au rapport final, quoique rarement in extenso. Les publications ultérieures portent soit sur des élaborations de parties du rapport final, soit encore sur un approfondissement des problèmes. Les paragraphes relatifs à des problèmes faisant encore l'objet d'études plus approfondies par d'anciens membres de l'équipe sont signalés par un astérisque (*). Il n'a pas été possible d'être exhaustifs dans ce cas.

La bibliographie est citée par ordre alphabétique et numérotée de façon correspondante. Elle englobe des publications et des rapports publiés dans le cadre d'activités dont le financement a été assuré en totalité ou en partie par le Projet. Elle comprend en outre des publications qui soit ont directement inspiré, soit ont été inspirées par le Projet. Ces dernières publications sont signalées par deux astérisques (**). On s'est servi de code ci-après pour les langues dans lesquelles les publications ont été rédigées: N = néerlandais, E = anglais; D = allemand; et F = français. Si une publication est accompagnée de plusieurs de ces lettres, la première d'entre elles désigne la langue d'origine de la publication, les autres dénotant les traductions plus ou moins

professionnelles. La version complète de la publication principale, autrement dit le rapport final (49), n'existe qu'en français. C'est là l'une des raisons pour lesquelles nombre des autres publications ont été rédigées en anglais. Néanmoins, le rapport final comprend un résumé exhaustif en anglais, tandis que les nombreux tableaux et graphiques sont aussi assortis de légendes en anglais. Un résumé en anglais des travaux a en outre été publié séparément (48). Les personnes qui ne connaissent absolument pas la langue française pourront se reporter au texte du cours extrait du rapport final, texte publié en français et en anglais (58).

Les publications citées dans la bibliographie n'ont pas toutes la même tenue ni le même niveau scientifique. En ce qui concerne ce niveau, une seule distinction a été faite, distinction éclairée par un code: p = publications extraites de revues ou de rapports de colloques, ouvrages, chapitres d'ouvrages et thèses; r = rapports à diffusion restreinte, parfois de nature interne. Ce dernier groupe englobe souvent des rapports dressés par des étudiants qui ont pris temporairement part à la recherche dans le cadre des études qu'ils poursuivent pour l'obtention de leurs diplômes. Enfin, les publications destinées dans une mesure sensible aux lecteurs autres que les spécialistes des disciplines connexes, sont signalées par la lettre g (= générales).

A noter que la bibliographie englobe aussi un film sur la transhumance semi-nomade (11). Il s'agit là d'un film couleur parlant de 8 mm, réalisé pendant les recherches. Hormis ce film, des milliers de diapositives sont disponibles à des fins d'illustration et d'information.

La bibliographie contient aussi l'index entré du rapport final, index amendé à certains égards (pages 105-111). Cet index donne un aperçu plus détaillé encore des sujets traités que ne le fait la table des matières. Toutefois, dans ce cas au lieu de se référer aux numéros des pages du rapport final, l'index se réfère lorsque possible aux diverses publications, ce grâce à leurs numéros respectifs.

Si l'on désire commander des rapports et des publications, bien vouloir noter que certains d'entre eux ne sont pas gratuits, et qu'il se peut aussi qu'une participation aux frais d'envoi soit demandé. Les rapports ne sont pas tous destinés à être diffusés in extenso. Néanmoins, si des renseignements précis suscitent un intérêt suffisant, certaines parties des rapports pourront être reproduites.

A l'intention spécifique des personnes qui s'intéressent aux propriétés des espèces végétales du Sahel, la bibliographie s'achève par un résumé de la recherche auto-écologique effectuée dans le cadre du projet (pages 113-115). Deux tableaux, l'un pour les

graminées, l'autre pour les variétés ligneuses, donnent leurs caractéristiques selon un mode aussi quantitatif que possible. Pour les graminées en particulier, ces renseignements ont en grande partie trait aux déterminations dans la chambre climatique du CABO, dans laquelle on a simulé les conditions moyennes à Niono pendant la saison des pluies (température et humidité atmosphérique) (voir 1, 2, 3, 4, 21, 22, 26, 30, 39, 41, 60, 63 et 70). La germination, le peuplement et la sensibilité à la longueur du jour ont aussi été étudiés au Ranch (28 et 27), ainsi que lors d'un essai dans un champ irrigué à Niono (56).

Des renseignements sur l'effet des apports d'engrais ont été obtenus à partir d'études sur la croissance potentielle (rythme de croissance) dans la chambre climatique, au Ranch ainsi que sur le parcours nord-sud (voir 49). Les analyses qualitatives ont été faites sur des échantillons obtenus au Ranch, sur le trajet nord-sud ainsi que sur le parcours emprunté par le bétail semi-nomade à l'étude (voir 27, 49 et 69).

Les publications et leurs résumés (code: voir l'introduction, pages 45-47)

- 1) N;r Andela, S., 1980. Een simulatie-model voor de kieming van éénjarige Sanel-soorten, bij een afwisselend vochtige en droge bodem. (Modèle de simulation de la germination des espèces annuelles du Sahel, dans un sol alternativement humide et sec). LH/CABO, Wageningen

Ce rapport constitue une première approche à une analyse par simulation de la dynamique des espèces annuelles de la végétation du Sahel. On a tenté de construire un modèle de germination pour *Cenchrus biflorus*, afin de quantifier la germination sous différents régimes de pluviosité. Les données de base de ces travaux sont extraites de 41 et de 57; on en trouvera le prolongement dans 22 et 60, qu'ainsi qu'un résumé dans 64.

- 2) N;r Beck, R., 1978. Een druppel geeft nog geen kieming. Verslag van een zesmaands student-onderzoek naar kieming en vestiging van weidesoorten uit de Sahel. (Une goutte ne suffit pas à la germination. Rapport d'une recherche d'étudiant sur une période de six mois, sur la germination et l'installation des espèces du Sahel). LH/CABO, Wageningen.

Pour acquérir une meilleure compréhension de la dynamique de la végétation du Sahel, les semences de plus de 30 plantes majeures ont été décrites en se fondant sur des expériences faites dans une chambre climatique. L'étude est centrée sur les caractéristiques de germination (dormance, dureté des téguments, conditions optima, etc.), et l'on constate de grandes différences dans la vitesse de germination. La chaleur semble jouer un rôle important dans l'interruption de la dormance. Il existe aussi de grandes différences dans la dureté du tégument. L'augmentation du poids de la pousse et de la racine pendant la phase initiale de croissance est discutée pour certaines espèces. Les résultats de cette étude sont intégrés en particulier à 16 et 49. On trouvera d'autres renseignements fondamentaux sur la germination dans 2, 30, 41 et 57.

- 3) N;r Blokland, M. van, 1980. Onderzoek naar de weerstand voor watertransport in het wortelxyleem van enkele weidesoorten uit de Sahel. (Etude de la résistance au transport de

l'eau dans le xylème de la racine de certaines plantes herbacées du Sahel). Stagever-
slag HBO-A. Stova/CABO, Wageningen.

Pour se faire une idée de la résistance à la circulation de l'eau dans le xylème de la
racine, on a déterminé au microscope le diamètre des vaisseaux du xylème des plantules
de certaines plantes annuelles. La résistance effective ainsi calculée s'est avérée si
faible dans 60% des échantillons examinés que la circulation de l'eau pouvait en être
gênée. Ce phénomène a parfois plus de chances d'avoir un effet positif que négatif sur
l'installation des plantules au début de la saison de croissance (théorie des 'savers-
spenders'='économistes-dépensiers'). On a constaté une corrélation entre le diamètre de la
racine et celui des pores du xylème. Toutefois, il semble qu'à cet égard, il faille
faire une distinction entre les graminées et les dicotylédones. On a vu que chez ces
dernières, le diamètre des pores du xylème était inférieur à celui que l'on trouve chez
les graminées, et ce pour des racines de diamètre égal. Le xylème du Pennisetum typhoi-
des cultivé (ou millet) possède des pores beaucoup plus larges que les plantes sauvages
examinées.

4) N;r

Bouwman, L., 1979. Een onderzoek naar de groei en ontwikkeling van de Sahel grassen
Pennisetum pedicellatum, Eragrostis tremula, Loudetia togoensis en Cenchrus biflorus,
aangevuld met Aristida mutabilis, Cassia tora en Zornia glochidiata. (Etude de la
croissance et du développement de graminées du Sahel, à savoir Pennisetum pedicellatum,
Eragrostis tremula, Loudetia togoensis et Cenchrus biflorus, ainsi que Aristida muta-
bilis, Cassia tora et Zornia glochidiata). R.U.-Utrecht/CABO, Wageningen.

La croissance végétative de certaines plantes des pâturages du Sahel a été caractérisée
dans des conditions de croissance normalisées dans une chambre climatique. Cette caracté-
risation a été réalisée grâce à des expériences sur l'espacement des plantes, avec
une alimentation optimum en eau et en produits nutritifs. La vitesse relative de crois-
sance potentielle (valeurs β et Ω), la variation du ratio pousse/racine et le coeffi-
cient de transpiration sont décrits. Trois des quatre graminées C_4 étudiées possèdent
une vitesse de croissance potentielle supérieure à $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jour}^{-1}$; l'une d'entre
elles a une vitesse de croissance potentielle juste inférieure à ce chiffre. Les coef-
ficients d'évaporation observés se situent aux environs de 250 ml par gramme de matière

sèche. On trouvera des données comparables sur des plantes autres que celles examinées ici dans 21, 26, 39, 55 et 63.

- 5) F,E;p;** Breman, H., 1975. La capacité de charge maximale des pâturages maliens. Dans: Inventaire et cartographie des pâturages tropicaux africains. Actes du colloque. Bamako-Mali, 3-8 mars 1975. ILCA, Addis-Abeba. p. 249-256.

La perte catastrophique du bétail au Sahel des dernières années, a mis en relief l'importance de la quantification de l'assertion qu'il y a trop de bétail au Sahel. Cette étude est une tentative d'estimation de la capacité de charge des pâturages maliens, en tenant compte des variations pluviométriques, sur la base des données partiellement connues de la productivité primaire. L'étude donne à penser que le flanc nord du Sahel subit beaucoup moins de contraintes dues au surpâturage que le Sahel méridional et que la savane soudanaise. Toutefois, on trouvera dans 13, 19 et 49 une meilleure discussion du concept de la capacité de charge.

- 5a) N;r;g Breman, H., 1975. De Sahel-vegetatie op het traject Bamako-Timboektoe. (La végétation sahélienne du trajet Bamako-Tombouctou). Rapport no. 1, PPS. CABO, Wageningen.

Un guide pour les collaborateurs et les conseillers du projet visitant le Sahel pour la première fois. Un guide plus élaboré a été écrit pour la route Nouakchott-Kiffa (Mauritanie; voir 8).

- 6) N;r;g Breman, H., 1978. Opzet, uitvoering en eerste resultaten van het onderzoek Primaire Productie Sahel (PPS). (Structure, conduite et premiers résultats de l'étude de la production primaire dans le Sahel - PPS). Gebundelde verslagen nr. 19. Nederlandse Vereniging voor Weide- en Voederbouw.

Cette publication se contente de donner une description intérimaire de l'étude de la PPS. On trouvera dans 48 une impression générale bien meilleure des résultats de cette étude.

- 7) N,F;p;g Breman, H., 1980. En Doukouloumba dan? Wetenschappelijk onderzoek en ontwikkelingshulp. (Et Doukouloumba? Recherche scientifique et aide au développement). Intermediair 16, 11-14 mars.

Le Conseil consultatif provisoire pour la recherche scientifique dans le cadre de la coopération en matière de développement a tenu une 'Journée ouverte' et une 'Journée d'étude du Sahel' en mars 1979, sur le thème de la recherche dans le secteur de l'aide au développement. La question centrale était: la stratégie de la recherche destinée à l'aide au développement doit-elle se faire 'de bas en haut' ou 'de haut en bas'? Une stratégie 'de bas en haut' est une stratégie dans laquelle les groupes les plus pauvres de la société ou risquant de le devenir se trouvent au coeur de la stratégie (c.à.d. plutôt de la recherche appliquée), tandis qu'une stratégie 'de haut en bas' est une approche dans laquelle la recherche est orientée sur le moyen le plus efficace d'exploiter les matières premières et autres ressources présentes à l'état naturel (autrement dit, cette recherche possède un caractère plus fondamental). Cette distinction hypothétique est explicitée et discutée sur la base d'un projet portant sur la production des pâturages du Sahel. Après tout, les solutions élaborées intentionnellement pour résoudre les problèmes actuels doivent surtout être fondées sur les résultats de la recherche fondamentale. La méthode de recherche en tant que telle est aussi discutée dans 49. La nécessité d'une recherche orientée sur le développement de l'élevage du bétail est discutée dans 37.

- 8) F;r;g;** Breman, H., 1981. Le trajet Nouakchott-Kankossa: première reconnaissance. Projet APPAM, ITC, Enschede.

La végétation rencontrée pendant un voyage de 700 km effectué en Land Rover en Mauritanie, entre les isohyètes de 100 et de 400 mm est décrite d'une manière générale. Les données ont par la suite été comparées aux données géologiques et pédologiques du même trajet. Cette étude montre que la géologie, la pluviosité et le sol se reconnaissent immédiatement d'après la végétation. Cet exposé est surtout destiné aux voyageurs qui se déplacent dans la région et qui n'ont guère l'expérience des études sur le terrain. Il a été écrit pour et publié par le projet dit 'Amélioration de la production des pâturages et de la production animale en Mauritanie'.

- 9) N;p;g Breman, H., 1981. Cowboys in de Sahel, een oplossing? (Des cowboys dans le Sahel, une solution?). *Landbouwkundig tijdschrift/PT* 93:263-270.

Un examen des facteurs qui déterminent la productivité des pâturages du Sahel a montré que la pauvreté du sol constitue un problème pour le moins aussi grave que la pénurie d'eau. Néanmoins, la productivité de l'élevage traditionnel du bétail par unité de surface est élevée, ce qui aura des conséquences profondes pour la stratégie de développement dans le Sahel. La recherche orientée sur le développement doit aussi tenir pleinement compte de la situation observée. Ces problèmes sont aussi discutés dans 11 et 49. Voir aussi toutes les publications signalées par la lettre g.

- 10) N;p;g Breman, H., 1982. De Acacia en de geit sparen. Verslag Studiedag Ecologie en Ontwikkelingssamenwerking. (Sauver l'Acacia et la chèvre. Rapport sur la journée d'étude de la coopération en matière d'écologie et de développement). La Haye, 18.9.1981, pp. 40 à 51. Stuurgroep World Conservation Strategy, Utrecht.

La pauvreté du sol est souvent un facteur plus crucial que la faible pluviosité dans la détermination de la production végétale dans le Sahel semi-aride. Le fait de ne pas reconnaître le facteur pauvreté du sol est la raison fondamentale de la surestimation des possibilités d'accroissement de la production alimentaire. Les résultats des recherches réalisées dans le cadre du Projet permettent de mieux définir et quantifier d'avance les effets positifs et négatifs des interventions envisagées. Une fois les mesures appliquées, on constate qu'il serait très difficile d'accroître la production alimentaire (symbole: 'chèvre') sans exacerber le préjudice causé à l'environnement (symbole de l'environnement: 'Acacia'). Ce point est illustré par le développement d'un village dans le Sahel. (Voir aussi 12, 34 et 66, ainsi que toutes les autres publications signalées par la lettre g).

- 11) N;p;g Breman, H., 1982. Ontwikkelingen en mogelijkheden in de veeteelt, in de Sahel na de grote Droogte. (L'évolution et les possibilités de l'élevage du bétail dans le Sahel après la Grande Sécheresse). Dans: P.H.J. van de Boorn & M.P. van Dijk (Red.), 1982. Landdocumentatie no. 2/3, KIT, Amsterdam.

Le titre s'explique de lui-même. Le sujet est traité de façon plus approfondie dans 9 et 49. Il est toutefois présenté ici dans le contexte d'un ouvrage scientifique de vulgarisation sur les problèmes du Sahel dans leur ensemble.

- 12) N,E,F;r;g Breman, H., 1982. Ecologische randvoorwaarden en beleidskonsekwenties. (Betekenis van de onderzoeksresultaten van het project 'Primaire Productie Sahel' voor ontwikkelingsinspanningen in de Sahel). Syllabus cursus Milieukunde, thema ontwikkelingssamenwerking. (Contraintes écologiques et conséquences politiques. L'importance des résultats du projet de recherche dit 'La production primaire dans le Sahel' pour l'effort de développement dans le Sahel. Programme du cours des Etudes environnementales, sujet: la coopération technique). Centrum voor Milieukunde. R.U.-Leiden.

Cette publication est englobée in extenso dans cet ouvrage (pages 37-42). Elle constitue un très bref résumé du matériau traité de façon exhaustive dans les publications signalées par la lettre g.

- 13) (F),(E);r Breman, H. (Ed.), 1982. La capacité de charge des pâturages sahéliens pour les systèmes d'élevage de la région. Compte-rendu de la table ronde, 26-27 janvier. CABO, Wageningen.

Une consultation préparatoire pour l'édition d'un Manuel pour l'évaluation et la cartographie des pâturages sahéliens (page 43). Une activité du Centre de Recherches Agrobiologiques (CABO) dans le cadre de ses études de la productivité agricole aux régions semi-arides. L'édition du manuel sera réalisée en coopération avec l'Université Agronomique, Dép. Sol et Fertilisation (Wageningen), l'Institut du Sahel (Bamako) et le Centre International Pour l'Elevage en Afrique (CIPEA, Addis-Abeba). Le manuel se basera sur les résultats du projet. Les différents éléments ont été présentés par plusieurs participants à la table ronde, comme l'indique la table de matières suivante: Approche du projet PPS (H. Breman); Cartographie des pâturages sahéliens (L. Stroosnijder); Ruissellement par rapport aux propriétés du sol, l'intensité et la durée des pluies et la localisation géographique (H. Snijders); Végétation: composante du paysage (H. Breman); Estimation of the carrying capacity; P.P.S. approach (M. Soeters); Generalization of vegetation surveys any given year (H. Breman & A. van Engelen); Méthode d'évaluation du potentiel fourrager des parcours sahéliens proposés par les chercheurs

du C.I.P.E.A. (P. Hiernaux); Discussion (H. Breman); Signification de la capacité de charge théorique pour la pratique de l'élevage (H. Breman). Voir aussi 9, 29, 35, 38 et 49.

