

TABLE DES MATIERES

Introduction	3
Approche du projet PPS H. Breman	5
Cartographie des pâturages sahéliens L. Stroosnijder	7
Ruissellement en rapport avec des propriétés du sol, la grandeur des pluies et la localisation géographique H. Snijders	18
Végétation: composante du paysage H. Breman	30
Estimation of the carrying capacity; P.P.S. approach M. Soeters	36
Generalization of vegetation surveys any given year H. Breman & A. v. Engelen	43
Méthode d'évaluation du potentiel fourrager des parcours sahéliens proposés par les chercheurs du C.I.P.E.A. P. Hiernaux	49
Discussion H. Breman	54
Signification de la capacité de charge théorique pour la pratique de l'élevage H. Breman	58
Annexe Liste des participants	73

LA CAPACITE DE CHARGE DES PATURAGES SAHELIENS POUR LES SYSTEMES D'ELEVAGE
DE LA REGION.

Compte-rendu de la table ronde

(Une consultation préparatoire pour l'édition d'un Manuel pour l'évaluation et la cartographie des pâturages sahéliens. 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).

CABO, Wageningen, le 26 et 27 janvier 1982

Rédaction: H. Breman
CABO, Wageningen
septembre, 1982

INTRODUCTION

1. C o m p t e - r e n d u

Ce document est le compte-rendu d'une table ronde, visée comme discussion entre des écologistes de 2 projets de recherche au Mali, celui du Centre International Pour l'Elevage en Afrique (C.I.P.E.A.) et le projet de la Production Primaire au Sahel (P.P.S.). Le but était une confrontation des idées, développées depuis le démarrage des 2 projets en 1976 à partir de leur base commune - la Station du Sahel à Niono -, concernant l'évaluation des pâturages.

Des autres ont fait savoir d'aimer assister à la séance (voir annexe) et leur présence a bien pu enrichir les discussions. Ce compte-rendu est au premier lieu un moyen mnémotechnique pour les participants, mais sera utilisé aussi pour informer des tiers. Les approches présentées seront publiées dans l'avenir sous forme d'un manuel (voir 2). Pour cela on n'a pas voulu consacrer trop de temps et des moyens pour une présentation correcte en ce qui concerne l'usage de l'anglais et du français. Le rédacteur vous prie de l'excuser pour les erreurs, les fautes, les barbarismes...

2. C a d r e

Le projet du CIPEA au Mali est un effort de mieux comprendre les systèmes d'élevage des zones arides en Afrique pour une meilleure assistance à leur développement (CIPEA, sous presse).

Le CABO, un des partenaires du projet P.P.S., recherche entre autres la productivité aux régions semi-arides, s'occupant des cultures aussi-bien que de l'élevage. Dans ce cadre 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.

Dans plusieurs publications PPS on donne beaucoup d'information sur la manière dont on pourrait déterminer avec beaucoup plus de précision que jusqu'ici la valeur d'usage des pâturages naturels au Sahel (voir le rapport final: Penning de Vries et Djitèye, 1982). Le dynamisme des pâturages y pourrait être escompté. Une pareille évaluation ne devrait pas prendre plus de temps que celle selon les méthodes actuelles tandis que l'on n'aurait pas non plus besoin de plus d'hommes.

Le projet PPS était forcément d'un tel caractère fondamental que la connaissance acquise ne pouvait pas être publiée directement sous forme d'un manuel. Ceci n'aurait été loin d'être sage sans avoir testé les idées, ici quant à l'évaluation dynamique du terrain, quelque part au Sahel en dehors de la zone des recherches PPS. Mais aussi la critique des écologistes du CIPEA, qui connaissent la zone d'étude du projet PPS comme ils connaissent leur propre maison, est un élément précieux pour arriver à une rédaction valable du manuel. Egalement des critiques d'autres, qui liront ce compte-rendu et qui sont invités de réagir, seront très appréciées.

Ce n'est qu'à cette manière qu'il nous sera possible au CABO d'élaborer le chapitre 7 du rapport final du P.P.S.: "La reconnaissance des possibilités d'une zone" (Penning de Vries et Djitèye, 1982).

3. P l a n

Après une présentation générale de l'approche du projet P.P.S. ses éléments principaux seront traités: la cartographie (Stroosnijder), le ruissellement (Snijders), la végétation (Breman), la capacité de charge (Soeters) et la généralisation des relevés d'une année quelconque (Breman et Van Engelen). Dans certains cas ce compte-rendu n'est pas une présentation conforme aux conférences de la table ronde. Certaines idées ont été déjà élaborées et modifiées grâce aux discussions concernantes, pour accélérer les préparations du manuel.

Ensuite est présentée la méthode d'évaluation du potentiel fourrager des parcours sahéliens proposés par les chercheurs du CIPEA (Hiernaux). Les grandes lignes des discussions seront indiquées. La dernière présentation essaie d'y en profiter profiter maximale: c'est une version bien modifiée de la conférence sur la signification de la capacité de charge théorique pour la pratique de l'élevage (Breman). L'annexe donne à la fin la liste des participants.

R é f é r e n c e s

- CIPEA, ILCA systems study 5: Systems Research in the Arid Zones of Mali, Initial Results, ILCA-Addis Abeba, sous presse.
- Penning de Vries, F.W.T. et M.A. Djitèye. La productivité des pâturages sahéliens, une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle, PUDOC, Wageningen, 1982.

APPROCHE DU PROJET PPS

H. Breman

1. C a r a c t è r e

La méthode de recherche du projet PPS a été décrite en détail dans son rapport final (Penning de Vries et Djitéye, 1982, chap. 2). Pour faire comprendre ce qui suit il suffit de signaler ici que l'attention a été particulièrement dirigée vers la compréhension des processus de base de la production annuelle des pâturages. Ceci menée par la conviction que les variations spaciales et annuelles du couvert végétal au Sahel sont trop grandes pour pouvoir bien utilisées les observations d'un endroit ou d'une année quelconque. Et les pays sahéliens ont ni l'argent ni le temps d'attendre les résultats des études descriptives de longues durées sur des superficies étendues.

2. M o t i v a t i o n

Des actions pour améliorer la vie des populations pastorales sahéliennes sont accueillies bien sélectivement par les concernés: par exemple, des puits et des forages sont bien appréciés, des soins vétérinaires, sont acceptés, quoique avec hésitation, mais l'intérêt s'obscurcit quand il s'agit des mesures de gestion des pâturages. Dans ce dernier cas il y a même des exemples nombreuses de mauvaise volonté, de sabotage.

Il est trop facile de conclure dans ce cas que les pastoralistes sont conservateurs, ou qu'ils oublient l'importance d'une exploitation rationnelle pour leur avenir. Il faut considérer la possibilité que ni nos méthodes d'évaluation des pâturages et leur exploitation, ni nos propositions de gestion sont adéquates.

Deux erreurs de base sont signalées coup sur coup dans les propositions dans le cadre des programmes du développement rural:

- La gestion proposée est transplantée d'ailleurs (presque) sans aucune adaptation. On ne se réalise pas ou à peine que les pâturages sahéliens sont dominés pas des annuelles, tandis que les méthodes de gestion ont été développées ailleurs pour des pâturages à pérennes. Dans des autres cas on signale la dominance des annuelles, mais on suppose qu'une mauvaise gestion dans le passé et la sécheresse, ont fait remplacé une végétation climax de pérennes par les "mauvaises espèces" d'aujourd'hui. Il y a cependant plusieurs arguments forts pour décrire la végétation sahélienne avec une dynamique continue et une place centrale pour des graminées annuelles, au lieu de s'imaginer un tel climax à pérennes (rapport final 4.3.7, 6.1, 6.3, 6.4 etc.). Quoiqu'il soit, on propose une gestion liée aux caractères des pérennes:
 - a. stabilité relative
 - b. formation de réserves au cours de la croissance condition prépondérante
 - c. productivité liée aux nombres de plantes et à l'importance de leur réserves
 - d. qualité pour une partie non-négligeable déterminée par les espèces, par le mode et la durée de leur croissance.

- La deuxième erreur est qu'on ne voit que dégradation de pâturages aux alentours de villages et de puits, mais qu'on oublie le transport indispensable d'éléments nutritifs de pâturages vers les champs par les troupeaux. La relation élevage-agriculture est déjà beaucoup plus forte que l'on pense.

Plus difficile que de signaler des défauts est la formulation d'alternatives. Mais il faut d'abord adapter la méthode d'évaluation des pâturages, pour améliorer la compréhension de cet écosystème. Les éléments à élaborer apparaissent, vu le précédent, la dynamique de la végétation et une description de sa qualité indépendamment de sa composition floristique (autant que possible).

3. A p p r o c h e

Le rapport final du projet PPS montre que ce ne sont pas la composition floristique et la pluviosité qui déterminent la production et la qualité de fourrage. La fertilité du sol en rapport avec la pluviosité est plutôt primordiale, la composition floristique joue un rôle secondaire (Penning de Vries & Djitèye, 1982). La qualité de fourrage, spécialement son taux de protéine, est inversement proportionnelle à la quantité produite.

Aussi-avons-nous tiré les conséquences pour la méthode d'évaluation des pâturages. Ceci par une attention particulière pour les facteurs clés: la disponibilité d'eau et d'azote, en rapport avec le substrat et l'isohyète, en tenant compte le destin annuel de la biomasse végétale (voir les 4 présentations suivantes).

Nous espérons que la méthode, une fois définitivement formulée, aura comme avantages:

- assez indépendante de la pluviosité quelconque de l'année des observations des relevés
- extrapolation possible pour par exemple une année à pluviosité moyenne, ou pour une année sèche
- extrapolation possible pour une intensité d'exploitation autre que celle d'année d'observations

Nous distinguons des échelles différentes de précision (chap. 7, rapport final), vu l'étendue de la zone à évaluer et la durée et les moyens disponibles. L'exemple présenté par les 4 contributions suivantes concerne l'évaluation détaillée d'une zone étendue, basée sur une seule année d'observations (rapport final, 7.3.). Stroosnijder montre quels critères servent pour distinguer et cartographier des paysages. Snijders élabore un variable principal la disponibilité d'eau, et Breman montre de surcroît que des relevés botaniques ne peuvent pas servir pour déterminer directement la capacité de charge. Soeters lie disponibilité d'eau et disponibilité d'azote pour calculer la production moyenne de biomasse et la capacité de charge.

Breman et Van Engelen comparent finalement les valeurs obtenues avec les observations botaniques.

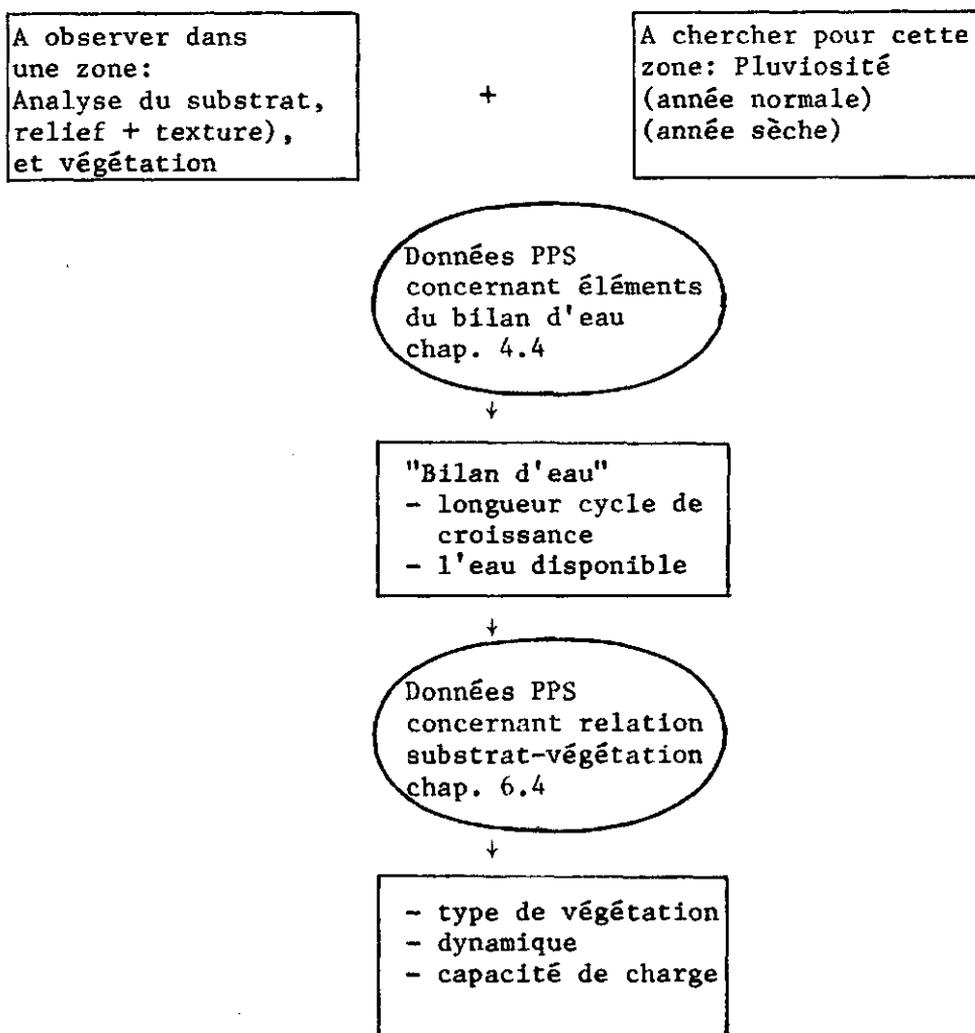
Nota bene: une différence clé avec l'approche courante, biomasse et qualité ne sont pas la base de la détermination de la capacité mais servent pour vérifier des estimation indépendantes.

CARTOGRAPHIE DES PATURAGES SAHÉLIENS

(Basée sur des unités substrat-végétation, selon des idées du projet PPS)

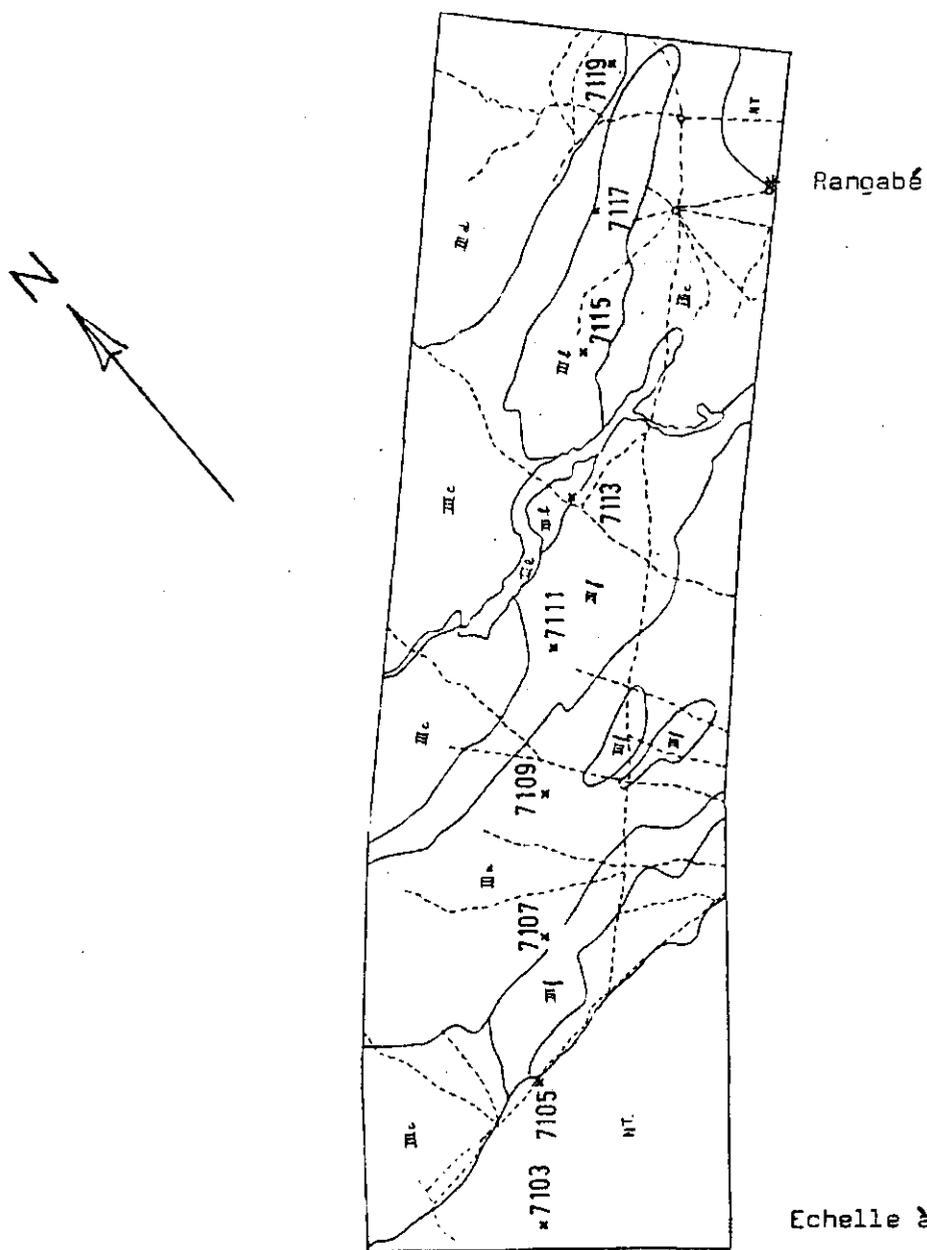
L. Stroosnijder*

1. Idée générale



* Université Agronomique, Dép. Pédologie et Fertilisation
De Dreyen 3, Wageningen

* Nampala



Echelle à peu près 1:200.000

Fig. 1. Carte des paysages au Sud-Ouest de Nampala
+ 7109, etc. = centres des photos aériennes
----- = pistes
———— = limites des unités

2. Ex e m p l e

2.1 Forme Générale De La Description Des Unités

La description d'une unité substrat-végétation (paysage) contiendra:

- a. Symbole et nom simple de l'unité
- b. La reconnaissance sur des photos aériennes
- c. La présence (zone de pluviosité) et les analogies avec d'autres unités
- d. L'interprétation du substrat en termes du relief et de la texture
- e. Le bilan d'eau de l'unité ou des éléments distingués de l'unité
- f. L'interprétation de la végétation: Type et dynamique
- g. La capacité de charge sous des modes différents de l'exploitation

Note: Les éléments e, f et g à décrire pour une année normale et une année sèche

2.2 Exemples De Cette Description

Comme exemples, 4 unités sont présentées d'une partie d'une bande (Nord-Sud) de photos-aériennes du PPS (infrarouge, 1:50.000, du 24 oct. 1977 de Boki-Wéré, par Sokolo, Nampala et Léré à Adar, c'est-à-dire du Nord de la savane à la bordure sud du Sahara). La partie en question est située au sud de Nampala, notamment les photos no. 7105 à 7119 (voir fig. 1). Quatre unités seront décrites ici en se limitant aux éléments a à e.

IIIa: Grandes dunes parallèles

Reconnaissance sur la photo:

- Clairement à voir, des dunes parallèles avec des vallées interposées (voir fig. 2a et 2b).
- Des arbres, particulièrement dans les vallées.
- Signes de ruissellement (les vallées sont les plus foncées, donc le plus humides sur la photo).

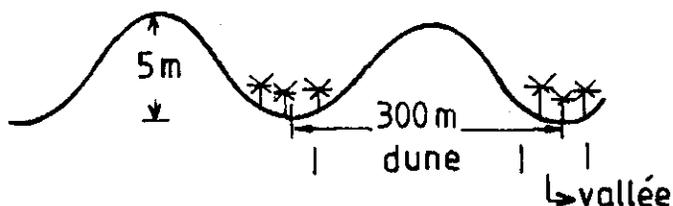


Fig. 2a. Section transversale, NE-SO.

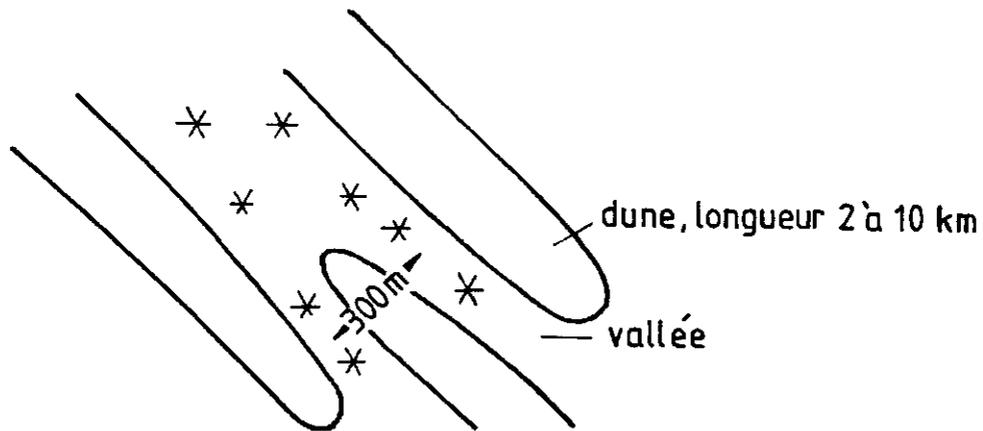


Fig. 2b. Vu de haut.

Présence et analogie:

Ce type a des analogies avec type IIIb; voir photo 7109 pour un bon exemple.

Interprétation du substrat:

- A l'aide de la fig. 1, la pente moyenne: $5/150 \times 100\% = 3\%$
Le rapport incliné: plat est environ $4/5:1/5 = 4$
- Par la forme de la dune, clairement reconnaissable, et l'expérience sur le terrain, nous concluons pour la texture de ce type: sable. Parce qu'il n'y a pas un ruissellement fort, nous concluons: sable, moyennement fin.