- 14) E;p Breman, H. 1982. Project Primary Production in the Sahel (PPS). Proceedings International Colloquium Tropical Animal Production for the Benefit of Man. December 17-18, Prince Leopold Institute of Tropical Medicine, Antwerp. (Projet - La Production Primaire dans le Sahel (PPS). Compte-rendu du colloque international sur la production animale tropicale au bénéfice de l'homme. 17-18 décembre, Institut Prince Léopold de Médecine Tropicale, Anvers.)

Breve présentation des résultats du projet, basée sur des thèses avancées au colloque PPS (pages 9-12).

- 15) E,F;p;** Breman, H. & A.M. Cissé, 1977. Dynamics of Sahelian pastures in relation to drought and grazing. (La dynamique des pâturages sahéliens par rapport à la sécheresse et au broutage du bétail). *Oecologia* (Berlin) 28: 301-315.

On a étudié la dynamique de la végétation dans la zone de transition de la savane au Sahel afin de faire la distinction entre les effets de la sécheresse récente et les effets du surpâturage sur les pâturages naturels. La sécheresse a surtout affecté les différentes espèces végétales à la limite nord de leur habitat. Toutefois, il n'y a pas lieu de parler d'une sahélistation de la savane, puisque les espèces en régression ont été remplacées par des 'invaders' (espèces envahissantes) telles *Borreria* spp., et non pas par des espèces sahéliennes proprement dites. *Blepharis linariifolia* faisait exception, en se déplaçant vers le sud. Le broutage a nui aux herbes de bonne valeur fourragère comme *Andropogon Gayanus*, qui ont été remplacées par une légumineuse à cycle court, *Zornia glochidiata*, et par une herbe annuelle non appetée *Elionurus elegans*. Les espèces fortement stimulées par la sécheresse, à savoir *Borreria* spp. et *Blepharis linariifolia*, ne se rencontrent pas dans les pâturages intensivement broutés. La dynamique est explicitée plus avant dans 16, 19 et 49.

- 16) E;p Breman, H., A.M. Cissé, M.A. Djitèye & W.Th. Elberse, 1980. Pasture dynamics and forage availability in the Sahel. (La dynamique des pâturages et la disponibilité du fourrage dans le Sahel). Israel Journal of Botany 28:227-251.

Le fourrage est un facteur presque incontrôlé dans les systèmes d'élevage du Sahel. Sa disponibilité varie largement sur l'ensemble de l'année, ainsi que d'une année sur l'autre. Le principal moteur de la dynamique des pâturages du Sahel sont le temps, la pâture et les feux de brousse. Parallèlement au substrat, ces facteurs déterminent la répartition des espèces végétales en fonction de leurs propriétés. Les plus importantes de ces propriétés semblent être la vitesse et l'hétérogénéité de la germination, les modes de la photosynthèse et la durée de la période de croissance avant la floraison. Un plan général de la dynamique de la végétation, fondé sur ces propriétés, ainsi que sur les forces motrices ci-dessus mentionnées, est présenté. Les conséquences de la dynamique pour la situation de l'alimentation du bétail sont indiquées. On suggère aussi comment la connaissance de la dynamique des pâturages peut être utilisée dans l'évaluation des pâturages sahéliens. La publication 15 est un précurseur de cet article. On trouvera dans 49 un important volume de renseignements fondamentaux. Voir également 19.

- 16a) F;r Breman, H., A. Diallo & G. Traoré, 1979. Compte rendu des analyses de la digestibilité des espèces fourragères du Sahel. Rapport interne du Projet PPS. Wageningen - Bamako.

Au total, 230 échantillons de près de 70 espèces de plantes, cueillies dans la zone d'étude du projet en 1976 et 1977, ont fait l'objet d'une analyse d'azote (N), de phosphore (P), de cellulose brute et de cendre. Leur digestibilité a été déterminée par la technique in-vitro. La variation de la teneur en N et P en fonction des variables environnementales est entre autres discutée en détail dans le rapport final (49). Les analyses mentionnées ici ont aussi été utilisées pour donner une indication de la qualité du fourrage à la disposition du troupeau semi-nomade au cours de l'année (voir 17, 27 et 69). Ce rapport discute les relations entre la digestibilité et les teneurs de la plante en protéines et en cellulose brute. Par opposition avec les teneurs en N et P, la digestibilité semble être une caractéristique plus propre à l'espèce de la plante qu'elle n'est le reflet des conditions ambiantes. Une publication sur ce sujet, basée à la fois sur ces résultats et sur de nouveaux résultats d'analyse, est en cours

de préparation en collaboration avec l'Institut pour la recherche sur l'alimentation du bétail (Institut dit 'Hoorn', Lelystad).

- 17) E,F;p Breman, H., A. Diallo, G. Traoré & M.A. Djitèye, 1978. The ecology of the annual migrations of cattle in the Sahel. (L'écologie des migrations annuelles du bétail dans le Sahel). Compte-rendu du Premier Congrès International sur les pâturages. Society of Range Management. 2760 West Fifth Avenue, Denver, Colorado, U.S.A. p. 592-595. ISSN 0163-173 x.

On a suivi de près un troupeau de zébus Peul en transhumance pendant l'année 1977. Il s'est avéré que la qualité du fourrage impose une restriction importante à la production animale. Les animaux adultes ne croissent que pendant la saison pluvieuse; mais les bergers savent choisir les régions convenables de pâturage de telle manière que le poids des bêtes ne diminue pas durant la période sèche. Ce n'est qu'à l'aide d'un pâturage très sélectif que le bétail pouvait se nourrir de fourrage d'une qualité adéquate. Le feu a été paru un moyen important pour améliorer la qualité du fourrage pendant la saison sèche. Au total, la balance de la production secondaire était positive, car la croissance de la biomasse totale était de 24% et le nombre des animaux s'était élevé de 12%. On trouvera des renseignements plus détaillés dans 27 et 69. 49 contient une synthèse de l'étude des pâturages et de l'élevage du bétail. On trouvera en outre dans 18 des renseignements sur le film sur la transhumance.

- 18) N,I;film;g Breman, H. & A. de Jong, 1980. Op eigen benen. 8 mm kleuren geluidsfilm over de half-nomadische transhumance. (A pieds, mais indépendant. Film parlant en couleurs, de 8 mm, sur la transhumance semi-nomade). PPS - Wageningen - Bamako.

Ce film donne une idée de l'élevage sahélien semi-nomade. Il comprend deux parties d'un peu plus de 20 minutes chacune. La première partie est une longue introduction, qui aborde les points suivants: les problèmes de sécheresse, le Projet, les diverses zones écologiques pendant la saison des pluies et pendant la saison sèche, et l'exploitation des terres. La deuxième partie décrit une année de migration nomadique ainsi que les recherches correspondantes effectuées dans le cadre du Projet (voir 17, 27 et 69). Le film montre les bergers et leurs troupeaux de Diafarabé dans le sud-ouest du delta

central du Niger (Mali). Ceux-ci circulent dans le delta pendant la saison sèche et se rendent dans des pâturages mauritaniens pendant la saison des pluies.

19) E;p

Breman, H., H. van Keulen & J.J.M.H. Ketelaars, 1983. Land evaluation for semi-arid rangeland: a critical review of concepts. Proceedings Workshop Land evaluation for extensive grazing. (L'évaluation des terres en tant que pâturages semi-arides: un examen critique des concepts. Compte-rendu de l'atelier sur l'évaluation des terres destinées à un pâturage intensif). Addis-Abeba, ILCA, ITC et FAO.

La réunion où cette communication a été présentée fait partie d'une série d'ateliers sur la méthodologie d'évaluation des terres, le but final étant de dresser des manuels correspondants. La communication présente en particulier une estimation aussi précise que possible de la capacité de charge et du potentiel de production des pâturages. Elle souligne la nécessité d'étudier les processus de base qui déterminent la production végétale et animale. Les principales causes de l'inexactitude de l'évaluation des pâturages sont discutées - à savoir la dynamique de la végétation, la qualité du fourrage, les différences entre les contraintes écologiques d'une zone à une autre, et les rapports entre les caractéristiques des pâturages et la production animale. Ce dernier sujet est décrit dans une autre publication (38). Voir aussi 5, 13 et 49.

20) E,F;p;g

Breman, H. & C.T. de Wit, 1983. Rangeland productivity and exploitation in the Sahel. (La productivité et l'exploitation des pâturages sahéliens). Science 221:1341-1347.

Les résultats du projet de recherche malien-néerlandais sur les pâturages sahéliens et leur exploitation suggèrent les raisons pour lesquelles les efforts qui visaient à développer l'élevage traditionnel dans cette région ont rarement été couronnés de succès. Le fait de ne pas avoir apprécié les conséquences de la faiblesse de la fertilité du sol et de la pluviosité sur la production des pâturages a conduit à sous-estimer la productivité du système d'élevage nomade et semi-nomade et à une surestimation des possibilités d'accroissement de la production par une amélioration de la gestion et par une modernisation. Des comparaisons sont faites avec les pâturages d'Australie et des Etats-Unis. Voir également 9, 11, 12, 18, 34, 48, 49 et 58.

- 21) N;r Bink, R. & J. Wolters, 1980. *Cenchrus biflorus*, Roxb. en *Alysicarpus ovalifolius* (Schum & Thorm.) J. Leonard. Concurrentieproeven en Simulatie (+ bijlage). (*Cenchrus biflorus*, Roxb. et *Alysicarpus ovalifolius* (Schum & Thorm.). Essais de compétition et de simulation (avec annexe)). R.U.-Utrecht/CABO, Wageningen.

Pour prédire les effets de l'épandage d'un engrais phosphaté sur le terrain, la compétition entre la graminée *Cenchrus biflorus* et la légumineuse *Alysicarpus ovalifolius* a été étudiée dans le cadre d'essais d'espacement dans une chambre climatique, en se servant de modèles de simulation, et ce dans des conditions tant de pauvreté que de richesse en azote. Les espèces légumineuses ont pu soit fixer, soit ne pas fixer l'azote, suivant qu'elles étaient élevées avec ou sans *Rhizobium*. Dans ce dernier cas, la graminée s'avère de loin le concurrent le plus puissant, tandis que dans le premier cas, les espèces ont une influence presque nulle l'une sur l'autre. Un prolongement de cette étude, dans lequel P figurait également comme variable, est publié dans 30. La compétition, ainsi que la stimulation des plantes légumineuses dans les pâturages sahéliens, sont discutées dans 49.

- 22) N;r Bruijn, A. de, 1980. Model voor de simulatie van verschillende levensfasen van de Sahelgrassen *Cenchrus biflorus*, *Eragrostis tremula* en *Schoenefeldia gracilis*. (Modèle de simulation de différentes phases de la vie des graminées du Sahel, à savoir *Cenchrus biflorus*, *Eragrostis tremula* et *Schoenefeldia gracilis*). R.U.-Utrecht/LH/CABO, Wageningen.

Ce rapport prolonge celui décrit en 1. En ayant recours à la méthode employée dans le modèle pour décrire la germination et l'installation, il s'est avéré possible de simuler de manière adéquate le développement dans le temps d'un certain nombre de plantules sous différents régimes de pluviosité. Les paramètres de germination de deux graminées *Cenchrus biflorus* et *Schoenefeldia gracilis* sont suffisamment bien connus pour donner de bons résultats à la simulation; une quantification plus précise serait nécessaire pour *Eragrostis tremula*. Les paramètres qui décrivent la mortalité des plantules permettent de bien simuler celle-ci dans les conditions données. Si le modèle doit être utilisé pour des conditions autres, la description de ces paramètres en fonction des conditions environnementales est nécessaire. Une première approche est donnée pour la simulation de la croissance végétative; cette approche tient compte de

la compétition et de la contrainte imposée par l'eau. On trouvera de plus amples renseignements sur ce thème dans les rapports de suivi 60 et 64.

- 23) N;r Buil, M., 1981. Een studie naar de invloed van een aantal diereigenschappen op de primaire en sekundaire produktie in de Sahel. (Une étude de l'effet de plusieurs caractéristiques animales sur la production primaire et secondaire dans le Sahel). Intern rapport 12. Theoretische Teeltkunde LH/CABO, Wageningen.

Sur la base de caractéristiques animales spécifiques, il convient de ne pas conclure trop rapidement qu'il suffit de changer d'espèce animale dans un environnement donné pour augmenter la production de protéines animales destinées à la consommation humaine. Après tout, les caractéristiques influent les unes sur les autres, et il convient de tenir compte des effets négatifs de rétro-action sur la disponibilité du fourrage. En tenant compte de ces facteurs, cette étude s'efforce de quantifier la possibilité d'accroître la production en présence des caractéristiques animales suivantes: utilisation d'un fourrage à faible teneur en protéines, pâturage hautement sélectif, recours au broutage de la végétation aérienne, faibles besoins quotidiens en eau, et faible dépendance à l'égard de l'eau potable. La quantification est réalisée en fonction des facteurs qui déterminent la production primaire. En particulier, de faibles besoins en eau s'avèrent présenter un avantage très net dans le Sahel septentrional, tandis que la capacité d'utiliser un fourrage à faible teneur en protéines peut conduire à une augmentation de la production animale dans le sud du Sahel. Compte tenu des effets secondaires préjudiciables pour l'environnement, les avantages sont jugés relativement limités. L'approche employée est la même que celle utilisée du chapitre 9 de la référence 49 pour estimer l'efficacité des mesures prises dans le domaine de l'élevage. Voir aussi 38.

- 24) E;r Buringh, P., S. Diarra & L. Stroosnijder, 1976. Preliminary study of the soils of the Ranch (western part) near Niono, Mali. (Etude préliminaire des sols du Ranch (partie occidentale) proche de Niono, au Mali). Projet: La production primaire du Sahel (PPS), Université Agronomique, Wageningen.

Le titre s'explique de lui-même. 49, 65, 66 et 67 contiennent des renseignements plus complets à cet égard.

- 25) F;p;** Cissé, M.I. & H. Breman, 1980. Influence de l'exploitation sur un pâturage à *Andropogon gayanus* Kunth var. *tridentatus*. Revue d'Elevage et de Médecine vétérinaire des Pays tropicaux 33:407-416.

La biomasse élevée d'un pâturage sahélien non exploité à *Andropogon gayanus* pourrait donner une fausse impression de sa capacité de charge, car l'exploitation de cette espèce doit être prudente et limitée sous les conditions sahéliennes. La fauche au cours de la croissance cause une baisse de la biomasse totale produite. Cette baisse est déjà notable pour une seule fauche en plein hivernage. Quatre fauches ou plus pendant une saison de croissance tuent la graminée en question. Il semble que la baisse de la biomasse et la mortalité d'*Andropogon gayanus* s'expliquent partiellement par l'épuisement des réserves, notamment azotées. Voir aussi 19 et 49.

- 26) D;r Croy, E., 1976. Oeko-physiologische Untersuchungen an Gräsern der Sahel Zone und Simulation ihres Wachstums und Wasserhaushalts. (Etudes écophysologiques de graminées de la région du Sahel, et simulation de leur croissance et du bilan hydrique). Theoretische Teiltkunde LH.

Cinq des graminées sahéliennes importantes sont caractérisées par des expériences dans une chambre climatique. Les principales caractéristiques étudiées sont la germination, l'activité photosynthétique, la vitesse de croissance, l'absorption d'azote, le ratio pousse/racine, et le LAI. Sur la base des résultats obtenus, la production potentielle d'herbe dans le centre et le sud du Sahel est estimée grâce à un modèle de simulation (voir 50). La caractérisation des espèces des pâturages du Sahel est également décrite dans 2, 4, 16, 21, 31, 39, 41, 49, 55, 56, 57 et 63. La simulation de la production primaire, tant présente que potentielle, est traitée plus avant dans 47, 49, 52, 53 et 58.

- 27) F;r Diallo, A., 1978. Transhumance: comportement, nutrition et productivité d'un troupeau zébus de Diafarabé. Thèse de 3^{ème} cycle. Centre Pédagogique Supérieur, Bamako.

Un troupeau de zébus migrant a été suivi et observé pendant plus d'une année. Les sujets étudiés sont le système d'élevage en tant que tel, l'état de l'herbe, le choix du fourrage, la composition, les naissances et la mortalité, la croissance et la production laitière du troupeau. L'étude donne des renseignements complets sur le temps passé à paître, au repos et à la rumination, le jour et la nuit, suivant le type de pâturage, la saison, la disponibilité et la qualité des aliments. Les préférences pour des espèces spécifiques de plantes, ainsi que pour certaines parties des plantes, varient considérablement. Le régime sélectionné s'avère avoir une teneur en protéines de 2 à 3% plus élevée que la teneur moyenne dans la végétation présente. La teneur en P est de l'ordre de 0,05% plus haute, et la digestibilité de 10 à 15%. En ce qui concerne les naissances, la mortalité et la croissance, on constate une production nette d'environ 50 kg de poids sur pied par animal et par an. De plus, la production de lait destiné à la consommation humaine dépasse 0,5 l par jour et par vache en lactation. L'examen de la disponibilité et de la qualité des aliments, effectué parallèlement à cette étude, est décrit dans 69. 17 et 49 en donnent une synthèse. Un film sur l'élevage du bétail en question est décrit dans 18 (voir éventuellement aussi 9 et 11).