Bilan d'eau:

R estimé dans ce cas = 0,2

Quantité d'eau reçue annuellement:

$$\begin{aligned} \text{Vallée: } & 4 \times 0,2 \times P + P = 1,8P = I_{\text{vallée}} \\ \text{Dune: } & P - 0,2 \times P = 0,8P = I_{\text{dune}} \end{aligned}$$

P = Pluviosité annuelle

I = Infiltration annuelle

R = Ruissellement

IIIb: Dunes peu prononcées et non continues; vallées parallèles.

Reconnaissance de la photo:

- A distinguer sont des petites dunes et vallées, non continues, mais orientées (fig. 3a et 3b)
- Dans les vallées le plus de végétation, mais les arbres sont distribués assez homogènement

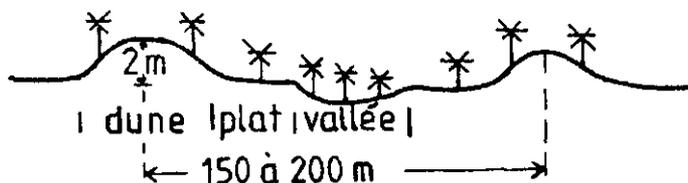


Fig. 3a. Section transversale, N-S

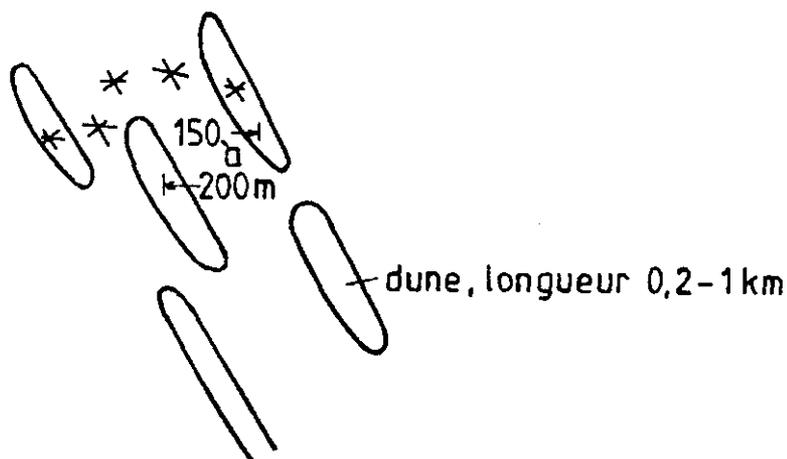


Fig. 3b. Vu de haut

Présence et analogie:

Ce type IIIb fait une zone de transition entre IIIa et les zones sablonneuses plus plates.

On peut trouver un bon exemple sur photo no. 7113.

Interprétation du substrat:

- Pente moyenne: $2/75$ à $100 \times 100 = 2$ à 3%
- Le rapport incliné:plat:dépression est environ $1/2:1/4:1/4$
- Texture, comme IIIa: sable, moyennement fin.

Bilan d'eau:

R(estimé) = 0,2

Quantité d'eau reçue annuellement:

Vallée : $2 \times 0,2 \times P + P = 1,4P = I_{\text{vallée}}$
 Plaine : $P = I_{\text{plaine}}$
 Dune : $P - 0,2 \times P = 0,8P = I_{\text{dune}}$

IIIc: Dunes et vallées non prononcées; dispersées régulièrement

Reconnaissance de la photo:

- Zone avec beaucoup des taches foncées (vallées), mais des arbres sont distribués assez homogènement (fig. 4a et 4b)

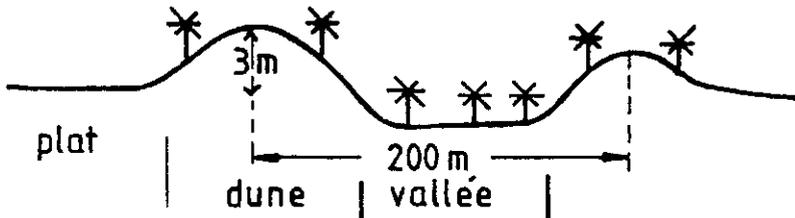


Fig. 4a. Section transversale

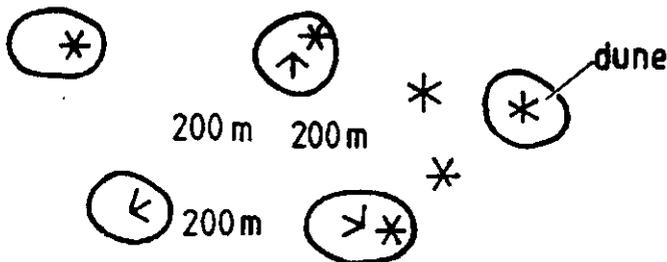


Fig. 4b. Vu de haut

Présence et analogie:

Cette zone est encore plus plate que IIIb; on peut trouver cette zone sur photo 7115.

Interprétation du substrat:

- Pente moyenne: $3/100 \times 100 = 3\%$
- Le rapport incliné:plat:dépression est environ 2/6:1/2:1/6
- Parce qu'il n'y a que peu de formation des dunes et une végétation assez hétérogène nous concluons: sable limoneux.

Bilan d'eau:

R (estimé) = 0,3

Quantité d'eau reçue annuellement:

Vallée : $2 \times 0,3 \times P + P = 1,9 P = I_{\text{vallée}}$
Plaine : $P = I_{\text{plaine}}$
Dune : $P - 0,3 P = 0,7 P = I_{\text{dune}}$

IIIe: Lit d'un fleuve, fossile ou temporairement inondé

Reconnaissance de la photo:

- Vallée avec des rives escarpées en forme d'un lit d'un fleuve (fig. 5a et 5b)
- Sans arbres

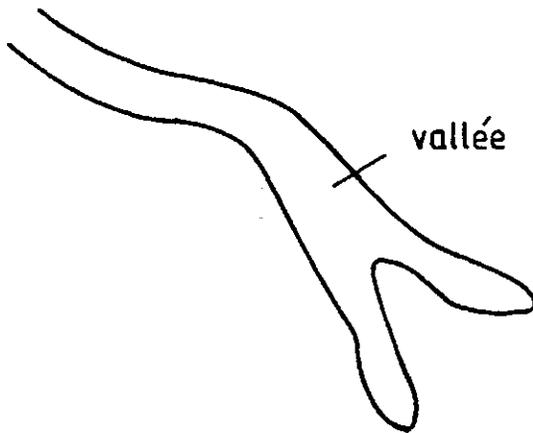


Fig. 5a. Vu de haut

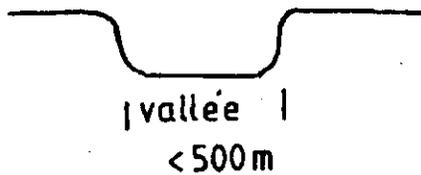


Fig 5b. Section transversale

Présence:

Bon exemple sur photo 7113

Interprétation du substrat:

- Il n'y a pas une pente dans la vallée même
- La texture est sable (grossier probablement) parce qu'on ne voit pas des signes de ruissellement.

Bilan d'eau:

Il n'y a pas un ruissellement continu et donc il n'y a pas un bilan d'eau continue.

2.3 Explication

- ad a. Le nom simple n'est pas encore complet, parce qu'il manque une indication de la végétation.
- ad b. Les exemples présentent le niveau de distinction possible. La quantification du relief est importante.
- ad c. La localisation des unités en rapport avec les isohyètes doit être déterminée.
- ad d. Sur base de la description du relief sous b et des autres signes du terrain, visibles sur les photos, deux estimations ont été faites:
 - Le rapport entre les superficies plates et inclinées à l'intérieur de l'unité.
 - La texture du sol (seulement possible avec une bonne connaissance de la zone).
- ad e. La pluviosité moyenne et celle d'une année sèche d'une unité sortiront de c. Sur base de ces pluviosités et de d. deux aspects du bilan d'eau sont à estimer:
 - La longueur moyenne du cycle de croissance de la végétation.
 - La quantité d'eau disponible.

Pour pouvoir les estimer, il faut estimer d'abord des éléments du bilan d'eau comme le ruissellement, l'écoulement, la percolation au-dessous de la zone racinaire, et l'évaporation. Ces estimations pourront être faites en se basant sur le rapport final du projet PPS, notamment les chapitres 3.2, 3.3 et 4.4. La connaissance en question doit être faite explicite encore, et adaptée au but de cette cartographie (voir partie 3 de cette notice).

3. L e b i l a n d ' e a u

3.1 Généralités

La longueur du cycle de croissance est déterminée comme suite: Un graphique est construit de la pluviosité par décade d'une année normale et d'une année sèche (fig. 6).

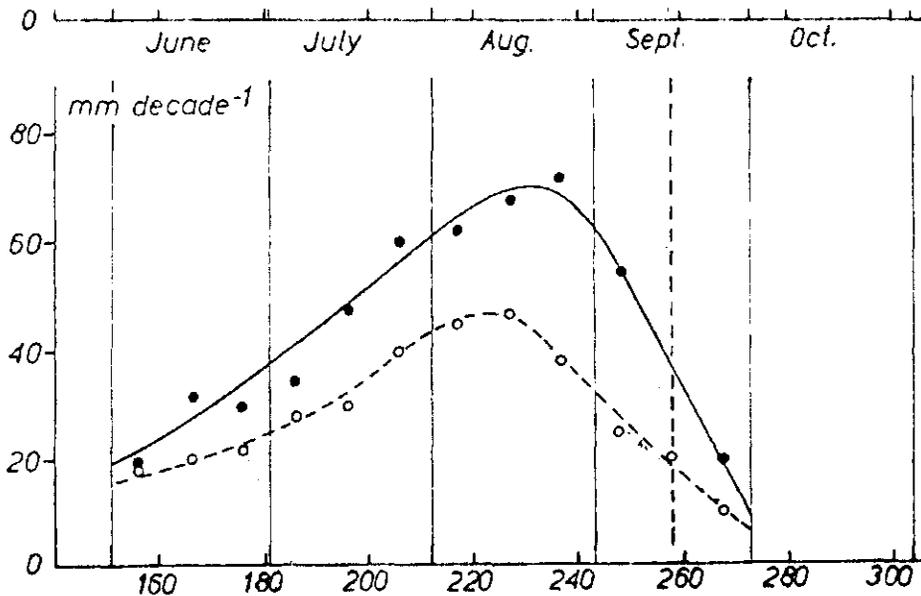


Fig. 6. Pluviosité per décade d'une année normale (●) et d'une année sèche (○).