- 27a) F;r;** Diarra, L., 1976. Composition floristique et productivité des pâturages soudano-sahéliens sous une pluviosité annuelle moyenne de 1100 à 400 mm. Thèse de 3^{ème} cycle. Centre Pédagogique Supérieur, Bamako.

Avec la référence 15, cette étude a inspiré la recherche de la dynamique de la végétation des pâturages du Sahel (voir, en particulier, 16 et 49). La thèse décrit la composition et la production de la végétation du trajet Bamako-Nara en 1974 et 1975. On y tient compte du rôle de la pluviosité et du substrat. En ce qui concerne la pluviosité, l'attention est attirée sur la variation inter-régionale au cours d'une seule année ainsi que de la variation locale entre les deux années. Sur la base de mesures de la biomasse de la couverture d'herbe à la fin de la saison de croissance, on a procédé à des estimations de la capacité de charge des pâturages aux environs de Dilly ('Centre pilote d'élevage sahélien). Le trajet examiné fait aussi partie du trajet nord-sud décrit sur quatre ans pour le Projet (voir 49). Des renseignements plus détaillés

seront publiés séparément, à titre 'd'outil' facilitant la quantification des modifications futures qui interviendront dans la végétation.

28) F;r

Djitèye, M., 1981. Influence de l'exploitation sur un pâturage sahélien à annuelles (Niono-Mali). DEA, Ecologie végétale, Orsay.

Cette étude décrit les conséquences de la pâture sur la végétation, en comparant des zones situées à diverses distances d'un point d'eau placé juste à l'est du Ranch de Niono, au Mali. La variation de la densité des plantes, de la biomasse et des teneurs en N et en P est décrite pour chacune des espèces pendant une seule saison de croissance. On constate qu'avec une intensité croissante dans l'exploitation (de plus en plus proche du point d'eau), les espèces à germination hétérogène augmentent d'importance par rapport aux espèces à germination homogène rapide. La biomasse initiale augmente à proximité du point d'eau, ce en raison d'une germination abondante et du poids des graines en question. La disponibilité de N et de P pour la végétation est doublée à proximité du point d'eau. Toutefois, en dépit de la haute disponibilité des aliments dans la biomasse initiale, la production est la même qu'à une distance supérieure du point d'eau. Ceci est dû à la brièveté du cycle des espèces proches du point d'eau et de la part de leur photosynthèse qui est du type surtout C_3 . Les teneurs en N et en P sont ainsi beaucoup plus élevées dans la végétation qui entoure le point d'eau. Voir aussi 13, 15, 16 et 49.

29) N;r

Engelen, A. van, 1983. Het verband tussen de gemeten en berekende hoeveelheid stikstof in de biomassa van een terrein en de draagkracht daarvan voor de veehouderij. (Relation entre les quantités d'azote mesurées et calculées dans la biomasse d'une zone d'une part, et la capacité de charge animale de cette zone, d'autre part). Tropische Veehouderij LH/CABO, Wageningen.

L'un des résultats du Projet est une formule simple qui permet d'estimer la disponibilité moyenne de N en fonction de la pluviosité, du taux d'exploitation, etcétera (voir 49). Ce rapport considère s'il est possible de normaliser les observations faites sur le terrain pendant une année arbitrairement choisie (la pluviosité, l'exploitation, etcétera, étant différentes de la moyenne), de manière à pouvoir faire une comparaison

avec les estimations théoriques. A cet effet, on a utilisé les rendements mesurés en azote en 5 sites sur 3 années consécutives en tenant compte de la pluviosité réelle et de l'importance des plantes légumineuses (la formule est fondée sur une contribution de 5% à la biomasse finale). Les résultats ne sont pas encore très satisfaisants. Voir aussi 13.

29a) E;p**

England, C.E., R. Gombeer, E. Hechinger, R.W. Herschy, A. Rosema (Ed.) & L. Stroosnijder, 1983. The Group Agromet Monitoring Project (GAMP): Application of Meteosat data for rainfall, evaporation, soil-moisture and plant-growth monitoring in Africa. (Application des données obtenues par Meteosat à la surveillance continue de la pluviosité, de l'évaporation, de l'humidité du sol et de la croissance des plantes en Afrique). ESA Journal 7:169-188.

Cet article résume les résultats du projet GAMP pour la surveillance et la cartographie des paramètres essentiels en agro-météorologie dans la zone du Sahel. On décrit les caractéristiques physiques et la nature du sol de la zone de test située au Mali, la collecte de données sur le terrain et de données satellites, ainsi que la correction des données satellites pour tenir compte des distorsions géométriques et des distorsions dues à l'atmosphère. On examine le problème de la cartographie des précipitations, du rayonnement de surface, de l'évaporation et de l'inertie thermique. On propose une méthode de cartographie de la germination des plantes. Enfin, à la lumière des données chiffrées dans les domaines précités sur une période de test de 18 jours, on arrive à la conclusion que les données climatologiques de surface fournies par Météosat sont vraiment uniques. La zone de test de ce projet recouvre la zone d'étude principale du projet PPS.

30) E;p

Gillard, P. & W.Th. Elberse, 1982. The effect of nitrogen and phosphorus supply on the competition between *Cenchrus biflorus* and *Alysicarpus ovalifolius*. (L'effet de l'apport en azote et en phosphore sur la compétition entre *Cenchrus biflorus* et *Alysicarpus ovalifolius*). Netherlands Journal of agricultural Science 30:161-171.

L'effet de l'application de N et de P sur la compétition entre la graminée *Cenchrus biflorus* et la plante légumineuse *Alysicarpus ovalifolius* a été mesuré lors d'une

expérience de substitution en culture sur sable dans une chambre climatique. Deux teneurs en N et P ont été appliquées dans toutes les combinaisons possibles, ce qui a donné quatre traitements: P_0N_0 , P_1N_0 , P_0N_1 , et P_1N_1 . En monoculture, la graminée a réagi à P_1N_1 , et à P_0N_1 ; elle n'a par contre pas réagi à P_1N_0 . La légumineuse n'a réagi en monoculture qu'à P_1N_0 . Dans tous les traitements, le rendement relatif total a dépassé l'unité. Ce n'est que dans le traitement P_1N_0 que certaines combinaisons ont eu un rendement supérieur à celui de la monoculture au rendement le plus élevé, à savoir les combinaisons dans lesquelles *Alysicarpus* dominait. *Cenchrus* s'est avérée la concurrente la plus puissante dans tous les traitements. Lorsque N était un facteur de contrainte, les poids par plante de la graminée dans les combinaisons se sont avérés supérieurs à ceux obtenus en monoculture, tandis que les poids par plante de la légumineuse se sont avérés soit plus proches, soit égaux à ceux de la monoculture (soit respectivement, dans les traitements P_0N_0 et P_1N_0). Ceci indique que la graminée a à peine subi la compétition de la légumineuse pour N, cette dernière étant autonome dans son alimentation en N. Toutefois, une grave restriction de N a empêché la graminée de déprimer la légumineuse dans la compétition exercée pour la capture d'autres ressources. La réaction positive de la légumineuse à P (dans P_1N_0) s'est révélée juste suffisante pour qu'elle puisse consolider sa position et assurer une coexistence stable. Lorsque N a été appliqué, la graminée s'est révélée avoir un gros avantage dans la capture de P (dans P_0N_1) ou en cas de compétition légère (dans P_1N_1). On conclut que la croissance rapide de *Cenchrus biflorus* lui permet de capturer des ressources à un stade précoce, ce qui l'en fait la concurrente la plus puissante. Bien que la croissance de *Alysicarpus ovalifolius* ait été plus lente, elle s'est adaptée pour survivre dans des conditions de faible disponibilité d'azote. Un précurseur de cet article est 21. L'importance naturelle des légumineuses dans la végétation du Sahel ainsi que les possibilités de stimulation de cette importance, sont discutées en détail dans 49.

31) N;r

Hanegraaf, Ch., 1977. *Cassia tora*. Verslag van een driemaandsonderzoek. (*Cassia tora*. Rapport d'une étude sur trois mois). Theoretische Teeltkunde, LH, CABO, Wageningen.

Cassia tora est présente sur le terrain sous deux formes: l'une munie de feuilles vert-foncées, la période de floraison étant limitée et précoce, tandis que l'autre possède des feuilles jaunes-vertes, la floraison commençant plus tard mais plus longtemps. Les deux variétés sont en général présentes côte à côte. En utilisant des

semences des deux variétés, des études ont été effectuées dans la chambre climatique afin de savoir s'il existe une forme qui fixe l'azote, tandis que l'autre ne le fixerait pas. Cette hypothèse n'a pu être confirmée; entre les deux variétés, aucune différence n'a été constatée dans la teneur en N ni dans la production, dans des conditions comparables (sol pauvre en N, et sol riche en N, sol inoculé ou non inoculé avec du sol du Mali). Les deux variétés sont néanmoins nettement différenciées: la semence de la variété verte est plus lourde; les différences de couleurs sont persistantes, il y a une intense formation tubéreuse sur les tiges de la variété verte, chose qui ne se produit qu'à l'occasion dans la variété jaune. On trouvera des informations sur d'autres plantes légumineuses ainsi que sur la fixation de l'azote en particulier dans 21, 30 et 49.

32) N;r;**

Held, A. den, 1978. Pastorale technologie: Weide en kuddebeheer en de sociale, politieke en territoriale organisatie in pastorale samenlevingen. (Technologie pastorale: la gestion des pâturages et des troupeaux, et l'organisation sociale, politique et territoriale des sociétés pastorales). Niet-Westerse Sociologie, LH.

Etude bibliographique du pastoralisme, l'accent étant mis sur la gestion des pâturages et des troupeaux, concentrée sur la région malienne du Sahel. La gestion des terres et des troupeaux s'est avérée de type universel au niveau-micro, les variations dépendant largement de l'environnement. L'absence de gestion des terres et des troupeaux au niveau-macro pose un problème lorsque la capacité de charge est dépassée ou qu'elle risque de l'être. L'utilisation communale des pâturages dans nombre de sociétés pastorales crée un décalage entre les avantages et les coûts individuels et sociaux. Ce problème exige une solution par le biais d'une gestion des sources d'aide au niveau macroscopique, gestion orientée sur l'optimisation de la production pour tous ceux concernés. A cet effet, la coordination avec la gestion existante au niveau microscopique est nécessaire. La présence ou l'absence d'une organisation territoriale est importante pour la détermination de la stratégie correspondante. La faisabilité ne dépend pas seulement des aspects physiques, sociaux et politiques, aspects très approfondis dans cette étude, mais également des aspects techniques et économiques, ces derniers étant importants. Voir sous 27 un exemple de gestion traditionnelle des pâturages et des troupeaux. Une information sur l'élevage au Sahel en général est donnée dans 9, 11, 17, 18, 37, 49 et 69.

- 32a) E;r;** Hoogmoed, W.B., 1978. Development of criteria and methods for improving the efficiency of soil management and tillage operations, with special reference to arid and semi-arid regions. Report of a visit to Mali (6-30/3, 1978). (Elaboration de critères et de méthodes visant à améliorer l'efficacité de la gestion et du travail du sol, en se référant tout spécialement aux régions arides et semi-arides. Rapport d'une visite au Mali (6-30/3, 1978)). Laboratoire de travail du sol, Université Agronomique, Wageningen.

L'institut de l'auteur recherche des moyens éventuels pour étudier le travail et la gestion du sol ayant un rapport direct avec la pratique en Afrique. C'est pour cette raison que les mesures prises englobaient des contacts avec le Projet PPS. Bien que ce Projet soit directement orienté sur les pâturages naturels et que l'Institut étudie l'exploitation des terres labourables, nombre de points présentent un intérêt commun, comme le tassement du sol, la formation de la croûte et le ruissellement. Après un bref examen de l'agriculture malienne, on donne des détails sur les expériences qui pourraient être faites en collaboration avec le Projet PPS ainsi qu'avec d'autres institutions maliennes. Le rapport englobe une annexe qui donne les premiers résultats de la coopération: 'Experiments with a rain simulator in Niono, Mali'. ('Expériences faites avec un simulateur de pluie à Niono, Mali'). W.B. Hoogmoed & L. Stroosnijder. Le ruissellement a été mesuré par rapport aux caractéristiques du sol et à l'intensité de la pluviosité. Les résultats sont intégrés au rapport final (49). On trouvera dans 33 et dans 68 un exposé plus complet. Pour ceux qui s'intéressent à ces problèmes, la publication suivante est aussi pertinente: 'Development of criteria and methods for improving the efficiency of soil management and tillage operations, with special reference to arid and semi-arid regions: Final report on research activities in Israel, Mali and Holland'. ('Elaboration de critères et de méthodes visant à améliorer l'efficacité de la gestion et du travail du sol, en se référant tout spécialement aux régions arides et semi-arides: Rapport final sur les activités de recherche en Israël, au Mali et aux Pays-Bas'). R. Rawitz, W.B. Hoogmoed & Y. Morin, Université Agronomique, Wageningen, Université Hébraïque, Jérusalem, 1981.

- 33) E;p Hoogmoed, W.B. & L. Stroosnijder, 1984. Crust formation on sandy soils in the Sahel. I. Rainfall and infiltration. (La formation de la croûte sur les sols sableux du Sahel. I. Pluviosité et infiltration). Soil and Tillage Research 4:5-23.

Les sols sableux dans le région du Sahel en Afrique occidentale, surtout plantés en mil (*Pennisetum typhoides*) sont très sensibles à la formation des croûtes, celles-ci réduisant en effet la capacité d'infiltration. Dans cette région, la plupart des champs sont en pente douce (de 1 à 3%), et donc, le ruissellement est un phénomène très largement répandu; en moyenne, il y a des pertes par ruissellement de 25% des pluies (qui se présente surtout sous la forme de très gros orages pendant la saison des pluies). Les causes de la formation de la croûte et son effet sur le taux d'infiltration sont discutés. Sur les sols non travaillés, la présence d'une croûte est une caractéristique permanente. Les caractéristiques de pluviosité jouent un rôle fondamental dans la formation de la croûte; dans le Sahel, les principales d'entre elles diffèrent très sensiblement de celles d'autres zones semi-arides. Cette publication présente les travaux évoqués dans 32a. Leur prolongement est résumé dans 68, qui donne une description mathématique du processus d'infiltration dans les sols à croûte permanente ainsi que dans les sols travaillés. Le rapport final (49) traite dans les grandes lignes des conséquences que les résultats présentés ont pour les pâturages. L'extrait 32a cite un rapport dans lequel les résultats sont exploités dans le contexte des terres cultivées. (Voir aussi 42, 54, 59 et 65).

33a) N;r

Jansen, D.M., 1984. SAHEL-5, een model voor ondergrondse concurrentie. (SAHEL-5, un modèle de compétition souterraine). Theoretische Teeltkunde, LH, Wageningen.

Ce rapport relate l'élaboration d'un modèle de simulation pour le suivi et l'analyse de la dynamique de la végétation de plantes annuelles après germination. Ce modèle est surtout orienté sur la situation dans les pâturages sahéliens composés d'espèces annuelles. En tant que tel, il prolonge 1, 22 et 64, dans lesquels la germination et l'installation sont décrites grâce à un modèle de simulation. Dans les calculs, ce modèle englobe la compétition exercée entre groupes d'espèces de plantes pour la capture de l'azote et de l'eau. Les groupes distingués sont les graminées C_4 et C_3 , les dicotylédones C_4 et C_3 et les plantes légumineuses. Les premiers résultats de l'analyse de simulation sont résumés dans 64a.

- 33b) E;r** Jong, K. de, 1983. Research on the waterbalance in a savannah ecosystem; a study for two soil types at Lamto, Ivory Coast. (Etude du bilan hydrique de l'écosystème de la savane; une étude de deux types de sol à Lamto, en Côte d'Ivoire). LH, Wageningen.

Il s'agit d'un rapport sur quatre mois de recherche; il se présente sous la forme d'une description de l'écosystème de la savane, sur les plans apport et prélèvement d'énergie. Le bilan hydrique a été étudié de février à avril 1982, en ayant recours à la stratégie élaborée et mise en oeuvre par le projet PPS (voir 49). Les précipitations, le ruissellement, et le stockage de l'eau dans le sol ont été mesurés; toutefois, la transpiration a été déduite de la production végétale, et l'évaporation potentielle a été calculée suivant la méthode de Penman; enfin, la percolation a été déduite de l'évaporation et de l'évapotranspiration potentielles. Dans l'écosystème de la savane, deux types de sol ont été étudiés, chacun en trois emplacements. Pour chacun des types de sol, on a distingué les emplacements à couverture d'herbe, les emplacements à couverture d'arbres et les emplacements nus. On a noté les différences d'utilisations de l'eau sur ces trois emplacements. On donne enfin une idée de l'apport énergétique dû au rayonnement, du bilan hydrique et de la production végétale aérienne. (Voir aussi 33, 65 et 68).

- 34) N,F;r;g;** Kessler, J.J. & F.M.J. Ohler, 1983. Interventies in Sahellanden: een ecologische benadering (effektiviteit van en milieu beïnvloeding door interventies in de Sahel- en Soedan-zones van West-Afrika). (Des interventions aux pays sahéliens, une approche écologique; l'efficacité des interventions et leur influence sur l'environnement dans les zones sahéliennes et les savanes de l'Afrique de l'Ouest). Natuurbeheer, LH/CABO, Wageningen.