Une valeur est choisie sur l'axe vertical pour une pluviosité minimalement nécessaire au cours d'une décade pour faire démarrer la croissance. A Niono, par exemple, où l'évaporation moyenne est ± 2 mm par jour pendant la saison des pluies, la croissance devient notable quand l'infiltration est plus de 20 mm par décade. Mais s'il y a par exemple 50% de ruissellement, il faut avoir 40 mm de pluie pour obtenir les 20 mm. Si la fin de la croissance est déterminée par la photopériode (par exemple à Niono à peu près 15 sept. pour le mil) la fig. 6 donne une longueur de cycle de 75 jours pour une année normale et 50 jours pour une année sèche. En cas qu'on arrive à éviter le ruissellement complètement, ces chiffres augmentent jusqu'à 105 et 90 jours respectivement.

L'eau disponible pour la croissance des plantes est estimée comme suite: D'abord il faut estimé I, la quantité d'eau infiltrée dans le sol, comme suite:

$$I = P - RP \quad \text{ou } P + cRP$$

ruissellement écoulement

où c = le rapport entre la superficie avec ruissellement et celle avec écoulement (facteur de concentration d'eau).

Après, l'eau disponible (c'est-à-dire la transpiration maximale) est estimée comme suite.

$$T_{\max} = I - E$$

mais ceci seulement pour la couche du sol accessible pour les racines, et encore seulement pour la fraction d'eau disponible en dessus du point de flétrissement. Ce qui veut dire qu'il faut tenir compte de la percolation,

déterminée par I en rapport avec la capacité au champs, et avec le point de flétrissement, 2 paramètres liés à la texture du sol.

Les éléments différents sont estimés comme suite:

-P:

Dans la description des unités substrat-végétation on n'utilise que des pluviosités moyennes d'une année normale (avec une probabilité de 50%) et d'une année sèche (avec une probabilité de 90%). Pour obtenir ces valeurs statistiques il faut des valeurs de pluviosité d'une période longue. Il y a assez de données météorologiques disponibles pour indiquer ces valeurs à la description des unités pour chaque zone où l'unité se présente.

-RP:

Le ruissellement peut être obtenu d'un tableau si deux propriétés physiques du sol sont estimées d'abord:

a - La rugosité de la surface, par exemple:

CS = 1: surface colmatée, sans paille sur la surface

CS = 2: surface plate, mais avec des irrégularités de paille

CS = 3: champ labouré, surface très irrégulière

b - La capacité du sol d'absorber de l'eau (la valeur 'S' de la formule approximative pour l'infiltration $I = S\sqrt{t}$, avec I la quantité d'eau infiltrée en mm pendant une pluie et t la durée de la pluie), par exemple:

S = 1: sable fin ou limon, surface colmatée ou argile mouillée

S = 2: argile sèche avec des fentes, ou sable moyen

S = 3: sable grossier et meuble, sol labouré surface sans croûte

La construction d'un tel tableau est expliquée en détail dans la partie 3.2 de cette notice. Dans ce tableau la pente du terrain n'existe pas comme variable. La rugosité de la plus grande partie du Sahel est telle qu'il y a déjà de ruissellement s'il y a une pente de 1%. Donc on a supposé que le ruissellement reste la même pour toutes les pentes $\geq 1\%$.

+cRP:

Si une unité est vraiment plate ou même creuse (ou une partie de l'unité), la quantité d'eau infiltrée dans le sol peut être plus grande que la pluviosité. Ceci due à l'écoulement de l'eau des autres terrains à côté inclinés, vers l'unité en considération.

Pour pouvoir calculer la quantité d'eau d'écoulement il faut savoir deux valeurs:

- Le ruissellement des terrains à côté, qui alimentent les terrains d'écoulement (RP)

- Le rapport entre la superficie avec ruissellement et cet écoulement (facteur de concentration d'eau, c)

L'écoulement est calculé comme +cRP; par exemple si un bassin versant de 10 ha avec un ruissellement de 20% alimente une dépression de 1 ha la valeur $c = 10/1 = 10$ et:

L'infiltration du bassin versant : $I = P - RP = P - 0,2 P = 0,8 P$

L'infiltration dans la dépression: $I = P + cRP = P + 10 \times 0,2 P = 3,0 P$

Percolation:

Pour la plus grande partie de la zone sahélienne il y a de ruissellement. L'hypothèse est que sur ces terrains l'infiltration d'eau

RUISSELLEMENT EN RAPPORT AVEC DES PROPRIETES DU SOL, LA GRANDEUR DES PLUIES ET LA LOCALISATION GEOGRAPHIQUE

H. Snijders*

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

Pour pouvoir établir le bilan d'eau d'une zone, il est indispensable de pouvoir estimer le ruissellement. Il sera impossible de faire des essais nécessaires pour chaque unité de paysage à distinguer. C'est pour cela qu'il sera expliqué comment on est arrivé à une estimation pour la zone d'étude.

2. D o n n é e s e t l e u r t r a i t e m e n t

On a pu trouver pour la zone d'étude les observations pluviométriques de 8 postes pour lesquelles la période des enregistrements est au moins 30 ans (tableau 1).

Postes	Localisation		Années
Djenné	13.54 N	04.34 O	1921-1965
Niono	14.15 N	05.59 O	1950-1979
Sofara	14.01 N	04.14 O	1936-1965
Sokolo	14.44 N	06.08 O	1936-1965
Sarafere	15.49 N	03.42 O	1936-1965
Dire	16.16 N	03.24 O	1936-1965
Goundam	16.25 N	03.40 O	1923-1965
Kabara	16.42 N	02.49 O	1923-1965

Tableau 1. Les postes pluviométriques exploitées (C.I.E.H., 1965)

Tableau 2a présente pour 7 entre eux la pluviosité annuelle pour l'ensemble de la période d'observations (Niono ayant été traité déjà par Stroosnijder). Les mêmes données ont été réparties en classes dans le tableau 2b. Fig. 1 en est une présentation graphique: L'axe vertical, avec une échelle de probabilité, indique le nombre d'années d'une certaine classe de pluviosité ou à une pluviosité plus basse, comme pourcentage du nombre d'années analysées. L'axe horizontal, à une échelle linéaire, indique la limite supérieure des classes de pluviosité distinguées. Seulement les stations, pour lesquelles la répartition de la fréquence de la pluviosité annuelle au cours des années a été "normale", ont été utilisées pour les calculs (ligne droite sur le papier de probabilité de la fig. 1). Notamment les stations Djenné, Sokolo, Sarafere, Goundam et Kabara.

* Université Agronomique, Dép. Pédologie et Fertilisation, De Dreijen 3, Wageningen

Jaar	Djenné	Sofara	Sokolo	Sarafere	Dire	Goundam	Kabara
1921	497,1						
1922	-						
1923	511,3					222,0	143,2
1924	356,6					238,8	284,4
1925	607,9					202,4	209,8
1926	426,6					220,8	167,5
1927	755,5					375,9	339,1
1928	509,8					169,2	232,5
1929	337,7					304,0	207,9
1930	841,7					274,8	108,1
1931	621,1					320,6	256,5
1932	963,6					236,7	202,0
1933	866,2					333,8	289,4
1934	614,4					314,9	186,5
1935	-					244,3	242,8
1936	654,3	570,8	594,6	443,5	453,5	383,3	313,0
1937	545,2	563,6	430,2	239,3	235,8	241,6	213,2
1938	-	410,3	-	248,5	436,8	-	153,0
1939	565,5	-	-	340,5	380,8	-	103,0
1940	565,8	666,3	594,4	249,0	140,3	226,8	169,7
1941	469,2	516,3	478,6	241,0	288,7	221,7	143,8
1942	614,2	601,7	348,3	280,5	214,0	203,0	153,4
1943	623,8	638,4	428,5	360,2	344,4	278,9	283,5
1944	509,7	572,2	456,5	386,3	299,3	189,5	271,4
1945	820,3	1057,0	864,7	385,4	247,9	152,7	305,6
1946	699,5	647,7	655,2	266,7	170,9	339,0	257,3
1947	357,3	461,2	452,0	178,3	-	186,4	209,0
1948	490,0	550,3	512,0	274,0	288,0	260,0	218,5
1949	477,8	489,8	404,0	223,0	275,6	157,0	164,2
1950	538,6	689,4	616,8	544,8	530,2	416,5	231,0
1951	473,5	446,4	645,5	373,0	281,4	267,3	216,3
1952	736,0	897,0	610,8	341,8	346,1	359,5	235,7
1953	608,3	641,3	567,5	294,0	313,3	335,7	238,3
1954	588,2	669,2	437,7	208,0	257,5	171,4	363,4
1955	641,2	575,3	554,7	347,3	283,6	262,9	212,6
1956	651,9	666,7	716,5	238,0	286,1	274,8	-
1957	914,0	698,2	548,6	326,9	351,8	403,5	141,2
1958	666,5	459,0	555,6	302,5	262,6	305,4	335,3
1959	736,0	461,3	588,3	290,0	280,6	188,9	174,8
1960	621,0	603,0	497,3	205,4	297,5	194,6	-
1961	771,2	589,7	419,0	-	220,2	155,1	212,5
1962	545,0	764,8	358,2	-	243,6	-	287,8
1963	749,5	743,9	-	-	214,3	310,6	209,6
1964	620,0	432,9	646,1	359,9	253,0	218,6	207,2
1965	602,5	544,0	660,7	347,0	156,3	199,5	124,2

Tableau 2a. Pluviosité annuelle (mm) (C.I.E.H., 1965).

Postes du Sud	Total	classe (mm)																
		300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
Djenne	Nombre	42	1	2	1	5	6	3	10	4	3	2	2	1	1	1		
	Cum.	42	1	3	4	9	15	18	28	32	35	37	39	40	41	42		
	%	100,0	2,3	7,1	9,5	21,4	35,7	42,9	66,7	76,2	83,3	88,1	92,9	95,2	97,6	100,0		
Sofara	Nombre	29	-	-	3	4	2	6	5	5	1	1	0	1	0	0	0	1
	Cum.	29	-	-	3	7	9	15	20	25	26	27	27	28	28	28	28	29
	%	100,0	-	-	10,3	24,1	31,0	51,7	69,0	86,2	89,7	93,1	93,1	96,6	96,6	96,6	96,6	100,0
Sokolo	Nombre	27	1	1	5	4	2	6	4	2	1	0	0	1				
	Cum.	27	1	2	7	11	13	19	23	25	26	26	26	27				
	%	100,0	3,7	7,4	25,9	40,7	48,1	70,4	85,2	92,6	96,3	96,3	96,3	100,0				
Postes du Nord	Total	100	125	159	175	160	175	200	250	300	350	400	450	500	550			
Sarafere	Nombre	27	-	-	-	-	-	1	8	5	6	5	1	0	1			
	Cum.	27	-	-	-	-	-	1	9	14	20	25	26	26	27			
	%	100,0	-	-	-	-	-	3,7	33,3	51,9	74,1	92,6	96,3	96,3	100,0			
Dire	Nombre	29	-	1	1	1	0	0	6	12	3	2	1	1	1			
	Cum.	29	-	1	2	3	3	3	9	21	24	26	27	28	29			
	%	100,0	-	3,4	6,8	10,3	10,3	10,3	31,0	72,4	82,8	89,7	93,1	96,6	100,0			
Goundam	Nombre	40	-	-	-	-	3	2	5	11	6	3	2					
	Cum.	40	-	-	-	-	3	5	10	21	27	35	38	40				
	%	100,0	-	-	-	-	7,5	12,5	25,0	52,5	67,5	87,5	95,0	100,0				
Kabara	Nombre	41	3	3	4	2	4	1	16	7	4	1						
	Cum.	41	3	6	12	13	29	36	40	41								
	%	100,0	7,3	14,6	19,5	29,2	31,7	70,7	87,8	97,6	100,0							

Tableau 2b. Classes de pluviosité annuelle par poste pluviométrique avec le nombre d'années par classe (C.I.E.H., 1965).

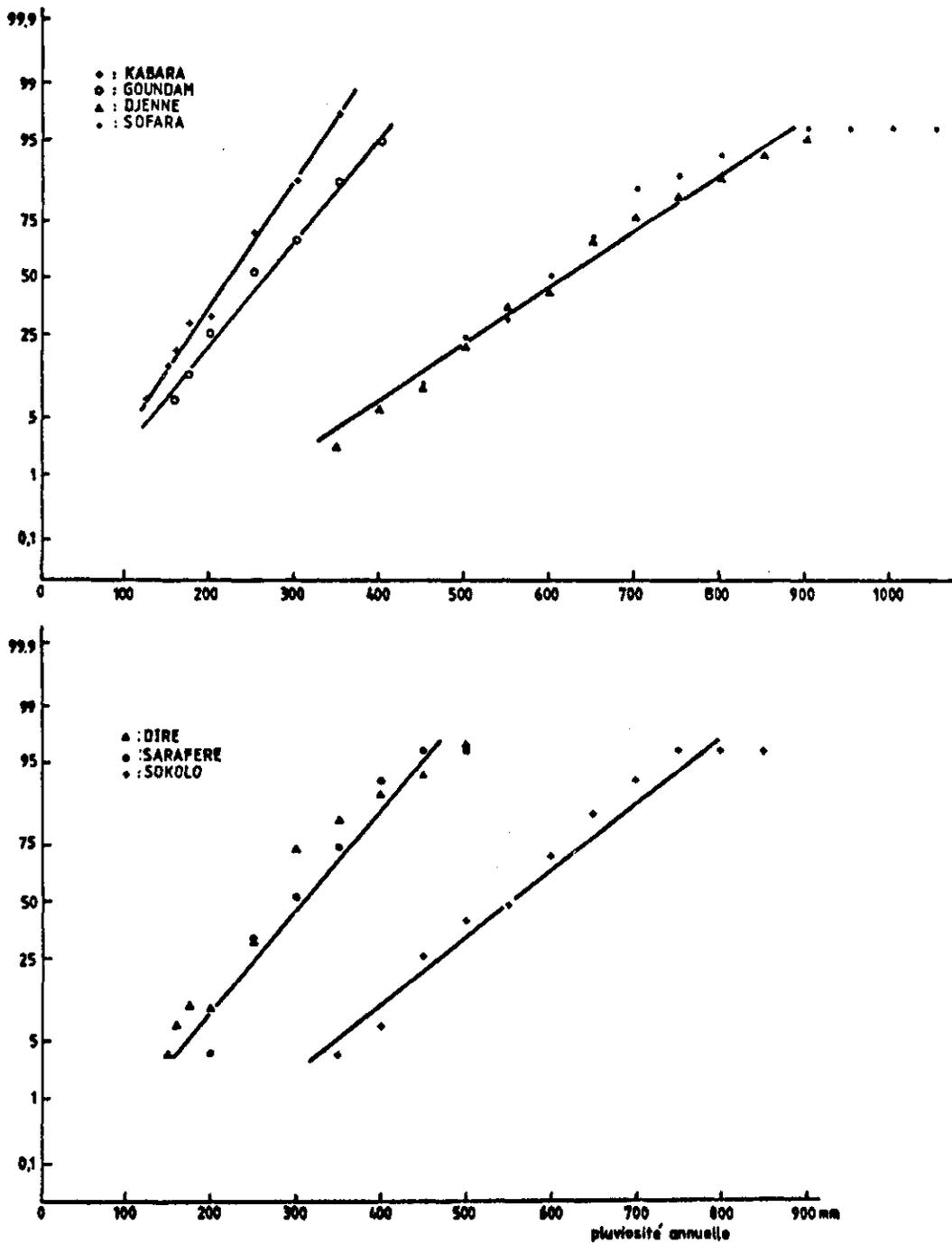


Fig. 1. La probabilité de la répartition de la pluviosité annuelle de 7 stations météorologiques au Mali.

P10Z mm	Pluvisiosité totale		F50Z mm	Pluvisiosité totale		0 ≤ P* < 10 mm		10 ≤ P ≤ 20 mm		P > 20 mm	
	année	mm		année	mm	P10Z (mm)	P F50Z (mm)	P10Z (mm)	P F50Z (mm)	P10Z (mm)	P F50Z (mm)
Djenné	1926	426,6	610	1925	607,9	95,8	99,1	144,3	172,8	186,5	336,0
	1941	469,2		1934	614,4	64,8	101,6	78,4	68,5	326,0	452,3
	1949	477,8		1942	614,2	70,7	102,4	111,6	192,3	295,3	319,5
	1951	473,5		1953	608,3	193,4	121,5	44,2	123,5	235,9	363,3
	moy.	461,8		moy.	611,2	23%	17,4%	20,5%	22,3%	56,5%	60,2%
Niono	1966	394,9		1957	610,3	137,3	114,1	67,3	238,7	170,3	257,5
	1972	454,0		1959	549,0	57,9	117,3	158,3	152,6	237,8	279,1
	1973	318,1		1962	560,0	63,6	88,3	89,2	152,0	165,3	319,7
	1974	380,3		1975	575,6	108,0	109,3	107,5	164,3	164,8	302,0
	moy.	386,8		moy.	573,7	25%	18,7%	27,3%	30,8%	47,7%	50,5%
Sokolo	1943	428,5	550	1953	567,5	114,9	93,5	128,1	108,0	185,5	366,0
	1949	404,0		1955	554,7	79,0	130,1	127,0	130,3	198,0	294,3
	1961	619,0		1957	548,6	84,3	87,0	93,2	139,7	241,5	321,9
	1962	358,2		1958	555,6	69,2	114,4	143,9	155,9	145,1	285,3
	moy.	402,4		moy.	556,6	21,6%	19,1%	30,6%	24,0%	47,8%	56,9%
moyenne du Sud		417,0			96,6		107,8			212,7	
					(= 23,2%)		(= 25,8%)			(= 51,9%)	
Safarere	1947	178,3	310	1953	294,0	27,3	53,0	67,0	74,0	84,0	167,0
	1949	223,0		1957	326,9	50,0	42,9	46,0	43,0	127,0	241,0
	1954	208,0		1958	302,6	43,0	83,5	91,0	61,0	74,0	158,0
	1960	205,4		1959	290,0	41,5	51,5	95,6	85,5	68,3	153,0
	moy.	203,7		moy.	303,4	19,9%	19,0%	36,8%	21,7%	43,4%	59,2%
Goundam	1928	169,2	260	1948	260,0	25,7	35,3	108,1	82,1	35,4	142,6
	1945	152,7		1951	267,3	39,1	56,4	66,7	74,2	46,9	136,7
	1949	157,0		1955	262,9	59,5	52,8	19,2	83,2	78,3	126,9
	1961	155,1		1956	274,8	66,4	78,6	45,7	26,4	43,0	169,8
	moy.	158,5		moy.	266,3	30,1%	20,9%	37,8%	25,0%	32,1%	54,1%
Kabara	1923	143,2	220	1937	213,2	69,2	32,9	52,0	62,8	22,0	117,5
	1941	143,8		1948	218,5	49,3	65,6	33,5	44,7	61,0	108,2
	1957	141,2		1951	216,3	57,4	32,7	10,4	63,6	73,4	120,0
	1965	124,2		1955	212,6	21,3	102,4	81,9	77,4	21,3	32,8
	moy.	138,2		moy.	215,2	35,7%	27,1%	32,2%	28,9%	32,1%	44,0%
moyenne du Nord				166,8	45,8		59,8			61,2	
					(= 27,5%)		(= 35,8%)			(= 36,7%)	
moyenne générale				420,6	82,0		107,3			231,3	
					(= 19,5%)		(= 25,5%)			(= 55,0%)	

Tableau 3. Des années à une pluvisiosité annuelle proche de P10% et de P50% et la répartition des pluies individuelles des années en question, en classe de grandeur (C.I.E.H., 1965).
 (* P = pluie individuelle)