Ce rapport est le résultat de deux études théoriques étalées sur 3 mois, effectuées pour la Commission néerlandaise de coopération en matière d'écologie et de développement, et financée par le Ministère des affaires étrangères. Les études théoriques ont été réalisées par la Section Aménagement de la nature, de l'Université Agronomique de Wageningen et le CABO. Il est important, pour la politique de coopération dans le développement, de se former une opinion à un stade précoce sur l'efficacité probable d'une intervention et sur son influence sur l'environnement. A cet effet, les deux aspects doivent être estimés, quantifiés dans toute la mesure du possible, et

considérés d'avance l'un par rapport à l'autre. La base à cet égard consiste en un collationnement des connaissances sur les écosystèmes, ainsi qu'en une vision approfondie de ceux-ci, sur le plan des possibilités et des contraintes relatives à l'exploitation des terres aux fins de l'homme. La description d'un écosystème peut fournir ces connaissances de base et donc servir à la formulation et à la mise en oeuvre d'une politique de coopération en matière de développement. L'efficacité des interventions et leur influence sur l'environnement dépendent directement de l'écosystème. Après la quantification de ces deux aspects, il est possible de savoir si un quelconque risque environnemental est tolérable ou non (voir 10). En fonction de la structure ci-dessus mentionnée, ce rapport se concentre sur les régions sahéliennes et soudanaises (savane) de l'Afrique occidentale. L'objectif consiste à déterminer l'efficacité des actions et à définir leurs répercussions sur l'environnement. Le point de départ est constitué par les facteurs et les processus spécifiques clefs qui dépendent de l'écosystème et qui déterminent le potentiel d'exploitation par l'homme, de même qu'ils imposent des contraintes à cette exploitation. Le nombre de facteurs et de processus dominants qui déterminent le type actuel d'exploitation des terres ainsi que l'efficience des interventions dans un écosystème est restreint. (Voir les références signalées par la lettre g pour les autres publications qui décrivent les problèmes de développement des pays du Sahel sur le plan des résultats du Projet).

35) N;r

Kessler, J.J. & H. Snijders, 1983. Kartering en evaluatie van Sahelweiden (uitwerking en evaluatie van gedeelten van een werkwijze beschreven in: (Cartographie et évaluation des pâturages du Sahel - Elaboration et évaluation de certains secteurs d'une stratégie décrite dans:) H. Breman (Ed.), 1982. La capacité de charge des pâturages sahéliens pour les systèmes d'élevage de la région. Compte-rendu de la table ronde. CABO, Wageningen.

Le titre s'explique de lui-même. Il se réfère à 13. L'exposé définitif de la stratégie décrite figurera dans le manuel en cours de préparation (page 43). A titre d'exemple, on y fera appel à une carte du trajet décrit dans cette étude, de la savane jusqu'au nord du Sahel (700 → 250 mm). On trouvera dans 40 la description de la végétation rencontrée sur ce trajet.

36) N;r

Ketelaars, J.J.M.H., 1977. Voorlopig verslag van een literatuurstudie naar methodes ter bepaling van de voedersamenstelling, -verteerbaarheid, en -opname bij grazende herkauwers; uitgevoerd in het kader van het project 'Primaire Produktie in de Sahel'. (Rapport provisoire d'une étude bibliographique des méthodes de détermination de la composition, de la digestibilité et de l'ingestion des fourrages chez les ruminants dans les pâturages; étude réalisée dans le cadre du Projet 'Production Primaire au Sahel'). PPS, Wageningen.

Cette étude a trait aux méthodes de détermination de la composition chimique et botanique des aliments intégrés, de leur digestibilité et de l'ingestion des aliments. En ce qui concerne les résultats de déterminations analogues dans la situation du Sahel, se reporter en particulier à 27 et 38.

37) N,F;r;g

Ketelaars, J., 1978. Problèmes concernant l'élevage au Sahel; implications pour la recherche faite dans le cadre du projet 'Production Primaire au Sahel'. Projet PPS, Université Agronomique, Département d'Ecologie Théorique, Wageningen.

Dans le contexte d'une étude préliminaire réalisée pour le Projet, on a bâti un cadre pour la recherche future sur l'exploitation des pâturages naturels à des fins d'élevage dans le Sahel. A cet effet, on a tenté de définir les priorités sur la base d'une analyse des problèmes que pose à l'heure actuelle l'élevage dans les pays du Sahel. Toutefois, une meilleure compréhension de ces problèmes a révélé qu'un examen plus large de la situation dans ces pays était nécessaire. L'étude vise donc à proposer des recherches pertinentes sur le plan social. Après une caractérisation générale de l'environnement et de l'exploitation des 'ressources' naturelles du Sahel, deux systèmes d'élevage originaires du Mali sont décrits dans des études de cas. L'étude aborde ensuite les formes d'intervention qui ont été ou qui sont mises en oeuvre dans le développement de l'élevage, puis considère en quoi consiste la contribution actuelle de la recherche dans ce domaine, ainsi que ce que cette contribution pourrait être. On indique par ailleurs que l'une des priorités de la recherche sur l'élevage devrait concerner le fonctionnement des systèmes d'élevage nomade et semi-nomade traditionnels. (Voir aussi 37, et les recommandations du colloque: page 12).

38) E;p

Ketelaars, J.J.M.H., 1984. Evaluating rangeland as feed resource for livestock production. In: W. Siderius (Ed.), 1984. Proceedings of the workshop on land evaluation for extensive grazing (LEEG). (L'évaluation des prairies à titre de ressource alimentaire pour la production du bétail. Dans: W. Siderius (Ed.), 1984. Compte-rendu de l'atelier sur l'évaluation des terres destinées au pâturage intensif). Addis-Abeba, 1983. ILCA, ITC, FAO et ISSS. Publication 36, ILRI, Wageningen.

Dans l'évaluation du potentiel de la prairie, la production primaire est fondamentale. Toutefois, lorsque l'on compare les ressources alimentaires des prairies, on observe de grandes différences dans la qualité des herbages d'alimentation des ruminants. Ces différences qualitatives peuvent avoir une influence très sensible sur la production animale probable dans les pâturages semi-arides. On tente de prédire la fourchette des variations du gain annuel de poids vif chez le bétail en cours de croissance dans diverses conditions de croissance des pâtures. Pour pouvoir créer une base objective permettant de prévoir le gain de poids, on a considéré l'absorption alimentaire du bétail en cours de croissance en fonction des caractéristiques des aliments. D'après une analyse faite après des essais de nutrition, on démontre que l'absorption d'énergie par le bétail en cours de croissance dépend surtout de la possibilité qu'a l'animal de s'alimenter en protéines. Etant donné que l'approvisionnement de l'animal en protéines est compliqué par l'action du système microbien de la panse, la disponibilité protéinique ne peut être mesurée directement d'après l'aliment. On suggère cependant que, à des fins pratiques, ce paramètre peut être déduit de la concentration d'azote, de la digestibilité, et de la dégradabilité des protéines contenues dans l'aliment. En analysant les données sur l'absorption des aliments, on a pu calculer un rapport entre le prélèvement énergétique maximum et la concentration en azote des aliments. On s'est servi de cette relation pour prédire le gain maximum de poids vif à partir d'une concentration donnée d'azote dans le régime alimentaire. En supposant des concentrations d'azote typiques pour la feuille verte et la feuille sèche dans diverses conditions de croissance de la pâture, on a estimé le gain de poids vif cumulé dans quatre zones écologiques présentant un gradient de pluviosité analogue à celui qu'on trouve, par exemple, à travers la zone soudano-sahélienne. Les estimations indiquent qu'un coefficient dix dans la différence entre les gains annuels de poids vif est vraisemblablement assez fréquent. L'approche présentée fera partie du manuel consacré à l'évaluation des prairies (page 43). On trouvera dans 13 le mode selon lequel ces éléments seront intégrés.

39) N;r

Kooman, A. & H. Janssen, 1980. De saver-spendertheorie getoetst; Onderzoek naar kieming, vestiging en de reaktie op droogte van enkele Sahelweideplanten. (Mise à l'épreuve de la théorie des 'savers-spenders' = 'économés-dépensiers'); étude de la germination, de l'installation et de la réaction de certaines plantes des pâturages sahéliens à la sécheresse). R.U.-Utrecht/CABO, Wageningen.

Il s'agit là de l'une des expériences en chambre climatique dont le but est de caractériser les espèces de plantes importantes du Sahel. On trouvera de plus amples renseignements sur celles-ci de même que sur d'autres espèces, dans 2, 21, 26, 41, 55 et 63. En ce qui concerne la germination, cette étude se penche sur la recherche des traitements qui donnent les meilleurs résultats à la germination. On décrit ensuite la croissance pendant les 14 jours qui suivent la germination, et on fait une distinction entre les plantes à croissance rapide et les plantes à croissance lente. On a ensuite étudié la réaction à la sécheresse, afin de savoir s'il existe une nette distinction entre les 'économés' (savers) et les 'dépensiers' (spenders), comme on l'a fait pour les espèces du désert du Néguev en Israël. La transposition directe de la théorie en question aux espèces du Sahel s'est avérée impossible.

40) N;r

Laan, F. v.d., 1980. Voorlopige vegetatiekartering van een transekt in de Malinese Sahel. (Cartographie provisoire de la végétation d'un transect dans le Sahel malien). Rapport interne. VU, Amsterdam/CABO, Wageningen.

La cartographie des prairies et le manuel d'évaluation en préparation (voir page 43) plaident en faveur de la cartographie du paysage plutôt que de celle de la végétation à titre de base d'évaluation des prairies, ceci en raison de la grande dynamique de la composition et de la production végétales. Toutefois, la composition de la végétation au cours d'une année donnée fournit des renseignements importants sur l'état des pâturages. Elle peut aussi servir de base pour la détermination de la végétation 'normale'. Ce rapport fait appel à 85 inventaires généraux de la végétation pour cartographier celle d'un transect dans le centre du Mali en 1978. Le transect qui sera finalement utilisée dans le manuel ci-dessus mentionné, fait 12 km de large et 340 km de long. Elle s'étend de l'isohyète de 700 mm à l'isohyète de 300 mm. Avant que les unités de végétation à distinguer puissent être caractérisées, les espèces de plantes présentes ont été classées. Les plantes annuelles et les plantes pérennes ont été

considérées séparément. Au total, on a distingué respectivement 11 et 12 groupes de plantes, et on les a décrits en fonction de l'emplacement. On trouvera dans 13, 35 et 49 le détail de la méthode qui sera exposée dans le manuel. Voir aussi peut-être 19, 29 et 38.

- 41) N;r Loon, A. van, 1979. Kiemgedrag van enige Sahel-weide soorten. (Le comportement germinatif de certaines espèces de pâturages du Sahel). R.U.-Utrecht/CABO, Wageningen.

La germination de sept espèces a été étudiée dans la chambre climatique. La vitesse de germination a été déterminée dans des conditions aussi optimisées que possible. Elle diffère dans de fortes proportions d'une espèce à l'autre; elle dépend aussi de l'intensité du pré-lavage des semences et de l'enlèvement de la balle et de la bractée. On a simulé la situation autour des mares temporaires ainsi que celle de divers régimes pluvieux afin de savoir si différentes végétations pouvaient être obtenues à partir d'un seul et même mélange de semences, ce qui s'est avéré être le cas. La vitesse de germination est un facteur important pour connaître les diverses combinaisons d'espèces susceptibles de se développer à partir d'une seule combinaison de semences. L'information qui se dégage de cette étude est intégrée, en particulier, à 1, 16, 22, 49 et 60. La simulation en chambre climatique d'une situation concrète est également présentée dans 60. On trouvera d'autres données fondamentales sur la germination dans 2, 39 et 57.

- 42) E;r Loon, L. van & H. Wösten, 1979. A model to simulate evaporation of bare soils in arid regions. (Modèle de simulation de l'évaporation des sols nus dans les régions arides). Internal report No. 10. Theoretical Production Ecology, LH, Wageningen.

Dans le but ultime d'étudier le bilan hydrique des régions arides et d'acquérir des connaissances approfondies sur les relations entre les profils des précipitations, le climat, les infiltrations, l'évaporation et la germination des semences, on a créé un modèle de simulation pour l'évaporation des sols nus des régions arides. Le modèle présenté n'est pas tout à fait nouveau; il combine néanmoins certaines parties de modèles décrits dans la bibliographie. Ce modèle consiste en trois grandes parties: la première décrit les processus physiques du sol, par exemple le transfert d'eau et de

chaleur dans le sol; la deuxième décrit les conditions climatiques, tandis que la troisième décrit l'évaporation dans un évaporimètre de type profond à ciel ouvert, phénomène dit 'd'évapotranspiration potentielle'. Les résultats de la simulation sont comparés à ceux des essais de rendement réalisés au Mali pendant l'été 1978. Les thèmes traités dans ce dernier cas étaient la prévision des profils de distribution de l'humidité du sol par rapport à sa texture et aux conditions climatiques, la question du 'délai pendant lequel la couche de recouvrement reste humide après l'arrêt de la pluie' et la simulation de l'évaporation en évaporimètre. Le modèle présenté donne une description détaillée du processus d'évaporation d'un sol nu. Il s'ensuit que ce modèle est de grandes dimensions, et que son exécution exige de nombreuses heures d'ordinateur. Il faudra donc qu'il soit considérablement simplifié avant de pouvoir être utilisé dans les modèles de production végétale. Le travail sur ce modèle n'est pas terminé. Pour plus amples renseignements sur ces problèmes, voir 49, 52 et 62.

43) N;r

Massa, F.E., 1976. Vergelijkend onderzoek van Stylosanthes-soorten. (Etude comparative de diverses espèces de Stylosanthes). Praktijkverslag CABO, Wageningen.

Le rapport décrit quelques essais démonstratifs sur *Stylosanthes humilis*, *S. hamata*, *S. scabra* et *S. viscosa* en chambre climatique, dans des conditions correspondant dans toute la mesure du possible à celles du Sahel. *S. humilis* s'est avérée avoir la germination la plus rapide, et *S. viscosa* la plus lente. La vitesse et le pourcentage de germination n'ont pu être sensiblement améliorés par grattage que dans le cas de *S. scabra*. On a constaté que la formation des nodules des racines dépendait du sol, du pH et de l'espèce. D'une façon générale, c'est *S. hamata* qui possède le plus grand nombre de nodules, et *S. viscosa* le plus petit nombre. Le nombre de nodules formées est nettement plus important au pH 5,8 qu'au pH 7; c'est toutefois avec ce dernier pH que la production s'avère la plus forte. L'épandage d'azote fait augmenter les rendements, tout en provoquant une baisse du rapport pousse racine chez *S. humilis* et *S. hamata*. La faculté de compétition de ces deux dernières espèces est étudiée dans une série de substitutions, dans des conditions de forte et de faible disponibilité en phosphore, ainsi que sous des états de sécheresse et d'humidité. Dans les monocultures, on constate que la productivité de *S. hamata* est supérieure à celle de *S. humilis*; *S. hamata* prélève l'eau plus rapidement et fixe le plus d'azote; *S. hamata* a moins besoin de P pour une production équivalente de matière sèche. Dans les cultures mixtes, on a

toujours observé des valeurs de RYT (totaux de rendements relatifs) supérieures à 1, peut-être parce que la souche de *Rhizobium* utilisée pour *S. hamata* avait désormais effectivement infecté *S. humilis*. Dans des conditions de sécheresse, *S. humilis* atteint une taille supérieure à celle de *S. hamata*. Par suite, la différence dans la faculté de compétition (*S. hamata* étant la plus forte), se réduit dans les conditions de sécheresse. Les deux espèces exigent environ 600 ml d'eau par gramme de matière sèche. *S. humilis* donne plus de graines que *S. hamata* en culture mixtes, surtout du fait d'une floraison plus précoce. Pour se renseigner sur les légumineuses naturelles du Sahel, et pour leur stimulation, se reporter à 21, 30 et 49.

- 44) N;r;g;** Ohler, F.M.J., 1983. Bomen en struiken in de Sahel en Soudan ecosystemen (Een bureau studie naar kwantitatieve onderzoeksresultaten). (Les arbres et buissons dans les écosystèmes du Sahel et du Soudan; étude théorique des résultats de la recherche quantitative). CABO, Wageningen.

Ce rapport constitue la première approche pour une étude sur le rôle des arbres et des buissons dans l'élevage, dans les régions sahélienne et soudanaise de l'Afrique occidentale. Il s'agit d'une synthèse des données figurant dans la bibliographie ainsi que des renseignements issus du projet, effectuée pour le compte du Club du Sahel (Paris). Les rôles actuels et potentiels des plantes ligneuses seront décrits. Les sujets abordés sont les suivants:

- le rapport entre les plantes ligneuses, le sol et le climat;
- la biomasse et la production; influence du sol et de la couche d'herbage;
- l'effet du feu et de l'exploitation;
- les plantes ligneuses dans l'élevage (phénologie, accessibilité et qualité);
- la plantation et son importance pour l'élevage et la stabilité de l'environnement.

Le rapport final sera publié en français et en anglais par le Club du Sahel et par le CILSS. On trouvera dans 49 une esquisse des renseignements sur les espèces ligneuses.

- 45) N;r Oyen, L.P.A., 1975. Het stikstof- en fosfaatgehalte van een aantal gronden in de Sahel-steppe-zone van Mali. Een ingenieursonderzoek. (Les teneurs en azote et en phosphates

dans un certain nombre de sols de la steppe du Sahel malien - étude effectuée par un ingénieur). Algemene Bodemkunde en Bemestingsleer, LH, Wageningen.

Avant même que le Projet n'ait démarré, des recherches préliminaires avaient été faites sur la végétation (voir 5a) et le sol du Sahel malien. Ce rapport indique les teneurs en N, en P total et en P disponible, constatées dans les échantillons de 11 types de sols à Niono, Kogoni, Nampala, Niono et Kayes. On a analysé la couche de sol superficielle, de 1 à 2 cm d'épaisseur, ainsi que la couche de recouvrement sur une profondeur de 20 cm. La couche superficielle du sol contenait entre 0,03 et 0,20% de N, 150 à 500 ppm de P total, et de 20 à 60 ppm de P disponible. Pour la couche supérieure de 20 cm, les chiffres correspondants étaient de 0,015 à 0,075% N, de 150 à 350 ppm de P total et de 15 à 25 ppm de P disponible. Ces renseignements sont intégrés à 49. En ce qui concerne la fertilité du sol, voir aussi 24, 65 et 66.

- 46) F,E;r;g Penning de Vries, F.W.T., 1978. Résultats et perspectives du projet Production Primaire au Sahel. Esquisse mi-chemin. PPS, Bamako - Wageningen.

Le titre de ce rapport s'explique de lui-même. Les renseignements ainsi donnés figurent dans le rapport final (49).

- 47) E;p Penning de Vries, F.W.T., 1980. Simulation models of growth of crops, particularly under nutrient stress. In: Physiological aspects of crop productivity. Proceedings 15th Colloquium International Potash Institute, Wageningen. (Modèles de simulation de la croissance des cultures, en particulier dans des conditions de déficit d'éléments nutritifs. Dans: Les aspects physiologiques de la productivité des cultures. Actes du 15^{ème} Colloque International de l'Institut des Potasses, Wageningen). Institut International des Potasses, Bern. p. 213-226.

Cette communication considère la création d'un modèle de croissance des cultures, et analyse certains des modèles actuels de croissance des cultures dans des conditions non-optimales d'approvisionnement en éléments nutritifs. La construction de modèles de croissance et de production dans des situations agraires sans contrainte nutritive a jusqu'ici fait l'objet de la plus grande attention, et l'on a élaboré des modèles

permettant de prévoir de façon assez fiable la croissance et la transpiration dans ces conditions. Certains de leurs aspects, comme la morphologie des plantes et la répartition des éléments assimilés, ont encore besoin d'être nettement améliorés. Tandis que l'on utilise de plus en plus les connaissances que l'on a sur la disponibilité de l'azote et des minéraux dans le sol, les modèles dans ce domaine sont de plus en plus utiles aux études de la croissance et de la production. On discute de certains aspects de la production des cultures dans ces conditions. Il semble qu'il soit nécessaire de vérifier de façon très approfondie les modèles de croissance et de production par des expériences et des simulations, avant qu'ils ne constituent des instruments de prévision suffisamment fiables. Cette communication est intéressante pour ceux qui utilisent ou qui créent des modèles de simulation de croissance des cultures. Elle ne traite pas spécifiquement de la région du Sahel. Documents pertinents: 50 et 52.

48) E;p;g

Penning de Vries, F.W.T., 1983. The productivity of Sahelian rangelands - A summary report. (La productivité des pâturages sahéliens - Un rapport récapitulatif). Overseas Development Institute, Agricultural Administration Unit. Pastoral Network paper 15b. 31 p.

Au plan international, la productivité des pâturages sahéliens suscite des inquiétudes depuis une décennie. De 1976 à 1980, un grand programme de recherche, intitulé 'Production Primaire au Sahel' (PPS) s'est déroulé au Mali, et ses résultats ont été publiés dans l'ouvrage de F.W.T. Penning de Vries & M.A. Djitèye (Ed.): La productivité des pâturages sahéliens, Centre de publications et de documentation agricoles (Pudoc), Wageningen (voir 49). Cet important ouvrage, publié en français quoique avec un résumé intégral de 34 pages en anglais, fait considérablement avancer la connaissance que l'on a de ce sujet. Le présent document a été tout spécialement rédigé par l'un des principaux rédacteurs du rapport, qui le destinait aux membres du réseau. Il traite brièvement des principaux titres de l'ouvrage, ce qui implique que son contenu et son index (voir pages 97-111) de la présente bibliographie se réfère aussi à cette communication. On trouvera dans la version anglaise de la référence 58 un exposé beaucoup plus détaillé, en anglais, des résultats du projet. La référence 20 porte sur un article qui traite des résultats dans le contexte de l'assistance technique pour l'amélioration de l'exploitation des pâturages sahéliens.

- 49) F,(E);p;g Penning de Vries, F.W.T. & M.A. Djitaye (Eds.) (1982). La productivité des pâturages sahéliens - Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. Agricultural Research Reports 918, ISBN 90 220 0806 1, (xxiii) + 525 p., 145 fig., 95 tab., 235 ref.

Rapport principal sur le projet. Voir en pages 7-8 le résumé, et en pages 97-111 la table des matières et l'index. Le rapport est publié en français; il est toutefois assorti d'un résumé en anglais, les titres des tableaux et des graphiques étant également dans cette langue. On trouvera un exposé anglais encore plus détaillé dans 58.

- 50) F,E;p;** Penning de Vries, F.W.T. & H.D.J. van Heemst, 1975. Production primaire potentielle des terres non irriguées au Sahel: une première approximation. Dans: Inventaire et cartographie des pâturages tropicaux africains. Actes du colloque. Bamako-Mali, 3-8 mars 1975. ILCA, Addis-Abeba. p. 323-327.

Dans les régions arides et semi-arides la disponibilité dans le sol des éléments nutritifs est souvent l'un des facteurs limitatifs de la production primaire. Si on arrivait à le supprimer on pourrait alors accroître le rendement des pâturages et des autres terres agricoles jusqu'à la limite imposée par la quantité et la répartition des précipitations d'une part et par la capacité de rétention du sol d'autre part. La présente étude montre qu'il est possible de chiffrer par les modèles de simulation cette production potentielle; en fonction du type de sol, de la profondeur du sol et de la répartition des pluies celle-ci varie de 0 à 4000 kg de matières sèches par ha et par an pour des précipitations annuelles de 270 mm et de 5000 à 9000 kg de matières sèches par ha et par an pour des précipitations de 540 mm. A noter que ces estimations ont été faites avant le démarrage du projet. Le modèle de simulation employé a été élaboré sur la base des travaux dans le désert du Néguev. Toutefois, les paramètres sont ceux des sols et du climat du Sahel; en outre, on avait déjà une idée des propriétés des plantes (voir 26). La production potentielle simulée est un peu plus faible que celle que l'on a en fait obtenue sur le terrain pendant le projet (49). Il existe maintenant des modèles de simulation plus sophistiqués pour la production potentielle et pour la production réelle (voir 49, 52 et 58).

51) E;p

- Penning de Vries, F.W.T., J.M. Krul & H. van Keulen, 1980. Productivity of Sahelian rangelands in relation to the availability of nitrogen and phosphorus from the soil. Dans: Rosswall, T. (Ed.). Nitrogen cycling in West African Ecosystems. (La productivité des pâturages sahéliens en fonction de la disponibilité de l'azote et du phosphore dans le sol. Dans: Rosswall, T. (Ed.). Le cycle de l'azote dans les écosystèmes ouest-africains). SCOPE/UNEP International Nitrogen Unit, Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm. p. 95-113.
- Penning de Vries, F.W.T. (reporter), 1980. Report of the work group on the Sahel-Savanna Zone. Dans: Rosswall, T. (Ed.). Nitrogen cycling in West African Ecosystems. (Rapport de l'atelier sur la zone de savane du Sahel. Dans: Rosswall, T. (Ed.). Le cycle de l'azote dans les écosystèmes ouest-africains). SCOPE/UNEP International Nitrogen Unit, Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm. p. 399-407.

La productivité annuelle des pâturages naturels du Sahel à graminées annuelles n'est pas seulement limitée par les précipitations, mais également par la faible fertilité des sols. Les déficiences en azote et en phosphore jouent aussi un rôle fondamental. Laquelle de ces deux contraintes limite le plus la productivité dans tel ou tel cas peut être déterminé à partir du ratio de leurs teneurs dans les tissus de la plante. La productivité et l'absorption d'azote par la végétation des pâturages naturels ont été étudiées dans le cadre d'expériences en série sur la fertilisation de différents types de sol. Suivant les résultats ainsi obtenus, on a élaboré un modèle statique afin de prévoir l'absorption d'azote et la productivité des pâturages. Dans le cas de ce modèle, les apports sont constitués par la fertilité naturelle du sol, sa fertilisation et sa récupération, ainsi que par la durée de la phase de croissance végétative. On n'aborde guère les pertes de N susceptibles d'intervenir pendant et après la période de développement de la graine. D'une façon générale, la récupération de l'azote en engrais s'avère bonne. Très localement, une dénitrification et/ou un lessivage peuvent intervenir. Sur certains sols surpâturés, on constate qu'une faible disponibilité de P limite l'absorption de N, et donc le rendement de la plante. Pendant le séminaire au cours duquel cette communication a été présentée, un atelier a tenté de quantifier les éléments du bilan azotique dans le Sahel et dans les écosystèmes de la savane, aussi bien à l'état de pâture que de culture. Les résultats obtenus dégagent la distribution de N dans le système sol-plantes, ainsi que les taux d'apport et de dégagement de N. En ce qui concerne les pâturages sahéliens, ces deux éléments sont présentés dans 49. (Le bilan azote joue aussi un rôle important dans 10 et 34).

- 52) E;p;** Penning de Vries, F.W.T. & H.H. van Laar (Eds.), 1982. Simulation of plant growth and crop production. (Simulation de la croissance des plantes et de la production des cultures). Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen.

Cet ouvrage est une introduction à la simulation dynamique de la croissance des plantes et de la production des cultures. Il résume une vaste expérience dans l'élaboration des modèles et des programmes sur ce sujet, expérience acquise à Wageningen (Pays-Bas) pendant les dix dernières années. Il porte en particulier sur les disciplines de la physiologie des cultures, de la micrométéorologie des cultures, de la physique du sol et de sa microbiologie. Cette expérience est le résultat d'une recherche effectuée au Département d'Ecologie Théorique de l'Université Agronomique et de ses programmes d'enseignement, de la recherche réalisée au Centre de Recherches Agrobiologiques et dans d'autres départements et instituts, ainsi que de travaux de scientifiques en visite. Une grande part de cette compétence et de ce savoir-faire technique est présentée dans cet ouvrage. On a tenté de les communiquer aux lecteurs par de nombreux exercices et exemples. La stratégie des systèmes, appliquée à un vaste éventail de sujets, a abouti à une vision particulière de la simulation et de la création de modèles de croissance des plantes et de production des cultures. Cette vision s'est traduite dans la pratique par une stratégie. La vision et la stratégie font l'objet de contributions à l'introduction de cette monographie. La situation dans le Sahel et ses paramètres ne servent d'exemples que dans certains chapitres. C'est le cas, tout spécialement, dans 'Systems analysis and models of crop growth' (l'Analyse et modèles de systèmes de croissance des cultures) (Penning de Vries), dans 'Simulation of the soil water balance' (Simulation du bilan hydrique du sol) (Stroosnijder), et dans 'Crop production in relation to availability of nitrogen' (Production des cultures suivant la disponibilité d'azote) (Penning de Vries). Si le lecteur s'intéresse à ces questions dans leur contexte sahélien, il peut se référer plutôt à 49, 51 et 66. Cet ouvrage est néanmoins précieux pour ceux qui souhaitent se familiariser avec l'approche du projet PPS.

- 53) E;p;g Penning de Vries, F.W.T. & C.T. de Wit, 1983. Technological potential for food production in Sub-Saharan Africa. In: Mellor, J.W. (Ed.), Proceedings IFPRI Conference, Zimbabwe 1983. (Le potentiel technologique de la production alimentaire dans l'Afrique

sub-saharienne. Dans: Mellor, J.W. (Ed.), Actes de la Conférence IFPRI, Zimbabwe 1983). IFPRI, Wageningen.

Cette contribution à la conférence sur 'L'accélération de la croissance de l'agriculture dans l'Afrique sub-saharienne' n'est pas le résultat direct du Projet. Toutefois, elle traite de la stratégie utilisée et développée plus avant dans le Projet. Les résultats du Projet qui concernent la relation entre la fertilité du sol et la production y sont aussi utilisés. La publication consiste en deux parties: la première aborde la production alimentaire potentielle, ce spécifiquement pour l'Afrique. En principe, il serait possible d'accroître substantiellement cette production. Toutefois, il est peu probable que, dans la pratique, cette augmentation puisse compenser la croissance démographique. Pour améliorer les chances de compensation, l'ouvrage argue qu'il faudrait faire plus souvent appel à la méthode d'analyse des systèmes, combinée à une programmation linéaire dynamique pour l'analyse des options théoriques de développement; le délai imparti n'autorise ni essais ni erreurs. La deuxième partie étudie d'une manière plus approfondie certaines options sur le plan du potentiel technologique: les rendements potentiels, la pénurie d'eau et la fertilité du sol constituent des aspects essentiels dans ce cas. Parmi les autres publications qui abordent la possibilité d'accroissement de la production alimentaire se trouvent 9, 10, 20, 34 et 49.

54) F;r

PPS, 1980. Observations météorologiques à Niono, Mali, dans les années 1976-1979. PPS, Wageningen.

Cette notice contient un résumé des données météorologiques recueillies par le projet au Ranch et sur le terrain irrigué à Niono (Mali), dans les années 1976-1979. Elles sont présentées sans traitement ni interprétation sauf ce qui était nécessaire pour obtenir des unités standard. Les observations ont été faites à l'aide d'instruments météorologiques standard. Elles concernent la précipitation, les températures maximale et minimale, l'humidité relative, le rayonnement global et la vitesse du vent. Une description de la météorologie du Sahel en général et du terrain d'étude a été présentée dans 49.

55) N;r

Ridder, N. de, 1976. Een druppel op de gloeiende plaat, of een oecofysiologisch onderzoek aan 3 éénjarige, in de Sahel voorkomende grassen: *Cenchrus biflorus*, *Aristida mutabilis*, *Schoenefeldia gracilis*. Verslag van een onderzoek uitgevoerd in de periode juni-december 1976 aan het CABO, Wageningen. R.U.-Utrecht. (Une goutte dans le désert, ou une étude écophysiological de trois graminées annuelles sahéliennes: *Cenchrus biflorus*, *Aristida mutabilis*, *Schoenefeldia gracilis*. Rapport d'une étude réalisée de juin à décembre 1976 au CABO, Wageningen). R.U.-Utrecht.

Les analyses décrites dans ce rapport comprennent une étude écophysiological de trois graminées annuelles présentes dans le Sahel. Cette étude a été effectuée dans la chambre climatique. On a eu recours à des essais de compétition pour tenter de répondre à la question suivante: quel est l'état de la compétition entre graminées en présence d'un excédent d'azote ou avec des doses d'azote marginales, ainsi que dans le cas de récoltes répétées ou non répétées? On a expérimenté en monoculture et en culture mixte. Les données relatives aux monocultures répondent à la question suivante: quelle est la production de semences et de matière sèche, et quels sont la distribution de la matière sèche, le tallage et la consommation d'eau dans le cas de doses excédentaires et de doses marginales de N, ainsi qu'avec des récoltes répétées et non répétées? Les réponses données à ces questions ne sont pas toutes aussi satisfaisantes les unes que les autres. On a obtenu des renseignements sur la germination, le rapport pousse/racine, la réaction à l'apport supplémentaire de N, le tallage et l'effet de récoltes régulières. Parallèlement à d'autres renseignements, ceux-ci ont aussi été recueillis dans le cadre des recherches décrites dans les rapports 2, 4, 21, 26, 30, 39, 41, 56, 57 et 63. On trouvera dans 49 un résumé général de ces informations.

56) N;r

Ridder, N. de, 1979. Fotoperiodiciteit in de Sahel. Een zaaitijden proef met ruim 20 in de Sahel voorkomende plantesoorten en een model voor de berekening van de bloeidatum van deze soorten. (La photopériodicité dans le Sahel. Essai de périodes différentes de semences sur plus de 20 espèces de plantes présentes dans le Sahel, et modèle de calcul de la date de floraison de ces espèces). R.U.-Utrecht/PPS, Bamako - Wageningen.

Un essai de semences à des dates différentes sur plus de 20 espèces de plantes, a démontré que la sensibilité à la longueur de jour est une importante caractéristique des plantes du Sahel. Cet essai, réalisé d'avril à novembre à Niono, a permis de

quantifier la sensibilité à la longueur du jour. L'étude de certaines espèces a montré que pour une journée d'une durée donnée, les représentants septentrionaux d'une espèce ont un cycle plus court que ses représentants méridionaux. Elle a aussi démontré que la température jouait un rôle dans la détermination de l'époque de la floraison à partir d'une date de germination donnée sous la latitude de Niono. L'importance qu'a la sensibilité à la longueur du jour pour la production et la dynamique des végétations du Sahel est soulignée dans 16 et 49. On trouvera dans 28 des observations faites sur le terrain.

57) N;r

Ridder, N. de, 1979. De invloed van de eerste regenbuien in een regenseizoen op de soorten-samenstelling van een uit éénjarige bestaande Sahelvegetatie. (L'effet des premières averses d'une saison des pluies, sur la composition d'une végétation sahélienne à plantes annuelles). R.U.-Utrecht/FPS, Bamako - Wageningen.

Ce rapport présente quelques-uns des résultats de l'étude de la composition des espèces des végétations, suivant le substrat et le climat. Sur une série de quatre saisons, les observations rapportées ne s'appliquent qu'à une seule d'entre elles. La germination, l'installation, la survie et la croissance des espèces individuelles de plantes ont été quantifiés dans toute la mesure du possible au Ranch de Niono, sur du sable, du limon et de l'argile. On a simulé des pluies précoces ainsi que des pluies naturelles, la simulation donnant une bonne saison des pluies, artificiellement prolongée, ainsi qu'une saison courte et tardive. On a constaté que le mode de germination était très important pour la composition des espèces. On a vu que l'interaction du substrat et de la pluviosité était importante pour la détermination de la disponibilité de l'eau. La résistance des plantules à la sécheresse avait une importance toute particulière pour les espèces à germination rapide. La durée de la saison de croissance s'est avérée sans aucun doute aussi importante que la disponibilité de l'eau pour la production totale finale. Les données présentées sont intégrées, en particulier, dans 16 et 49. A.M. Cissé a analysé les observations qui s'étaient sur 4 saisons. Il espère obtenir son doctorat à l'Université Agronomique de Wageningen grâce à cette recherche.