postes pluviométriques	années P10% P50%	quantité (mm) Pp < 10 mm		nombre P10% P50%		Pp moy. P10% P50%		quantité (mm) 10 < Pp < 20 mm		nombre P10% P50%		Pp moy. P10% P50%		quantité (mm) Pp > 20 mm		nombre P10% P50%		Pp moy. P10% P50%	
		P10%	P50%	P10%	P50%	P10%	P50%	P10%	P50%	P10%	P50%	P10%	P50%	P10%	P50%	P10%	P50%	P10%	P50%
Djenné	1926 1925	95.8	99.1	26	21	3.7	4.7	148.3	172.8	10	11	14.4	15.7	186.5	336.0	7	10	26.6	33.6
	1941 1934	64.8	101.6	10	22	6.5	4.6	78.4	68.5	5	5	15.7	13.7	326.0	452.3	11	13	29.6	34.8
	1949 1942	70.7	102.4	18	17	3.9	6.0	111.6	192.3	9	13	12.4	14.8	295.3	319.5	8	8	36.9	39.9
	1951 1953	193.4	121.5	39	27	5.0	4.5	44.2	123.5	3	9	14.7	13.7	235.9	363.3	8	12	29.5	30.3
mo.						4.6	4.9					14.0	15.1					30.7	34.2
Niono	1966 1957	157.3	114.1	35	25	4.5	4.6	67.3	238.7	4	18	16.8	13.3	170.3	257.5	5	8	34.1	32.2
	1972 1959	57.9	117.3	19	28	3.0	4.2	158.3	152.6	11	10	14.4	15.3	237.8	279.1	9	8	26.4	34.9
	1973 1962	63.6	88.3	20	22	3.2	4.0	89.2	152.0	7	11	12.7	13.8	165.3	319.7	6	11	27.6	29.1
	1974 1975	108.0	109.3	29	29	3.7	3.8	107.5	164.3	7	11	15.4	14.9	164.8	302.0	5	9	33.0	33.6
mo.						3.8	4.1					14.6	14.2					29.5	32.2
Sokolo	1943 1953	114.9	93.5	26	20	4.4	4.7	128.1	108.0	8	7	16.0	15.4	185.5	366.0	6	11	30.9	33.3
	1949 1955	79.0	130.1	13	29	6.1	4.5	127.0	130.3	9	8	14.1	16.3	198.0	294.3	7	8	28.3	36.8
	1961 1957	84.3	87.0	16	16	5.3	5.4	93.2	139.7	6	10	15.5	14.0	241.5	321.9	8	10	30.2	32.2
	1962 1958	69.2	114.4	16	27	4.3	4.2	143.9	155.9	10	11	14.4	14.2	145.1	285.3	4	10	36.3	28.5
mo.						4.9	4.2					14.9	14.8					30.8	32.5
Moyenne du Nord						4.3	4.4					14.5	14.6					30.4	33.0
Sarafere	1947 1953	27.3	53.0	8	12	3.4	4.4	67.0	74.0	4	5	16.8	14.8	84.0	167.0	2	6	42.0	27.8
	1949 1957	50.0	42.9	14	11	3.6	3.9	46.0	43.0	3	3	15.3	14.3	127.0	241.0	4	6	31.8	40.2
	1954 1958	43.0	83.5	8	14	5.4	6.0	91.0	61.0	6	4	15.2	15.3	74.0	158.0	3	5	24.7	31.6
	1960 1959	41.5	51.5	6	12	6.9	4.3	95.6	85.5	7	5	13.7	17.1	68.3	153.0	3	5	22.8	30.6
mo.						4.5	4.7					15.0	15.5					23.4	37.7
Goundam	1928 1948	25.7	35.3	10	7	2.6	5.4	108.1	82.1	7	6	15.4	13.7	35.4	142.6	1	4	35.4	35.7
	1945 1951	39.1	56.4	8	12	4.9	4.7	66.7	74.2	4	5	16.7	14.8	46.9	136.7	2	3	23.5	45.6
	1949 1955	59.5	52.8	13	11	4.6	4.8	19.2	83.2	1	6	19.2	13.9	78.3	126.9	3	5	26.1	25.4
	1961 1956	66.4	78.6	12	18	5.5	4.4	45.7	26.4	3	2	15.2	13.2	43.0	169.8	1	5	43.0	34.0
mo.						4.4	4.6					16.0	14.0					29.1	33.9
Kabara	1923 1937	68.2	32.9	19	9	3.6	3.7	52.0	62.8	3	4	17.3	15.7	22.0	117.5	1	4	22.0	29.4
	1941 1948	49.3	65.6	19	15	2.6	4.4	33.5	44.7	3	3	11.2	14.9	61.0	108.2	2	4	30.5	27.1
	1957 1951	57.4	32.7	11	14	5.2	2.3	10.4	63.6	1	5	10.4	12.7	73.4	120.0	2	4	36.7	30.0
	1965 1955	21.3	102.4	6	30	3.6	3.4	81.9	77.4	5	5	16.4	15.5	21.3	32.8	1	1	21.3	32.8
mo.						3.6	3.4					14.8	14.6					29.6	29.1
Moyenne du Sud						4.1	4.2					15.3	14.7					29.4	32.2
Moyenne générale						4.3						14.8						31.3	

Tableau 4. Les pluies des années proches de P10% et de P50% caractérisées par classe de grandeur par la quantité totale de pluie par classe, par le nombre de pluies et par la pluviosité moyenne des pluies individuelles (P).

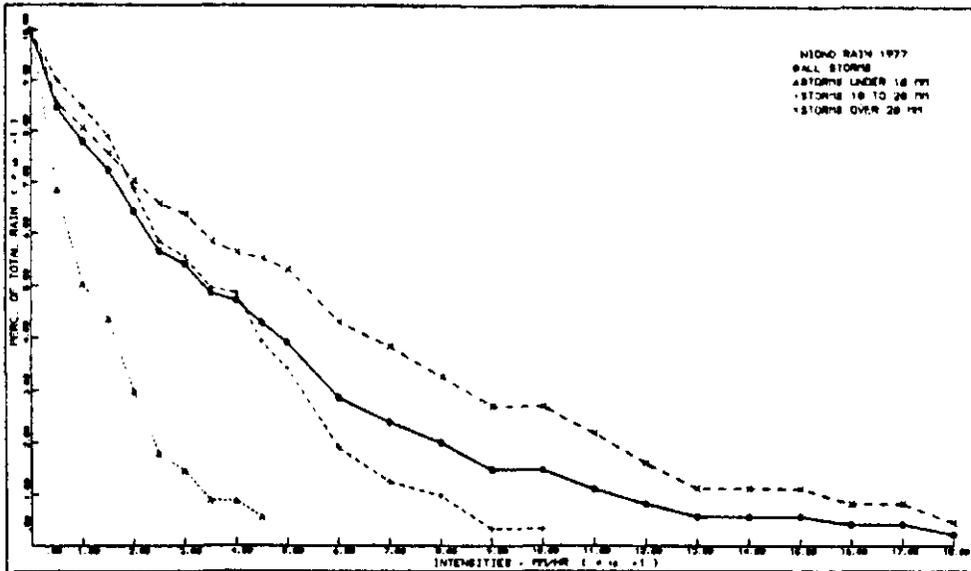


Fig. 2a.

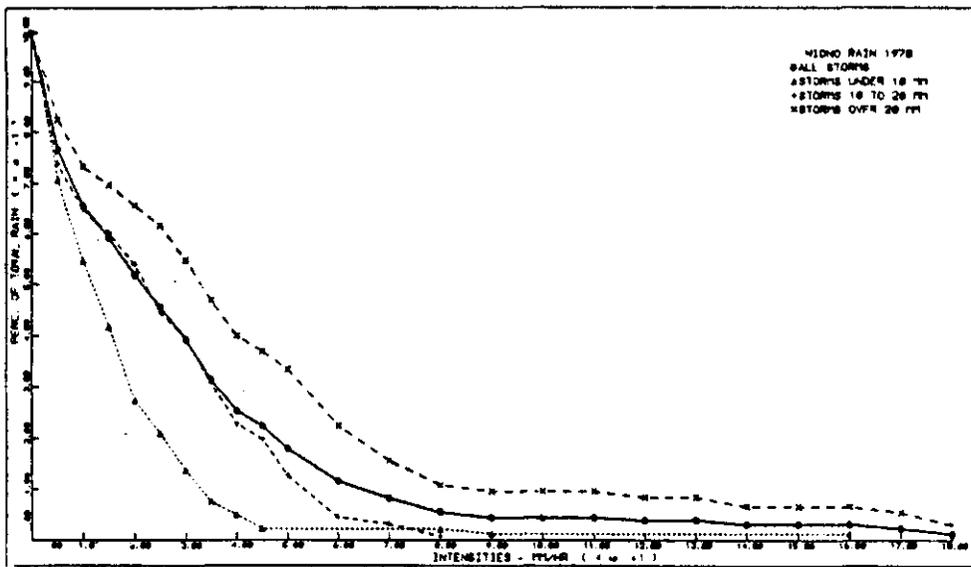


Fig. 2b.

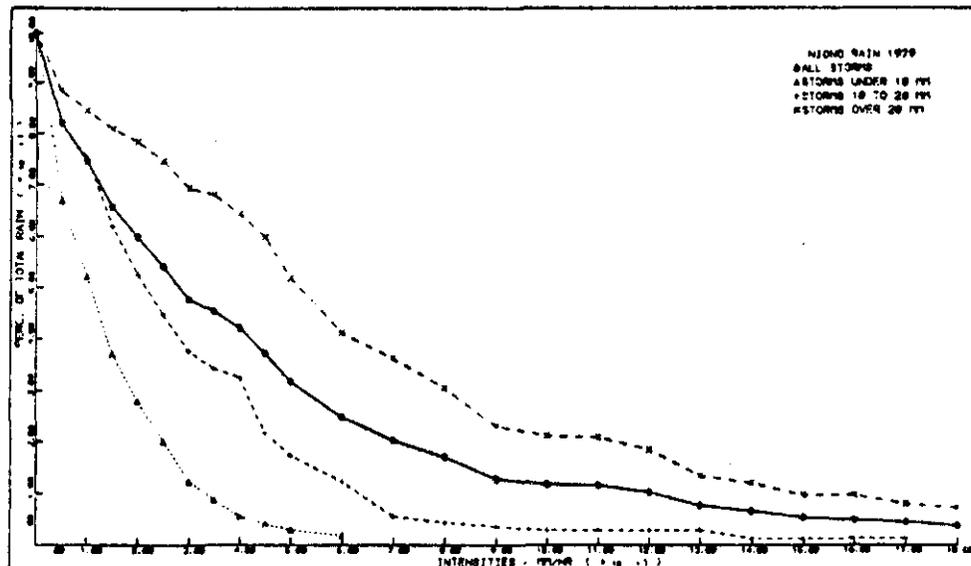


Fig. 2c.

Fig. 2. La distribution de l'intensité pluviométrique en relation avec le pourcentage de la pluviosité totale, pour trois classes de pluies, Niono, Mali, 1977 (fig. 2a), 1978 (fig. 2b) et 1979 (fig. 2c) (Hoogmoed, 1981).

La figure permet de déterminer la pluviosité d'une probabilité de 10% et de 50% (P10% et P50% respectivement). P10% signifie qu'en 90% des années la pluviosité sera plus élevée que la valeur en question. Pour chaque des 7 postes pluviométriques on a cherché les 4 années à une pluviosité annuelle la plus proche de sa valeur P10% et les 4 années la plus proche de sa valeur P50%.

Le ruissellement par pluie dépend fortement de son importance. Pour cela on a classifié, à l'exemple de Hoogmoed (1981), les pluies des années choisies en pluies plus petites que 10 mm, pluies de 10 à 20 mm et pluies plus grandes que 20 mm. Les résultats ont été résumés par le tableau 3 (les données de Niono sont celles de Stroosnijder). Le tableau montre qu'il y a une différence nette de l'importance relative des 3 classes entre les postes du Nord et du Sud de la zone pour les années P10%. Pour les années P50% cependant les différences semblent négligeables.

Tableau 4 présente le nombre de pluies pour chaque des 3 classes, ce qui donne, ensemble avec le tableau 3, la quantité moyenne de précipitation par pluie par classe. Dans ce cas il y a à peine des différences entre le Nord et le Sud et entre les années P10% et P50%, donc: pluies dans la classe <10 mm ont une valeur moyenne de 4,3 mm, les pluies entre 10 et 20 mm 14,8 mm et les pluies >20 mm 31,3 mm.

Ce qui importe aussi encore est l'intensité des pluies, résultante de leur grandeur et de leur durée. La durée même est d'une importance directe pour le ruissellement, car l'infiltration d'eau est directement proportionnelle à la racine du temps. La durée moyenne des pluies moyennes des 3 classes est trouvée en utilisant les figures de Hoogmoed (1981), ici fig. 2a, b et c. Avec l'aide de ces graphiques on a pu déterminer l'intensité des pluies au niveau de 87,5%, de 62,5%, de 37,5% et de 12,5%, pour chacun des 3 ans ('77, '78 et '79). Ensuite les valeurs moyennes ont été calculées, par classe de pluies et par niveau (voir tableau 5).