- 58) F,E;p;g Ridder, N. de, L. Stroosnijder & A.M. Cissé, 1982. La productivité des pâturages sahé-
liens. Textes du Cours P.P.S.: Tome 1, théorie; Tome 2, travaux pratiques. Université
Agronomique, Wageningen.

Une part importante des résultats du Projet publiés dans le rapport final (49) est expliquée dans ces ouvrages, ce pour le personnel d'encadrement qui travaille sur les problèmes d'élevage dans le Sahel. La présentation de ce rapport est telle qu'il peut servir de base à des cours correspondants. Ce rapport existe en français et en anglais. Pour plus amples renseignements, voir pages 13-14. Le texte peut être considéré comme une version simplifiée et abrégée du rapport final. La table des matières et l'index du rapport final (pages 97-111) peuvent donc être utilisés pour cette publication, et la référence 58 n'y est donc pas intégrés sujet par sujet.

- 59) E;r Rietveld, J.J., 1977. Current knowledge on soil non-wettability with special reference to
quantification. M.Sc. thesis Theoretical Production Ecology. (Les connaissances actuelles des propriétés non mouillantes du sol, en particulier du point de vue de la quantification. Thèse de maîtrise de sciences en Ecologie Théorique). LH, Wageningen.

Au Mali, on a observé qu'un ruissellement intervenait sur des sols très perméables pendant le orages. Dans une première tentative de clarification de ce phénomène, on a présumé que les propriétés non mouillantes en étaient la cause. Dans sa première partie, le rapport indique l'état actuel des connaissances dans ce domaine. On se penche sur les causes, les méthodes de mesure, les influences sur le mouvement de l'eau dans le sol et l'effet des agents tensio-actifs. Dans la seconde partie, ces connaissances sont appliquées à l'absence de mouillabilité telle qu'observée dans le Sahel. On constate que cette propriété existe dans la partie supérieure d'une mince croûte superficielle et qu'elle est due à la présence des algues telluriques dites Cyanophyceae. Les méthodes de mesure citées dans la bibliographie s'appliquent surtout à des sols parfaitement non mouillantes. Dans ce cas, la propriété non mouillante est confinée à une très fine couche, de telle sorte qu'une nouvelle méthode de mesure, spécifique à cet état, a dû être élaborée. Un modèle de la structure de la croûte a ensuite été conçu et un modèle de simulation a été élaboré; celui-ci tient compte des éléments suivants: résistance de la croûte, propriété non mouillante, profondeur de l'eau sur la surface du sol, et température de l'eau. La résistance de la croûte s'est avérée avoir

une importance beaucoup plus grande pour l'infiltration que la non mouillabilité. Ce modèle de simulation exige de nombreuses heures d'ordinateur, et une méthode a donc été mise au point afin d'imiter l'infiltration par la croûte hydrophobe. On a eu recours à cette méthode d'imitation pour décrire le ruissellement dans un modèle tridimensionnel. Ce rapport est utilisé dans le rapport final (49) pour décrire le bilan hydrique des pâturages sahéliens. Les problèmes que la non mouillabilité du sol et le ruissellement présentent pour la production des récoltes sont abordés dans 32a, 33 et 68.

60) N;r

Rouw, A. de, 1982. De invloed van de eerste regenbui in een regenseizoen op de soorten-samenstelling van een uit éénjarige bestaande Sahelvegetatie (nabootsing van een in Mali uitgevoerde veldproef in de klimaatkamer). (L'effet des premières averses pendant la saison des pluies, sur la composition des espèces d'une végétation sahélienne à plantes annuelles; simulation en chambre climatique d'un essai sur le terrain au Mali). Theoretische Teeltkunde LH/CABO, Wageningen.

Les données obtenues sur le terrain ainsi que les essais en chambre climatique ont conduit à conclure que le volume et la distribution de la pluviosité au début de la saison des pluies commandent la composition de la végétation pendant cette saison du fait de la stratégie de la germination et de la sensibilité à la sécheresse des diverses espèces de plantes. L'étude présentée ici considère si les observations faites sur le terrain et décrites dans 57 pourraient être reproduites dans la chambre climatique. Le but était de tester la valeur des données obtenues dans la chambre climatique, et de construire un modèle de simulation valide pour pouvoir analyser la situation sur le terrain. A cet effet, un mélange de semences de quelques espèces a été placé dans un substrat sableux et a été soumis à diverses pluviosités; on a ainsi étudié la fluctuation dans le temps de la germination et de la mortalité. Bien qu'il ne soit pas agi là d'une simulation réelle des données du terrain, l'importance fondamentale de la stratégie de germination a été réaffirmée, de même que le comportement des espèces pertinentes (décrit ailleurs). On trouvera dans 1, 22 et 65 des renseignements sur le modèle de simulation de la dynamique des plantes annuelles. On trouvera dans 41 une simulation analogue de situations de terrain en chambre climatique.

61) N;r

Sanden, P.A.C.M van de, 1978. Langgolvige hemelstraling te Niamey. (Le rayonnement atmosphérique à grande longueur d'onde à Niamey). Theoretische Teeltkunde LH, Wageningen.

Il existe diverses formules empiriques pour déterminer le rayonnement atmosphérique à grande longueur d'onde. Dans ces formules, les constantes proviennent surtout d'observations britanniques, américaines et australiennes. Le but de l'étude décrite ici était de trouver une formule qui convienne au Sahel, afin de préciser le bilan énergétique des céréales et autres graminées. On s'est fondé sur des mesures faites à la radiosonde à Niamey (Niger). Il s'est avéré souhaitable d'utiliser une formule pour la saison sèche, et une autre pour la saison des pluies. Les résultats ainsi obtenus figurent dans le paragraphe relatif à la météorologie dans le rapport final (49).

61a) N;r

Sar, D. van, 1980. Overleven met een druppel: Invloed van een droogteperiode in de juveniele fase van enkele Sahel grassen en kruiden, in combinatie met variërende daglengte, op groei en ontwikkeling. (Survivre sur une seule goutte: l'effet d'une période de sécheresse combinée aux fluctuations de la longueur du jour, sur la croissance et le développement de certaines herbes et graminées du Sahel, pendant leur phase juvénile). Plantenoecologie LH/CABO, Wageningen.

La durée de la croissance végétative des espèces végétales du Sahel détermine en grande partie la période pendant laquelle les substances nutritives éventuellement disponibles sont captées. Cette durée dépend de la longueur du jour (voir 49 et 56). Le rapport décrit des expériences visant à déterminer quand, dans le développement de certaines espèces du Sahel, la floraison est suscitée par la longueur du jour. La durée de cette 'phase juvénile' dépend beaucoup de l'espèce. Dans l'éventualité d'une contrainte imposée par la sécheresse pendant cette période, le développement cesse chez toutes les espèces étudiées. Le rythme auquel le développement reprend au moment où il y a à nouveau présence d'eau dépend aussi beaucoup de l'espèce; le développement peut être soit accéléré, soit au contraire ralenti.

62) E;p

Shaykewich, C.F. & L. Stroosnijder, 1977. The concept of matrix flux potential applied to simulation of evaporation from soil. (Le concept du potentiel du flux matriciel

appliqué à la simulation de l'évaporation du sol). Netherlands Journal of agricultural Science 25:63-82.

On a comparé indépendamment des modèles d'évaporation de l'eau du sol en présence d'une matrice aquatique potentielle, d'une conductivité hydraulique, et afin avec le concept du potentiel de flux matriciel. On a démontré par l'analyse que le modèle avec flux matriciel potentiel permet une estimation plus exacte du mouvement de l'eau dans le sol, ce qui conduit à une estimation plus exacte de l'évaporation, l'un des principaux facteurs du bilan hydrique (voir 49). L'analyse mathématique a démontré que l'estimation du mouvement de l'eau phréatique, et donc de l'évaporation, donne des résultats plus élevés lorsque l'on fait appel à la méthode conductivité hydraulique/potentiel hydrique, que lorsque l'on a recours à la méthode du flux matriciel potentiel. Cette analyse a aussi fait ressortir que la différence entre les méthodes tend à être maximum dans le cas des sols à texture grossière. Enfin, l'analyse donne à penser que la méthode du flux matriciel potentiel à le même degré de précision avec une épaisseur de compartiment plus importante, et qu'en conséquence, elle exige moins d'heures d'ordination. Toutes ces conclusions ont été vérifiées par les résultats des essais de simulation. Voir aussi 41.

62a) F;r

Sidibé, M., 1978. Contribution à l'étude du phosphore dans le cadre de l'amélioration des pâturages naturels Sahéliens. Thèse de 3^{ème} cycle, Centre Pédagogique Supérieur, Bamako.

Le rapport concerne l'étude de l'effet des phosphates sur la production, sur la composition de la végétation, ainsi que sur la teneur en N et en P des pâturages du Ranch de Niono. L'étude porte à la fois sur les végétations naturelles et sur les pâturages semés de légumineuses. On compare les effets du triple superphosphate à ceux du phosphate naturel. Les résultats de cette étude sont intégrés au rapport final (49). La fonction du phosphate dans la stimulation des cultures de légumineuses est également évoquée dans 21, 30 et 43.

63) N;r

Spittel, M.C., 1977. Autoecologisch onderzoek aan Schoenefeldia gracilis, Borreria radiata en Digitaria exilis onder geconditioneerde omstandigheden. (Etude autoécologique de

Schoenefeldia gracilis, *Borreria radiata* et *Digitaria exilis* dans des conditions contrôlées). LH/CABO, Wageningen.

Le rapport décrit en partie la vaste étude écologique portant sur plus de 20 espèces de plantes du Sahel, réalisée dans la chambre climatique de Wageningen. Le but de cette étude était de caractériser les espèces, et plus particulièrement leur mode de germination et de croissance. Le rapport évoque un essai d'espacement visant à connaître le mode de croissance des trois espèces citées dans le titre. On a constaté que *Schoenefeldia gracilis* était capable de coloniser très rapidement l'espace situé au-dessus du sol; la faculté de tallage de cette espèce est frappante. Au début de la croissance *Borreria radiata* développe surtout ses racines, et améliore ainsi ses chances de survie dans l'éventualité d'une contrainte. *Digitaria exilis*, pour sa part, se distingue par le fait qu'elle se couche sur le sol et forme des racines adventives et des pousses, ainsi elle forme des mottes. L'effet de l'exploitation de *Schoenefeldia gracilis* a aussi été étudié en présence de doses d'azote optima et marginales. L'effet sur la production (croissance et recroissance) s'est avéré négatif, surtout en cas d'exploitation ponctuelle à un stade relativement tardif du développement. Le rapport donne aussi des renseignements annexes sur la distribution de la matière sèche à l'intérieur de la plante, sur le LAI (indice de la surface foliaire) et sur le coefficient de transpiration. On trouvera de plus amples renseignements de ce type dans 2, 4, 26, 39, 41, 55 et 60. 49 ne contient qu'un résumé général de ce qui précède.

64) E;p

Spitters, C.J.T., 1980. Simulating the vegetation dynamics in Sahelian pastures. Paper presented at the 'Workshop of European Population Biologists', 9 May 1980, School of plant biology, Bangor, U.K. (La simulation de la dynamique de la végétation dans les pâturages sahéliens. Communication présentée à l'Atelier des biologistes européens spécialistes des questions de peuplement', 9 mai 1980, Ecole de biologie des plantes, Bangor, Royaume-Uni). Department of Theoretical Production Ecology, Agricultural University, Wageningen.

L'auteur présente la phase initiale d'un modèle qui simule la dynamique de la végétation, et qui tient compte des phases de croissance, de la germination, de l'installation et de la croissance végétative. Il est aussi tenu compte de la compétition. Ce document est la première synthèse des travaux présentés dans 1, 22 et 60.

64a) E;p

Spitters, C.J.T. & D.M. Jansen, 1985. Competitive relations among annual plant species as affected by availability of light, water and nitrogen. (Les rapports concurrentiels entre les espèces de plantes annuelles, tels qu'influencés par la disponibilité de la lumière, de l'eau et de l'azote). *Oecologia* (en préparation).

Les auteurs présentent un concept récapitulatif permettant d'interpréter la biomasse engendrée par les espèces annuelles dans les végétations mixtes, ainsi que l'effet des conditions ambiantes sur les rapports concurrentiels. Si les espèces ne se différencient que par leur biomasse initiale, les proportions de leurs biomasses respectives resteraient constants dans le temps. Toutefois, les rapports des biomasses se modifient dans le temps, car les espèces varient par leur vitesse de croissance relative, autrement dit par l'accroissement de la matière sèche par unité de biomasse. Aux niveaux inférieurs de production, les taux de croissance relatifs sont réduits, de telle sorte que la modification des rapports des biomasses est ralentie. Néanmoins, le fait d'imposer des contraintes modifie aussi le profil de ces changements car leurs vitesses de croissance relative n'ont pas la même réaction aux conditions ambiantes. L'approche est illustrée par la production biomassique de cinq groupes d'espèces (graminées-C₄, dicotylédones-C₄, graminées-C₃, dicotylédones-C₃, légumineuses) en monocultures et en cultures mixtes et dans quatre types d'ambiance (conditions de croissance potentielle, restriction d'approvisionnement en eau, restriction de l'azote dans le sol, et restriction simultanée d'eau et d'azote). Les conditions climatologiques choisies sont celles du Sahel. Toutes les données ont été obtenues sur un modèle de simulation complet, dont on trouvera une description détaillée dans 33a.

65) E;p

Stroosnijder, L., 1977. Aspects of soil and water in the Sahel in Mali. Dans: Proceedings of 'An international symposium on rainfed agriculture in semi-arid regions', April 17-22, 1977, Riverside, USA. (Aspects du sol et de l'eau dans le Sahel malien. Dans: Actes d'un 'Symposium international sur l'agriculture avec irrigation dans les régions semi-arides', avril 17-22, Riverside, Etats-Unis). p. 166-199.

Ce rapport peut être considéré comme le prolongement de 24 et comme un précurseur des chapitres qui, dans le rapport final, portent sur le sol, le climat et le bilan hydrique. Sur la toile de fond d'une étude bibliographique, il décrit les caractéristiques chimiques et physiques des sols du Ranch de Niono. Il continue par une description de

certaines des aspects de la stratégie d'analyse des systèmes du Projet dans le domaine de l'étude du sol et de l'eau, pour aboutir à un modèle de production primaire dans le Sahel. On y présente des données sur l'évaporation et sur la transpiration, en situation simulée sur argile et sur sable, dans le cas d'une croissance sans pénurie des éléments nutritifs. (Voir peut-être aussi 24, 33, 42, 59, 66 et 68).

- 65a) F;r Stroosnijder, L., 1978. Résultats d'expériences d'évaporation du sol. Rapport intern du projet PPS. Wageningen-Bamako.

Ce rapport présente les résultats des mesures de l'évaporation après un arrosage artificiel. Les expériences ont été effectuées de juin à septembre sur du limon sableux et de l'argile. On trouve parmi les autres variables l'heure de l'arrosage (matin ou soir), et le LAI (indice de la surface foliaire) (0-3). Bien que les résultats soient intégrés au rapport final (49), les spécialistes seront intéressés par ces données de base. (Voir aussi 29a, 33, 65 et 68).

- 66) N,F;p;g Stroosnijder, L., 1981. Bodemvruchtbaarheid en drogestofproductie van Sahelweiden. (La fertilité du sol et la production de matière sèche des pâturages sahéliens). Stikstof 99:490-499.

Les sols du Sahel s'avèrent pauvres en éléments nutritifs, de telle sorte que la quantité d'azote et de phosphate à la disposition de la végétation est restreinte. Bien que la fertilité du sol dans le nord du Sahel soit à peu près la même que dans le sud, le calcul du bilan des teneurs en azote et en phosphates montre que la végétation du sud est capable de capter plus d'azote et de phosphate que la végétation septentrionale. Ceci explique en partie la différence de production de matière sèche entre le nord et le sud. Si la pénurie d'éléments nutritifs est compensée par des engrais, il est possible d'accroître la production pour la faire passer à entre 5000 et 12000 kg/ha pour la même pluviosité - soit deux à cinq fois la production actuelle. De hauts rendements d'engrais ont été observés lors d'essais d'épandage: environ 80% pour l'azote (sous forme d'urée) et environ 50% pour le phosphate (comme triple superphosphate). Il n'est pas encore possible de calculer correctement la rentabilité économique des engrais chimiques dans l'élevage, car les renseignements à cet égard restent

insuffisants. En supposant que la viande ne soit produite qu'à partir d'un fourrage de bonne qualité obtenu par épandage d'engrais, l'emploi des engrais chimiques dans l'élevage ne semble pas être rentable. Les engrais chimiques peuvent néanmoins se justifier dans le contexte de l'aide au développement. Dans le cadre du Projet, cet article fait partie des publications de caractère général. Les lecteurs qui souhaiteront négliger les détails ou les aspects scientifiques spécialisés pourront aussi se reporter aux autres publications signalées par la lettre g.

- 67) F;r Stroosnijder, L., S. Diarra & P. Buringh, 1977. Carte pédologique semi-détaillée d'un Ranch sahélien: Niono, République du Mali. PPS, Bamako - Wageningen.
- Cette carte et sa légende figurent dans le rapport final (49). Elles sont aussi utilisées dans 65.
- 68) E;p Stroosnijder, L. & W.B. Hoogmoed, 1984. Crust formation on sandy soils in the Sahel. II. Tillage and its effect on the water balance. (La formation des croûtes sur les sols sableux du Sahel. II. Le labourage et ses effets sur le bilan hydrique). Soil and Tillage Research 4:321-337.
- On décrit le bilan hydrique des champs de mil ainsi que des pâturages naturels à croûte permanente, et l'on met l'accent sur le rôle de la croûte dans la détermination de l'infiltration et du ruissellement. Le travail du sol détruit la croûte et accroît le volume d'eau stocké dans la couche supérieure du sol. La fragmentation de la croûte ne persiste que sur quelques averses, mais par contre, l'accroissement du stockage superficiel est plus persistant. On calcule l'effet d'un système de travail du sol sur le bilan hydrique d'une culture de mil. Des sillons reliés entre eux donnant un stockage en surface de 20 à 30 mm, pourraient empêcher tout ruissellement (qui est d'environ 50% dans les systèmes traditionnels). Ceci devrait autoriser des semences précoces et donc peut-être prolonger la croissance végétative de 20 jours, ce qui pourrait accroître le rendement moyen de mil (500 kg/ha) de 40%. Ce document est précédé par la référence 33. (Voir aussi 42, 54, 59 et 65).

69) F;r

Traoré, G., 1978. Evolution de la disponibilité et de la qualité de fourrage au cours de la transhumance de Diafarabé. Thèse de 3^{ème} cycle. Centre Pédagogique Supérieur, Bamako.

On a suivi un troupeau de zébus migrant pendant plus d'un an, tout en étudiant les pâturages. Les thèmes abordés sont les divers paysages que l'on a pu distinguer et leurs végétations, la biomasse végétale présente, classée par espèce et parfois par partie de plante, ainsi que sa quantité (teneurs en N, P et cellulose brute). On a ainsi pu créer un panorama détaillé de la disponibilité et de la qualité des aliments au fil des saisons et en fonction du lieu: on décrit aussi la variation de la qualité chez chacune des espèces. Les fluctuations du volume et de la qualité des aliments ne peuvent, semble-t-il, s'expliquer qu'en tenant compte, dans l'analyse, du feu et de l'exploitation. La biomasse de la couche végétale à l'endroit où se trouvait le troupeau variait entre 8500 et 100 kg ha⁻¹ de matière sèche. Dans ce dernier cas, on a constaté que, pendant quelques jours, la présence d'arbres et de buissons était d'une grande importance pour les animaux. Une biomasse particulièrement élevée est présente au bord du delta central du Niger. L'ampleur de la différence entre les biomasses observées à la fin de deux saisons des pluies consécutives est frappante. La teneur moyenne en protéines de la couche d'herbage fluctuait aux alentours de 4% pendant une grande partie de l'année. On n'a constaté des valeurs supérieures à 7% que pendant 2,5 mois. Par contre, une teneur de 13% a été atteinte au début août. Pour le phosphore, la moyenne était de l'ordre de 0,12%, quoique des teneurs 2 à 3 fois supérieures à celle-ci aient été observées en août. Il y a cependant toujours de petites fractions de biomasse de qualité plus élevée. L'étude du troupeau de zébus en question, effectuée parallèlement à la présente étude, est relatée dans 27. On trouvera une synthèse dans 17 et 49. La référence 18 décrit un film sur cet élevage. (Voir aussi peut-être 9 et 11).

70) N;r

Voskuilen, G.K.J., 1978. Invloed van hoge nitraatkonsentraties op de standruimtecurven van enkele grassen en de konsekwenties hiervan voor hun onderlinge beïnvloeding. (L'effet de hautes concentrations de nitrate sur les courbes d'espacement de certaines graminées et leurs conséquences pour l'interaction entre elles). R.U.-Utrecht/CABO, Wageningen.

Pour faciliter la compréhension des expériences de compétition faites sur trois graminées du Sahel décrites dans 55, on a procédé à un essai d'espacement avec deux des espèces en question. Diverses concentrations de nitrate ont été utilisées dans la solution d'éléments nutritifs, de façon à savoir s'il était possible d'obtenir une courbe d'espacement en S à une concentration donnée; cet essai a échoué. Toutefois, cette étude a permis de mieux caractériser les espèces, en particulier sur le plan de la vitesse de croissance et du tallage.

- 71) E,F;p;** Wit, C.T. de, 1975. Etudes au moyen de modèles sur la production réelle et la production possible des pâturages dans les régions arides. Dans: Inventaire et cartographie des pâturages tropicaux africains. Actes du colloque. Bamako-Mali, 3-8 mars 1975. C.I.P.E.A., Addis-Abeba. p. 329-331.

Des modèles et des techniques de simulation sont en cours de mise au point pour permettre l'application pratique des recherches consacrées aux sciences agronomiques, à la physiologie des plantes, à la pédologie et à l'agro-météorologie afin de résoudre les problèmes de production primaire dans les régions arides et semi-arides. Les méthodes utilisées font l'objet d'un examen critique basé sur des expériences sur des végétations naturelles et des plantes cultivées dans le nord du Néguev. Des modèles reconnus valables sont disponibles dans les domaines suivants:

- croissance des plantes cultivées et utilisation de l'eau par ces plantes, l'eau et les éléments nutritifs n'étant pas les facteurs restrictifs;
- croissance de la végétation des prairies naturelles et des céréales et utilisation de l'eau par ces plantes, les éléments nutritifs n'étant pas un facteur restrictif, mais l'eau étant un facteur restrictif;
- stockage, lessivage et évaporation des eaux de pluie dans des sols ou à la surface de sols entièrement ou partiellement couverts de végétation.

Des modèles de simulation sont en cours d'analyse critique pour les cas suivants:

- consommation d'azote et déplacement de l'azote dans des espèces de graminées annuelles;
- apport, lessivage et recyclage de l'azote sur les pâturages occupés par le bétail.

Des techniques de sondage, destinées à la détermination de la croissance des plantes cultivées et de la végétation permanente, ont été mises au point; la technique par dilution du tritium servant à la détermination de la consommation de matières sèches

par les ovins a fait l'objet d'une analyse critique minutieuse et a été améliorée; on a appliqué des méthodes de sondage permettant d'identifier les paramètres des plantes cultivées qui déterminent l'efficacité de ces plantes en matière d'utilisation de l'eau aussi bien que leur comportement compétitif vis-à-vis des autres plantes. Depuis quelque temps les méthodes d'étude des légumineuses font l'objet d'une attention considérable. Ce survol de la stratégie, qui devrait ultérieurement être utilisée dans le cadre du Projet, est le résultat du travail d'un groupe de chercheurs. On pourra se procurer auprès du CABO la bibliographie annotée de ce projet conjoint de recherche israélo-néerlandais 'Actual and potential herbage production in arid regions' (La production actuelle et potentielle d'herbage dans les régions arides), Université Agronomique et CABO, 1975, Wageningen. Les travaux sur le terrain ont pour la plus grande part été faits dans le désert du Néguev. Parallèlement au Projet PPS, cette recherche s'est prolongée jusqu'en 1981, de plus en plus d'attention étant accordée à la production animale. (Voir: 'Actual and potential production from semi-arid grasslands: Phase II: Final technical report and annotated bibliography. ('Production réelle et potentielle des pâturages semi-arides: Phase II: Rapport technique final et bibliographie annotée), H. van Keulen et al., A.R.O., Bet Dagan, Université Hébraïque, Jérusalem et CABO, Wageningen. Les lecteurs plus spécialement intéressés par cette approche pourront se reporter à 49 et 52.

- 72) N,F;r;g Wit, C.T. de, F.W.T. Penning de Vries, Th.A. de Boer, P. Buringh & K. Soels, 1975. Rapport de la mission envoyée au Mali en juillet 1975 et proposition élaborée, accompagnée d'un budget, pour la réalisation d'un projet de recherche sur la production végétale dans le Sahel. Wageningen.

La proposition présentée dans ce rapport constitue la base du Projet. Du côté malien, les participants aux travaux préparatoires sont Dr. N'Golo Traoré, Directeur de l'Institut d'Economie Rurale, Dr. F. Traoré, Directeur du Centre National de Recherches Zootechniques, M. M. Coulibaly et M. A. Sow ses collaborateurs, et Dr. Ch. Maiga, Directeur de la Station du Sahel. Les objectifs généraux de la recherche sont définis dans un plan de travail établi sur la base des connaissances et expériences disponibles et visant en particulier l'élaboration de modèles pour le calcul de la production primaire en fonction du temps, de la nature du sol et des mesures d'amélioration des végétaux et des rendements. Les thèmes complémentaires de recherche concernent:

- la préservation des pâturages naturels;
- l'augmentation de la production des pâturages naturels au moyen de légumineuses et de phosphates naturels;
- la consommation d'eau et d'éléments nutritifs par les espèces ligneuses;
- le déplacement de l'eau à la surface du sol;
- la cartographie des sols et de la végétation.

Le projet a en outre pour objectifs de:

- former des collaborateurs maliens;
- contribuer à la formation d'étudiants de licence au Centre Pédagogique Supérieur de Bamako;
- développer le laboratoire agrostologique à Sotuba.

73) F;r;g

Wormer, T.M., S. Sissoko, T. Diarra, C. de Haan, J.W. Minderhoud, K. Sanogo, F. Traoré & C. van Vugt, 1978. Rapport, avec annexes, de la mission d'évaluation intérimaire du projet Production Primaire au Sahel, Bamako/Amsterdam/Wageningen.

Ce rapport expose les résultats d'un travail d'évaluation du Projet, effectué un peu plus de deux ans après le démarrage de celui-ci. Les thèses et recommandations du colloque de Bamako (pages 9-12) peuvent être considérées comme une évaluation définitive.

Table des matières du rapport final du projet (49)

(les numéros après les titres des chapitres et paragraphes renvoient aux publications et rapports de cette bibliographie, pages 49-96; les astérisques indiquent pour quels sujets la recherche est encore poursuivie par des anciens membres de l'équipe.)

1 L'élevage et l'exploitation des pâturages au Sahel

1.1 LES PROBLEMES ACTUELS DE L'ELEVAGE SAHELIEEN

F.W.T. Penning de Vries & M.A. Djitéye

L'élevage au Sahel 11, 17, 18, 20, 27, 32, 37

Développement récent de l'élevage 37

Problèmes actuels de l'élevage au Sahel* 5, 7, 9, 11, 17, 20, 27, 34, 37

L'agriculture, un concurrent? 10, 12, 20, 34, 37

1.2 LA PRODUCTION DES PATURAGES 5, 16, 17, 18, 20, 27a, 51, 69

H. Breman

1.3 LES BUTS DE LA RECHERCHE

2 De la méthode de recherche

2.1 INTRODUCTION 7, 36, 37, 53, 56, 59, 60

2.2 L'ANALYSE DES SYSTEMES DE PRODUCTION PRIMAIRE* 47, 52, 53, 65, 71, 72

C.T. de Wit & F.W.T. Penning de Vries

2.3 LA SYNTHÈSE ET LA SIMULATION DES SYSTEMES DE PRODUCTION PRIMAIRE* 1, 4, 21, 22, 26, 29a, 33a, 42, 47, 50, 51, 52, 64a, 65, 71

C.T. de Wit & F.W.T. Penning de Vries

2.5 LES RELEVÉS BOTANIQUES 13, 15, 16, 27a, 69

H. Breman & C.J.T. Spitters

3 Le milieu sahélien et les terrains expérimentaux 32, 37

3.1 INTRODUCTION

3.2 LA MÉTÉOROLOGIE DU SAHEL ET DU TERREIN D'ÉTUDE 27a, 29a, 32a, 33, 54, 61

- L. Stroosnijder et H.D.J. van Heemst
- 3.3 LA PEDOLOGIE DU SAHEL ET DU TERREIN D'ETUDE* 13, 24, 32a, 33, 35, 45, 59, 65, 66,
67, 68
- L. Stroosnijder
- 3.4 LA PHYTOECOLOGIE DU SAHEL ET DU TERRAIN D'ETUDE 8, 13, 15, 16, 18, 19, 20, 27a,
28, 40, 57, 69
- A.M. Cissé & H. Breman

4 La production potentielle des pâturages sahéliens

- 4.1 INTRODUCTION
- 4.2 LE POTENTIEL PHYSIOLOGIQUE DES PATURAGES ET DES CULTURES AGRICOLES
F.W.T. Penning de Vries
Processus physiologiques 4
Un modèle à simuler et son évaluation 26
- 4.3 LE POTENTIEL BOTANIQUE DES PATURAGES
H. Breman, A.M. Cissé, M.A. Djitèye & W.Th. Elberse
Composition floristique 13, 15, 16, 19, 28, 41, 57, 60
Le démarrage de la croissance 1, 2, 3, 16, 22, 26, 28, 29a, 39, 41,
55, 57, 60, 61a, 63, 64
Croissance végétative 4, 16, 22, 26, 28, 30, 31, 33a, 39, 55,
64a
La croissance générative 16, 31
La période de repos
Bilan annuel et pluri-annuel 13, 15, 16, 19, 21, 28, 30, 33a, 41, 55,
57, 60, 63, 64, 64a, 70
- 4.4 LE BILAN D'EAU DU SOL 52
L. Stroosnijder & D. Koné
Les processus 32a, 33, 42, 59, 62, 65, 65a, 68
Le bilan d'eau du sol 14, 42, 59, 65, 68
Estimation de l'eau disponible 13, 29a, 33b, 65
- 4.5 LA PRODUCTION POTENTIELLE DES PATURAGES NATURELS 50, 51, 66
F.W.T. Penning de Vries
La phase exponentielle 4
La phase linéaire de la croissance 4

	La phase de maturation	
	Les systèmes racinaires	3
	Evaluation et utilisation du modèle à simuler	
4.6	UN MODELE SIMPLE DE LA PRODUCTION POTENTIELLE	26, 50
	L. Stroosnijder & N. de Ridder	
5	<u>Les processus déterminant la production actuelle des pâturages sahéliens</u>	
5.1	INTRODUCTION	
5.2	LA PRODUCTION ACTUELLE ET L'ACTION DE L'AZOTE ET DU PHOSPHORE*	34, 51, 52, 66
	F.W.T. Penning de Vries & H. van Keulen	
	Les taux de N et de P pendant la croissance végétative	28, 51
	L'absorption de N et de P et la production actuelle	28, 29, 31, 51, 62a
	Interactions de l'absorption de N et de P	51, 62a
	Pertes de biomasse et de N des végétations mortes	28
	Utilisation d'eau des pâturages naturels	
5.3	LES PROCESSUS DU BILAN D'AZOTE	19
	J.M. Krul, F.W.T. Penning de Vries & K. Traoré	
	Transformations dans le sol	
	L'apport de N	21, 29, 30, 31, 43, 66
	Les pertes de N	66
5.4	LE PHOSPHORE DANS LE SOL ET SON ACCESSIBILITE AUX PLANTES	30
	J.M. Krul, F.W.T. Penning de Vries, L. Stroosnijder & F. van der Pol	
	Quantification des formes de P et leurs transformations	
	Considérations de la situation d'équilibre du bilan de P	
	La capacité du sol de fournir du P aux racines	
	Absorption par les plantes et les micro-organismes du sol	
	Fertilisation	30, 62a
5.5	UN MODELE SIMPLE DE LA PRODUCTION ACTUELLE	
	L. Stroosnijder & F. van der Pol	
5.6	LA PRODUCTION ACTUELLE DANS UNE SITUATION D'EQUILIBRE	10, 23, 29
	C.T. de Wit & J.M. Krul	

6 La production actuelle des pâturages naturels en relation avec des facteurs naturels et des facteurs anthropiques

- 6.1 LA PRODUCTIVITE DES HERBES PERENNES ET DES ARBRES*
H. Breman
Graminées pérennes 15, 19, 25, 69
Les espèces ligneuses 15, 19, 44, 56, 69
- 6.2 LES LEGUMINEUSES 21, 29, 30, 31
J.M. Krul & H. Breman
Importance
La fixation d'azote
Terrains à *Zornia glochidiata* 28
- 6.3 LA PLUVIOSITE ET LA PRODUCTION DE FOURRAGE SUR LES PATURAGES NATURELS
H. Breman & J.M. Krul
La production actuelle théorique 13, 29
La production annuelle de biomasse au trajet nord-sud 5, 17, 20, 27a, 69
La production annuelle de biomasse par rapport aux variations pluvieuses locales*
27a, 29, 39, 57
La pluviosité et la composition floristique 1, 2, 8, 15, 16, 19, 27a, 28, 40, 41,
57, 60, 64
La pluviosité et la qualité de fourrage* 16, 17, 20
- 6.4 LA RELATION ENTRE LE SUBSTRAT ET LA VEGETATION
H. Breman & L. Stroosnijder
Propriétés des substrats 13, 32a, 33, 42, 65, 66, 68
Propriétés des plantes (voir aussi 4.3) 13, 16
Le substrat et la végétation 8, 13, 15, 16, 40, 69
Le dynamisme de la végétation 1, 2, 13, 15, 16, 19, 22, 28, 41, 60
Le substrat et la productivité
- 6.5 L'INFLUENCE DU FEU 16, 17, 34, 59, 69
J.M. Krul & H. Breman
Fréquence des feux
Les savanes
Le Sahel
L'effet des feux sur la fertilité du sol
- 6.6 EXPLOITATION, DEGRADATION ET DESERTIFICATION