Classe de pluie	Année	Intensité (mm. hr ⁻¹)				
		niveau	87,5%	62,5%	37,5%	12,5%
P _p < 10 mm	1977	3	8	19	33	
	1978	4	8	18	32	
	1979	3	7	17	31	
	moy.	3	8	18	32	
10 ≤ P _p ≤ 20 mm	1977	5	24	48	71	
	1978	4	13	32	51	
	1979	5	16	31	61	
	moy.	5	18	37	61	
P _p > 20 mm	1977	8	32	72	129	
	1978	5	26	45	78	
	1979	8	43	69	141	
	moy.	7	34	62	116	

Tableau 5. Des pluies caractérisées par 4 niveaux d'intensité pour 3 classes de grandeur des pluies individuelles (P_p)

Chaque'une des valeurs trouvées représentera à peu près 25% de la précipitation de la pluie d'une certaine classe.

3. Calcul du ruissellement

La durée des pluies est calculée de son intensité et de son grandeur. Pour chaque pluie on a distingué 4 intensités, chaque'une responsable pour 25% de la pluie. L'infiltration se calcule de la durée avec l'aide de la formule:

$$I = S \times \sqrt{t}$$

où

I = infiltration

S = caractère du sol qui reflète la capacité d'absorption d'eau

t = durée de la pluie

S dépend des propriétés du sol. On n'a utilisé que 3 valeurs ici, notamment 1, 2 ou 3 mm.min^{-1/2}. La surface du sol détermine le degré de la formation des flaques d'eau (CS), ici exprimé en profondeur moyenne. Trois classes ont été distinguées à nouveau, notamment CS = 0, 2 ou 5 mm.

Le ruissellement par pluie peut être calculé comme suite:

$$R = P_p - I - CS$$

où P est l'importance d'une pluie individuelle.

^PLe tableau 6 présente les résultats. Le ruissellement annuel a été calculé pour les années P50% de l'ensemble des postes pluviométriques

Pour une détermination précise du ruissellement il est indispensable de mesurer S et CS. Mais pour une impression globale on peut utiliser des valeurs d'ailleurs. Le tableau 8 en donne des exemples.

Remarques:

- La présence de biomasse, une végétation vivante ou morte fait augmenter la valeur de CS. La brousse tigrée à un sol limoneux, très sensible pour la formation des croûtes superficielles. La valeur de S et de CS est 1 pour ses sols nus, mais la valeur de CS sera bien plus élevée pour ses fourrés.
- Par le labour S et CS augmenteront; surtout CS peut obtenir une valeur notable. Mais l'influence du labour est temporaire. Elle durera plus longtemps pour des sols argileux ou sablonneux que pour des sols limoneux.

4. Conclusion

Le ruissellement, par pluie on par an, peut être calculé en mesurant ou en estimant quelques caractères du pluie et du sol. Pour la zone d'étude les tableaux 6 et 7a, b et c peuvent être utilisés. La localisation géographique et la pluviosité en comparaison avec la moyenne déterminent s'il faut 7a, 7b ou 7c. Ces tableaux se peuvent être étendus à volonté, par exemple en choisissant une valeur plus grande de S et/ou de CS.

Classe de pluies	Grandeur moyenne (mm)	Intensité (mm/h)	Durée par pluie (min.)	Infiltration (mm)			R (mm) CS = 0 mm			R (mm) CS = 2 mm			R (mm) CS = 5 mm					
				S=1	S=2	S=3	S=1	S=2	S=3	S=1	S=2	S=3	S=1	S=2	S=3			
$P_p < 10$ mm	4,3	3	86	9	19	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				6	11	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
				4	7	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				3	6	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$10 \leq P_p \leq 20$ mm	14,8	5	178	13	27	40	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				7	14	21	8	1	0	6	0	0	3	0	0	0		
				5	10	15	10	5	0	8	3	0	5	0	0	0	0	
				4	8	12	11	7	3	9	5	1	6	2	0	0		
$P_p > 20$ mm	31,3	7	268	16	33	49	16	0	0	13	0	0	10	0	0	0		
				7	15	22	25	17	10	22	14	7	19	11	4	4		
				5	11	16	27	21	16	24	18	13	21	15	10	10		
				4	8	12	28	24	20	25	21	17	22	18	14	14		

Tableau 6. Ruissellement par pluie en rapport avec l'intensité et la durée de la pluie, spécifié par classe de pluie (S en mm/min). (tableau 7a). Mais pour les années P10% une séparation a été faite pour les postes du Nord et du Sud de la zone (tableaux 7b et c).

Classe de pluie	P _{ann.}		Pluie moyenne mm	Nombre de pluies	R _{ann.} (mm) CS = 0 mm			R _{ann.} (mm) CS = 2 mm			R _{ann.} (mm) CS = 5 mm			
	mm	%P _{tot.}			S=1	S=2	S=3	S=1	S=2	S=3	S=1	S=2	S=3	
P _p < 10 mm	82,0	19,5	4,3	19,0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 ≤ P _p ≤ 20 mm	107,3	25,5	14,8	7,3	57	24	5	42	15	2	26	4	0	
P _p > 20 mm	231,1	55,0	31,3	7,4	178	115	85	155	98	68	133	81	52	
P _{total}	420,6	100,0			240	139	90	197	113	70	159	85	52	
					-57%	-33%	-21%	-47%	-27%	-17%	-38%	-20%	-12%	

Tableau 7a. Ruissellement annuel (R_{ann.}) des années à une probabilité de 50% (P50%) pour l'ensemble des postes pluviométriques, par classe de pluie, en rapport avec la rugosité de la surface (CS) et la capacité d'absorption du sol (S en mm/min^{1/2}).

Classe de pluie	P _{ann.}		Pluie moyenne mm	Nombre de pluies	R _{ann.} (mm) CS = 0 mm			R _{ann.} (mm) CS = 2 mm			R _{ann.} (mm) CS = 5 mm			
	mm	%P _{tot.}			S=1	S=2	S=3	S=1	S=2	S=3	S=1	S=2	S=3	
P _p < 10 mm	45,8	27,5	4,3	10,7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 ≤ P _p ≤ 20 mm	59,8	35,8	14,8	4,0	31	13	3	23	8	1	14	2	0	
P _p > 20 mm	61,2	36,7	31,3	2,0	48	31	23	42	27	19	36	22	14	
P _{total}	166,8	100,0			82	44	26	65	35	20	50	24	14	
					-49%	-26%	-16%	-39%	-21%	-12%	-30%	-14%	-8%	

Tableau 7b. Ruissellement annuel (R_{ann.}) des années à une probabilité de 10% (P10%) pour les postes pluviométriques du Nord, par classe de pluie, en rapport avec la rugosité de la surface (CS) et la capacité d'absorption du sol (S en mm/min^{1/2}).

Classe de pluie	P _{ann.}		Pluie moyenne mm	Nombre de pluies	R _{ann.} (mm) CS = 0 mm			R _{ann.} (mm) CS = 2 mm			R _{ann.} (mm) CS = 5 mm			
	mm	%P _{tot.}			S=1	S=2	S=3	S=1	S=2	S=3	S=1	S=2	S=3	
P _p < 10 mm	96,6	23,2	4,3	22,5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 ≤ P _p ≤ 20 mm	107,8	25,8	14,8	7,3	57	24	5	42	15	2	26	4	0	
P _p > 20 mm	212,7	51,9	31,3	6,8	175	113	84	143	90	63	122	75	48	
P _{total}	417,0	100,0			238	137	89	185	105	65	148	79	48	
					-57%	-33%	-21%	-44%	-25%	-16%	-35%	-19%	-12%	

Tableau 7c. Ruissellement annuel (R_{ann.}) des années à une probabilité de 10% (P10%) pour les postes pluviométriques du Sud, par classe de pluie, en rapport avec la rugosité de la surface (CS) et la capacité d'absorption du sol (S en mm/min^{1/2}).

	S mm.min ^{-1/2}	CS mm
sol limoneux à croûte	1	1
sol argileux	1	1-2
sable fin et limoneux	1	2
sable fin	2-3	2
sable grossier	3-5	2-5

Tableau 8. La capacité d'absorption d'eau (S) et le degré de la formation des flaques d'eau (CS) pour quelques substrats.

R é f é r e n c e s

- Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques, 1965. Précipitations journalières de l'origine des stations à 1965, Rép. du Mali.
- Hoogmoed, W.B., 1981. Analysis of rainfall in some locations of West Africa and India. Appendix 5 to final report of the project "Development of criteria and methods for improving the efficiency of soil management and tillage operations, with special reference to arid and semi-arid regions". Soil Tillage Laboratory, LH, Wageningen.
- Stroosnijder, L., 1980. Observations météorologiques à Niono, Mali, dans les années 1976-1979. Projet PPS, LH-CABO-IER, Wageningen.

VEGETATION: COMPOSANTE DU PAYSAGE

H. Breman

1. Introduction

L'attention donnée à la végétation reste relativement limitée dans l'évaluation des pâturages selon l'approche du P.P.S. (Chap. 7, rapport final). La végétation n'est qu'une des composantes du paysage à décrire pour caractériser les unités distinguées (Stroosnijder, 2.1). Les relevés botaniques ne servent pas pour la détermination de la capacité de charge, basée sur la biomasse observée et la fraction utilisable vu la qualité et l'appétibilité des espèces (Boudet, 1978).

La végétation est dans notre approche plutôt un indicateur de la disponibilité d'eau et de sa répartition, à travers de la physionomie de la végétation, de l'importance des pérennes, de la longueur des cycles de croissance des annuelles, etc. (6.4.4.2 du rapport final). La connaissance de la végétation servira également une bonne gestion des pâturages. Mais les relevés botaniques sont un contrôle au lieu d'être la base dans le cadre d'une estimation de la capacité de charge.

D'ailleurs, la dynamique des végétations (composition floristique et biomasse) est si grande au Sahel qu'il est très risqué de généraliser les observations d'une seule année directement (6.4.5.1, rapport final). Mais il est possible d'extrapoler les relevés botaniques d'une année quelconque (6.4.5.2, rapport final).

2. Description de la végétation

La description de la végétation ici a deux buts; compléter la description des unités cartographiées (Stroosnijder) et montrer la dynamique de leurs végétations.

Pour ce dernier les relevés de Boudet de 1969 (Boudet et Leclercq, 1970) seront comparés avec les propres observations de 1978 et 1979.