H. Breman, I.B. Cissé & M.A. Djitèye	
La composition floristique et le potentiel fourragère	13, 16, 16a, 19, 27a, 36, 38, 40, 57, 69
La disponibilité fourragère	5, 15, 16, 17, 20, 27a, 69
Influence de l'exploitation	15, 16, 23, 25, 28, 34, 55, 63
Capacité de charge*	5, 13, 15, 16, 19, 23, 27a, 69
Dégradation	15, 23, 40
Ce qu'on appelle désertification	5
7 <u>La reconnaissance des possibilités d'une zone*</u>	13, 16, 19, 29, 34, 35, 38, 40
L. Stroosnijder & H. Breman	
7.1 INTRODUCTION	
7.2 L'EVALUATION GLOBALE D'UNE ZONE ETENDUE	
7.3 L'EVALUATION DETAILLEE D'UNE ZONE ETENDUE	
7.4 L'EVALUATION D'UNE ZONE LIMITEE	
7.5 L'EVALUATION D'UNE ZONE LIMITEE AU COURS DE PLUSIEURS ANNEES	
8 <u>Des options techniques pour améliorer la production primaire des pâturages</u>	
8.1 LES SYSTEMES D'ELEVAGE AU SAHEL	8, 11, 17, 18, 20, 27, 34, 37, 38, 69
H. Breman, A. Diallo & G. Traoré	
Les systèmes d'élevage, leurs pâturages et leur utilisation	5, 8, 9, 11, 17, 18, 27, 32, 69
L'abreuvement	32
Le fourrage	16, 17, 27, 69
Possibilités et moments d'intervention	9, 10, 12, 17, 20, 34, 66
8.2 APPRECIATION DES OPTIONS TECHNIQUES	12, 34, 53, 71
8.3 L'INSTALLATION DES POINTS D'ABREUVEMENT	34
L. Stroosnijder	
Besoins des animaux, production de la biomasse	
Puits et forages	
Utilisation de l'eau de pluie	
8.4 LA FERTILISATION ET L'IRRIGATION	12, 34, 66
F.W.T. Penning de Vries	

	Cultures sans fertilisation, sans irrigation	
	Cultures avec fertilisation	
	Cultures avec irrigation	
	Cultures avec irrigation et fertilisation	
8.5	LA STIMULATION DE LEGUMINEUSES	12, 43
	H. Breman & J.M. Krul	
	Généralités	
	Stimulation des légumineuses spontanées	21, 30, 31, 62a
	Le profit pour le bétail et l'environnement	
8.6	LA REGENERATION DES TERRAINS DEGRADES	34
	I.B. Cissé	
	Mise en défens simple	
	Epandage de bois mort	
	Grattage superficiel	
	Le labour manuel	
	Les poquets	
	Le labour mécanique du sol	32a, 33, 68
9	<u>L'aménagement des pâturages</u>	
	H. Breman	
9.1	INTRODUCTION	
9.2	COMMENT JUGER DES INTERVENTIONS	34
	Critères de jugement	
	Limites théoriques de l'aménagement	
9.3	L'AMENAGEMENT DES PATURAGES	9, 32, 34
	Diminution de l'intensité d'exploitation	9
	Mode et calendrier d'exploitation	
	Interdiction des feux	12, 17
	Augmentation de la superficie exploitée	
	Aspect animal	23, 36
9.4	L'AMELIORATION DES PATURAGES	34
	La régénération des terrains dégradés	
	La réconstitution des peuplements de graminées pérennes	25
	La réconstitution du recouvrement ligneux	34, 44

	Introduction des légumineuses	21, 30, 43
9.5	DES INNOVATIONS	34
9.6	LES OPTIONS TECHNIQUES ET L'ELEVAGE TRADITIONNEL	7, 11, 12, 27, 32
	'Vouloir contenter l'Acacia et le chèvre'	10
	Stratification et intégration	8, 9, 37
	Subsistance des pastoralistes	37

Index du rapport final du projet (49)

(les numéros renvoient aux publications et rapports de cette bibliographie, pages 49-96; deux publications, à savoir les numéros 48 et 58, constituent une si grande partie du rapport final que cet index peut également être considéré comme le leur)

Abreuvement, points d'	23, 32, 34
<i>Acacia raddiana</i>	8, 40, 44, 69
<i>Senegal</i>	27a, 40, 44, 69
<i>Seyal</i>	8, 15, 16a, 27a, 40, 44, 69
Agriculture	10, 12, 18, 20, 32a, 33, 34, 37, 47, 53, 68
Albédo	29a
Algues (voir aussi 'Croûte du sol')	33, 59
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	16, 16a, 21, 27a, 30, 40, 51, 56, 61a, 69
Aménagement de pâturages: voir	'Développement rural'
<i>Andropogon Gayanus</i>	2, 15, 16a, 25, 26, 27a, 39, 40, 56, 69
<i>pseudapricus</i>	2, 16a, 27a, 40, 57, 69
Annuelles	25
graminées	16, 16a, 19, 40
autres herbes	16, 16a, 19, 40
(voir aussi les noms spécifiques)	
Appétibilité: voir	'Sélectivité'
Arbres	8, 15, 16a, 19, 23, 34, 40, 44, 69
<i>Aristida mutabilis</i>	2, 4, 15, 16, 16a, 27a, 40, 55, 69, 70
Azote	
bilan	10, 13, 23, 29, 34, 51, 66
dans le sol	13, 16, 19, 21, 25, 30, 45, 51, 52, 53, 55, 65, 66
dans les plantes (total)	28, 29, 51, 62, 71
dans les plantes (taux)	4, 16, 16a, 17, 19, 25, 26, 28, 30, 38, 51, 62, 66, 69
organique	
inorganique	
fixation	21, 30, 31, 43, 66
rapport C/N	65

rapport P/N	51
situation équilibre	
volatilisation	
<i>Blepharis linariifolia</i>	3, 15, 16, 16a, 27a, 40, 56, 57, 61a
Bois	34, 44
<i>Bombax costatum</i>	15, 27a, 40, 44
<i>Borreria</i> spp.	2, 3, 8, 15, 16, 16a, 27a, 39, 40, 51, 56, 57, 60, 61a, 62a, 63, 69
<i>Boscia senegalensis</i>	8, 16a, 40, 44, 69
Brousse tigrée	40
Capacité de charge	5, 9, 13, 15, 16, 19, 23, 25, 27a, 29, 32, 34, 35, 38, 69
Carbone	
dans le sol	65
rapport C/N: voir 'Azote'	
Cartes (pédologiques)	8, 13, (24), 29a, 35, 40, (65), 69
<i>Cassia mimosoides</i>	2, 15, 27a, 40, 51, 56
<i>Tora</i>	2, 4, 31, 39, 40, 51, 56, 61a
<i>Cenchrus biflorus</i>	1, 2, 3, 4, 8, 16, 16a, 21, 22, 26, 27a, 30, 40, 41, 51, 55, 56, 61a, 64, 69
<i>Chloris Prieurii</i>	8, 15, 16a, 40, 69
Climat	15, 16, 27a, 29a, 32a, 34, 53, 54, 61
Colmatage	32a, 33, 59
<i>Combretum glutinosum</i>	8, 16a, 27a, 40, 44, 68, 69
Compétition	2, 5, 16, 21, 22, 28, 30, 33a, 41, 43, 55, 57, 60, 62a, 63, 64a, 70
Composition floristique	
observations	8, 15, 16, 27a, 28, 40, 57, 62a, 69
dynamisme	1, 13, 15, 16, 19, 25, 27a, 28, 33a, 41, 57, 60, 62a, 64, 64a
Croissance	21, 26, 28, 39, 55, 57, 61a, 64, 65, 63, 66
exponentielle	4
linéaire	
pendant maturation	
végétative	33a, 56, 64a

Croûte du sol	13, 19, 32a, 33, 34, 59, 60, 68
Cure salée	
<i>Cymbopogon schoenanthus</i>	16a, 40
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	2, 16, 16a, 27a, 28, 40, 51, 56, 61a, 69
Dégradation	5, 12, 13, 23, 28, 32a, 34, 40
Delta (Mali central): voir 'Mali, zones du pays'	
Désertification	5, 8, 12, 34
Développement des plantes	2, 4, 26, 28, 39, 56, 57, 60, 61a, 63
Développement rural (options)	7, 8, 9, 10, 11, 12, 18, 20, 23, 32, 34, 37, 53, 66, 71
Dicotylédones	16, 33a, 64a
Digestibilité (en vivo, en vitro)	5, 16a, 19, 23, 27, 36, 38, 44
<i>Digitaria exilis</i>	2, 56, 63
<i>Diheteropogon hagerupii</i>	2, 3, 8, 15, 16, 16a, 27a, 39, 40, 51, 56, 57, 61a, 62a, 69
Eau	
bilan	13, 32a, 33, 33b, 42, 52, 59, 62, 65, 65a, 68
dans le sol	29a, 42, 53, 62, 65, 71
<i>Echinochloa colona</i>	16a, 27a, 40, 41, 51, 69
<i>stagnina</i> ('bourgou')	16a, 27, 69
Economie, aspects de l'	9, 10, 11, 12, 34, 66
Ecoulement (apport)	13
Eléments nutritifs	
Elevage	
nomade	5, 8, 9, 11, 32, 34, 37
sédentaire	5, 9, 10, 11, 20, 32, 34, 37, 38
transhumant	5, 8, 9, 11, 17, 18, 27, 32, 34, 37, 69
extensif	
intensif (embouche)	
innovations	7, 9, 11, 12, 34, 37, 44
ranching	
stratification	9
<i>Elionurus elegans</i>	2, 15, 16, 27a, 28, 40, 57, 69
Entretien	
des plantes	
des animaux	5, 9, 11, 17, 23, 38

Epuisement du sol: voir 'Exploitation, effet sur sol'	
Equilibre	
bilan azote: voir 'Azote'	
bilan phosphore: voir 'Phosphore'	
quasi	
<i>Eragrostis tremula</i>	2, 4, 8, 16, 16a, 22, 26, 27a, 39, 40, 41, 64, 69
Erosion	13, 23, 34, 59
Evaporation	29a, 33b, 42, 65, 65a
Evapotranspiration	33b, 65, 68
Exploitation	
effet sur végétation	15, 16, 23, 25, 28, 34, 40, 44, 55, 63, 69
effet sur sol	10, 23, 28, 34
gestion	9, 11, 12, 27, 32, 34
intensité	9, 37
surexploitation	5, 13, 40
Fertilisation	
azote	31, 53, 55, 63, 66, 70
fumure (déchetts)	10, 28, 53
phosphore	12, 21, 30, 43, 51, 53, 62a, 66
phosphate naturel	62
autre	12, 34, 65, 71
Fertilité du sol (voir aussi 'Azote' et 'Phosphore')	10, 11, 12, 19, 20, 34, 45, 47, 51, 53, 62, 65, 66
Feu	16, 17, 18, 34, 44
Foin: voir 'Nourriture'	
Fourrage: voir 'Nourriture'	
Géomorphologie	8, 13, 24, 35
Germination	
vitesse	1, 2, 16, 22, 26, 28, 29a, 39, 41, 42, 55, 57, 60, 64
stratégie (y compris installation)	2, 16, 19, 22, 28, 39, 41, 56, 57, 60, 63, 64
Graminées (voir aussi les noms spécifiques)	16, 16a, 19
<i>Indigofera astragalina</i>	2, 40, 56
Infiltration	13, 32a, 33, 33b, 42, 59, 65, 65a, 68
Inondation	5, 17, 18, 27, 41, 69

Installation: voir 'Germination stratégie'	
Insectes (voir aussi 'Termites')	
Irrigation	12, 34, 53
Labour du sol	32a, 33, 34, 68
Légumineuses	12, 16, 21, 28, 29, 30, 31, 33a, 43, 62, 64a
Ligneux: voir 'Arbres'	
Longueur de cycle	16, 28, 31, 56, 57, 61a, 68
<i>Loudetia togoensis</i>	2, 3, 4, 15, 16, 16a, 27a, 40, 56, 57, 62a, 69
Mali, zones du pays	
Delta (Mali central)	16a, 17, 18, 27, 32, 37, 69
Gourma	37
Karta	
Méthode de recherche	7, 37, 50, 52, 71
Microbes (voir aussi 'Algues')	
<i>Microchloa indica</i>	
Modèle à simuler	1, 4, 21, 22, 23, 26, 29a, 33a, 42, 47, 50, 51, 52, 53, 56, 59, 60, 64, 64a, 65, 71
Nourriture animaux (voir aussi: 'Sélectivité')	
foin, ensilage	
disponibilité	5, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 25, 27, 27a, 28, 34, 69
qualité, valeur fourragère	9, 11, 13, 16, 16a, 17, 18, 19, 20, 23, 25, 27, 28, 34, 36, 38, 44, 62a, 69
<i>Panicum laetum</i>	2, 16a, 39, 40, 41, 56, 61a, 69
Pâturage aérien: voir 'Arbres'	
<i>Pennisetum pedicellatum</i>	2, 4, 15, 16, 16a, 26, 27a, 39, 40, 56, 61a, 69
Pérennes	
graminées	15, 16, 16a, 19, 25, 27, 40, 69
repousses	16, 16a, 18, 25, 27, 69
Pertes	
azote	10, 66
biomasse	
Phosphore	
bilan	34

dans le sol	30, 45, 51, 53, 62a, 65, 66
dans les plantes	16a, 28, 30, 43, 62a, 66, 69
équilibre	
inorganique	
organique	
rapport P/N: voir 'Azote, rapport P/N'	
Photopériodisme (voir aussi 'Longueur de cycle')	56, 61a
Photosynthèse	
d'une végétation	
espèces C ₃ et C ₄	4, 16, 19, 26, 31, 33a, 64a
Pluvisité	
annuelle	5, 27a, 54
intensité	29a, 32a, 33, 42
répartition	1, 29a, 41, 54
taux d'azote	
variabilité	1, 5, 15, 16, 17, 27a, 29, 33, 34, 37, 54
<i>Polycarpha corymbosa</i>	15, 16a, 27a, 40, 69
Productivité	
animale	9, 11, 12, 13, 17, 18, 20, 23, 27, 32, 34, 37, 38
végétale (potentielle)	(4), 5, 10, 15, 16, 17, 19, 20, 25, (26), 28, 33a, 34, (50), (51), (53), (55), 62a, (63), 64a, (65), (66), 69
<i>Pterocarpus lucens</i>	15, 16a, 17, 40, 44, 69
Racines	2, 3, 44
Radiation	29a, 33b, 42, 54, 61
Ranch Niono	15, 24, 25, 28, 42, 51, 54, 57, 62a, 65, 67
Régénération	34
Ruissellement	13, 16, 32a, 33, 33b, 35, 59, 65, 68
Sahel	4, 5, 8, 9, 10, 11, 17, 18, 19, 20, 23, 27, 34, 69
Saison sèche	5, 9, 11, 17, 18, 27, 37, 69
Savane	5, 9, 11, 18, 19, 20, 33b, 34
<i>Schoenefeldia gracilis</i>	3, 8, 15, 16, 16a, 22, 26, 27a, 28, 40, 41, 55, 56, 57, 60, 61a, 62a, 63, 64, 69, 70
Sécheresse	
année(s)	5, 9, 10, 11, 15, 16, 19, 22, 34, 39

au début de la croissance	22, 26, 39, 43, 53, 57, 60, 61a
Sélectivité	13, 17, 23, 27, 32, 36, 38
Semence	16, 28, 31, 39
bilan	
pertes	60
production	
Simulation: voir 'Modèle à simuler'	
Sols	34, 35
argile	24, 35, 42, 65, 65a
limon	24, 35, 65
sable	24, 35, 42, 59, 65
caractères chimiques (voir aussi 'Azote' et 'Phosphore')	33, 45, 65, 65a
caractères physiques	32a, 33, 42, 59, 65
micro-organismes: voir 'Microbes'	
relief	13, 19, 35, 68
texture	13, 19, 35
classification	24, 35, 65, 67
substrat pour végétation	5, 8, 13, 15, 16, 19, 35, 40, 57, 69
Statistique, aspects de la	
Stomates	
<i>Stylosanthes gracilis</i>	56
<i>humilis</i>	56
Surpâturage: voir 'Exploitation'	
Tannine	44
Termites	
Trajet nord-sud	(5), 8, 11, 17, 18, 19, 27, 27a, 35, 40, 69
Transpiration	3, 4, 26, 31, 39, 55, 63
<i>Tribulus terrestris</i>	16, 16a, 27a, 28, 40, 69
Valeur fourragère: voir 'Nourriture, qualité'	
Végétation: voir 'Composition floristique'	
zones de	
<i>Zornia glochidiata</i>	2, 4, 8, 15, 16, 16a, 27a, 28, 39, 40, 51, 56, 57, 60, 61a, 62a, 69

Résumé des études auto-écologiques

Deux tableaux synoptiques indiquent quelles caractéristiques de quelles espèces végétales sahéliennes ont été étudiées dans le cadre du projet PPS. Souvent les sujets couvrent plusieurs aspects, mentionnés ci-dessous. Il faut réaliser cependant, qu'il n'était pas possible d'étudier tous les aspects pour toutes les espèces.

Espèces graminéennes (tableau I, page 114)

- Germination - vitesse, stratégie, conditions optima
- Installation - ratio pousse/racine, résistance à la sécheresse
- Vitesse de croissance - vitesse de croissance relative dans des conditions optima
- Photosynthèse - C_3 ou C_4 , coefficient de transpiration
- Xylème de la racine - voir 3 (page 49)
- Racine/tige/feuille/épi - rapport entre des diverses parties de la plante
- LAI - indice de la surface foliaire par rapport au poids de la feuille ou de la plante
- Sensibilité à la longueur du jour - temps d'induction, floraison, effet de la sécheresse, durée de la phase de croissance végétative, croissance après la floraison
- Capacité de compétition - sur la base des essais d'espacement en tenant compte de la culture mixte
- Emploi des engrais - N et P
- Qualité - teneurs en N, P, cellulose brute et cendre, digestibilité in-vitro
- Production des semences - par rapport à la taille de la plante, à la biomasse et à la teneur en N
- Caractère des semences - forme, poids, dureté, dormance

Espèces ligneuses (tableau II, page 115)

- Système racinaire - forme et profondeur
- Biomasse - relations entre le diamètre de la tige et la biomasse du bois de la tige, des branches et des feuilles
- Qualité - teneurs en N, P, cellulose brute et cendre, digestibilité in-vitro (le tout par rapport aux feuilles).