Les différences d'une année à l'autre d'une certaine unité sont souvent plus grandes que les différences entre les unités pendant une certaine année. Ceci fait qu'il était à peine possible de distinguer les unités décrites par Stroosnijder comme exemples, sur la base de leurs végétations (N.B. elles ont toutes un substrat sablonneux). C'est pourquoi la répartition de la zone en 3 unités (Boudet et Leclercq, 1970) est plus réaliste qu'en 5 (Stroosnijder) s'il s'agit de la végétation seulement. Les 3 faciès de végétation qui peuvent être individualisés sur le manteau sableux ont en commun, suivant Boudet et Leclercq, une strate ligneuse assez dense avec Combretum glutinosum, Grewia bicolor et Guiera senegalensis. Le tapis herbacé présenterait des espèces constantes Andropogon gayanus var. tridentatus, Diheteropogon hagerupii, Eragrostis tremula et Polycarpaea corymbosa. Le faciès 3b enveloppe IIIa, à l'exception des fonds des vallées, IIIb et IIIc de Stroosnijder. Cette formation, dominante sur le manteau sableux, occupe toutes les pénèplaines hautes et ondulées. Le faciès 3a correspond à IIIf de Stroosnijder, et occupe les pénèplaines légèrement dépressionnaires du manteau sableux. Le faciès 3c finalement, les fonds des vallées de IIIa plus IIIe de Stroosnijder, est limitée aux creux des couloirs interdunaires et des réseaux hydrographiques fossiles.

Pour bien pouvoir comparer nos observations avec ceux de Boudet, on adopte la cote d'abondance-dominance du dernier (Boudet et Leclerq, 1970):

- + : espèce présente à l'état d'individus isolés
- 1 : espèce présente à l'état d'individus peu abondants
- 2 : espèce présente à l'état d'individus abondants, mais dont le recouvrement n'atteint pas 5% de l'aire inventoriée
- 3 : espèce recouvrant de 5 à 50% du relevé
- 4 : espèce recouvrant de 50 à 75% du relevé
- 5 : espèce recouvrant 75 à 100% du relevé
- ! : espèce abondante dans certains relevés seulement

Des espèces ligneuses seront traitées séparément de la strate herbacée, car elles sont regardées comme éléments relativement stables du paysage.

3. La strate ligneuse

Le tableau 1 donne une impression de l'importance des espèces ligneuses en '69 et en '78. Seulement telles espèces sont présentées qui sont ou présentes dans les 3 faciès, ou qui ont une cote de 1 ou plus dans un des faciès.

	3b		3a		3c	
	'69	'78	'69	'78	'69	'78
<u>Combretum glutinosum</u>	3	2	2	2	3-4	1-2
<u>Guiera senegalensis</u>	2	1	1	2	+	2-3
<u>Sclerocarya birrea</u>		+	1	1		+
<u>Jatropha chevalieri</u>				1		+
<u>Terminalia avicennioides</u>	+		+		+	
<u>Grewia bicolor</u>	+		+	+	+	

Tableau 1. Abondance des espèces ligneuses des faciès du manteau sableux de la zone d'étude suivant des observations à un intervalle de 9 ans.

La sécheresse du début des années soixant-dix a bien touché la strate ligneuse. Boudet et Leclerq (1970) la caractérisent comme "assez dense", mais en '78 ceci ne serait valable que pour 3c. Les 2 autres faciès ont un recouvrement des ligneux en dessous de 5%. Des individus morts nombreux de Combretum glutinosum témoignent encore de la catastrophe en 1978. Mais aussi l'importance de Guiera senegalensis est bien diminuée dans le faciès dominant, 3b, quoique le tableau 1 semble à indiquer une augmentation ailleurs; l'espèce a remplacé Combretum glutinosum comme dominante des bas-fonds. En outre sont presque ou complètement disparus Grewia bicolor, Terminalia avicennioides et Bombax costatum. Donc aussi la strate ligneuse est loin de stable! (La suggestion du tableau que Sclerocarya birrea est augmenté en nombre depuis '69 est fausse: il est échappé à Boudet pour les faciès 3b et 3c, car les individus observés y étaient loin de jeuns).

4. La strate herbacée

4.1. Changements Depuis 1968

La tableau 3 montre la différence de la végétation en 1969 et celle observée personnellement. La sécheresse a eu l'influence discutée en 6.3.5 du rapport final et ailleurs (Breman et al., 1980): La graminée pérenne et des espèces à cycle relativement long ont été supplantées par des espèces annuelles à cycle relativement court. Il agit surtout des graminées à germination rapide comme normalement sur sable (6.4.4.1 du rapport final).

	3b		3a		3c	
	'69	'78	'69	'79	'69	'78
<u>Andropogon gayanus</u>	+		1	+	4	1
<u>Diheteropogon hagerupii</u>	2	!	2		2	+2
<u>Schoenefeldia gracilis</u>	3	+3	2	3		+2
<u>Aristida mutabilis</u>	2	1	+			1
<u>Cenchrus biflorus</u>	+	+4		3		+4
<u>Eragrostis tremula</u>	+	+4	+	+	+	+2
<u>Elionurus elegans</u>	2	+	2	3		+2
<u>Cassia mimosoides</u>	+	+2	+	+		+4
<u>Borreria radiata</u>	2	1	2	+		+
<u>Polycarpaea corymbosa</u>	2	1	+	+	+	+
<u>Alysicarpus ovalifolius</u>	+	+	+	+		+

Tableau 2. Le changement de la strate herbacée des faciès du manteau sableux de la zone d'étude depuis 1969.

4.2. Changements Annuels

Les tableaux 1 et 2 ensemble illustrent bien la thèse que des relevés botaniques forment une base faible pour caractériser les paysages et pour estimer la fraction utilisable de leurs biomasses. La remarque qu'il s'agit d'une situation bien exceptionnelle à cause de la sécheresse ne s'applique pas, car des changements d'une année à l'autre peuvent être aussi grands que ceux présentés par le tableau 2. Ceci a été montré pour le ranch de Niono (6.4.5.1, rapport final) et pour le Sahel malien en général (Breman et al., 1980). Un autre bon exemple forment les relevés d'un site fixe sur IIIc, de 1976 à 1979 (voir tableau 3) et la présence des quantités de vieille paille de Blepharis linariifolia sur 3b en '78, indiquant la dominance de l'espèce l'année précédente.

Les graminées ont dominé la végétation en question pendant 3 ans. La couche de paille qui en a été la conséquence a vraisemblablement causé la dominance de Borreria radiata la dernière année (voir Breman et al., 1980). Pareils changements ne seront pas rares dans la zone à l'absence des feux de brousse (6.5, rapport final).

	'76	'77	'78	'79
<u>Cenchrus biflorus</u>	15	30	35	10
<u>Aristida mutabilis</u>	30	15	< 5	< 5
<u>Eragrostis tremula</u>	20	35	20	< 5
<u>Borreria radiata</u>	10	5	20	75
<u>Alysicarpus ovalifolius</u>	15	5	15	< 5

Tableau 3. L'importance des 5 espèces les plus importantes au point de vu biomasse, comme pourcentage de la biomasse totale, d'un site fixe sur IIIc, au cours de 4 années successives.

5. B i o m a s s e

Quoique le but de Boudet et Leclerq (1970) de la détermination de biomasse était l'estimation de la capacité de charge, tandis que notre but a été la vérification de la productivité estimée (voir Breman et Van Engelen) une comparaison des observations est bien possible (voir tableau 4).

Année	Pluviosité (mm)	Biomasse (kg/ha de M.S.)		
		3b	3a	3c
'69	450	1250	2000	6500
'78	400	2000	2000	2500
'79	300	1000	1000	

Tableau 4. La production annuelle de la strate herbacée des 3 faciès du manteau sableux de la zone d'étude.

La conclusion est comparable à celle concernant la composition floristique: Des changements depuis '69 (voir 3c) ne sont pas exclusivement causés par la sécheresse; il y a des différences interannuelles notables (3b et 3c). Ce dernier est encore mieux illustré en ajoutant les estimations pour 3b en '76 et '77. La pluviosité totale était respectivement 470 et 200 mm, la biomasse produite 2000 et 750 kg/ha. Une nouvelle indication qu'une capacité de charge basée sur la biomasse d'une certaine année a une valeur douteuse.

6. U n i t é s s u b s t r a t - v é g é t a t i o n

L'approche du projet P.P.S. concernant la description de la composante "végétation" du paysage est présentée dans le paragraphe 6.4 du rapport. Ici on ne donne qu'une indication brève, en utilisant les unités IIIa, IIIf et IIIe comme exemples. Il s'agit respectivement des dunes prononcées, une pénélaine sableuse plate et un réseau hydrique fossile. En autres mots, des paysages où respectivement:
- le ruissellement domine sur l'écoulement

- l'infiltration est égale à la pluviosité
- l'écoulement domine (voir 6.4.4.2, rapport final).

IIIa. La végétation forme une mosaïque de 2 faciès, celui des sommets et pentes et celui des couloirs interdunaires. Chaque'un des deux en soit est relativement homogène, la strate ligneuse aussi bien que la strate herbacée. Combretum glutinosum domine, accompagné de Guiera senegalensis. Leur recouvrement est moins que 5% sur les dunes et de 5 à 10% dans les couloirs interdunaires, où Guiera senegalensis est relativement abondant. Sur les dunes on trouve Combretum glutinosum presque exclusivement. L'arbre y est moins développé que dans les zones interdunaires. La strate herbacée est relativement pauvre en espèces, les graminées C₄ à germination rapide dominant en général. On constate des différences entre les 2 faciès en ce qui concerne la composition floristique, mais elles ne sont pas systématiques: une espèce peut dominer les dunes ici et les zones interdunaires ailleurs. Cette situation peut être opposée une autre année et des endroits où on trouve les mêmes espèces pour les 2 faciès sont loin de rares. Tout ceci indique que l'infiltration d'eau est bonne si la pente n'est pas trop forte. C'est seulement dans les couloirs interdunaires où une certaine fraction d'eau de pluie a une chance d'infiltrer en dessous de la zone racinaire des espèces herbacées, sauf dans les années sèches. Des espèces pérennes ont donc peu de chance de s'installer en nombre, même dans les zones interdunaires. Le cycle moyen des annuelles des dernières zones sera cependant un peu plus long que celui des espèces des dunes.

Le tableau 5 est une estimation de la chance de dominance des espèces herbacées au point de vu biomasse, en tenant compte du substrat (sable) de la pluviosité moyenne (450 mm) et les caractères des espèces (4.3.7 et

	sommets et pentes		couloirs interdunaires	
	non-perturbé	per-turbé	non-perturbé	per-turbé
I herbacées pérennes	-	-	++	+
II annuelles				
1. germination rapide, C ₄				
a. cycle long	+	-	++	+
b. moyen	+++	+	+++	++
c. court	++	++	+	+
2. germination lente ou hétérogène, C ₄ /C ₃				
a. cycle long	-	-	++	+
b. moyen	++	+++	++	+++
c. court	+	++	-	+

Tableau 5. La chance que des types d'espèces domineront la biomasse de la strate herbacée pendant une année quelconque, pour les 2 faciès de l'unité IIIa, sans et avec perturbation (- chance négligeable; +, ++ et +++ respectivement peu, assez et beaucoup de chance).

6.4.3, rapport final). Les espèces ne sont pas présentées individuellement, mais comme des types.

Le tableau montre qu'on suppose que les deux faciès seront dominés par des annuelles C_4 à germination rapide sans perturbation forte des faciès. La différence clé entre les faciès concerne la longueur du cycle de croissance des plantes, qui sera en moyen un peu plus long pour la végétation des couloirs interdunaires. Ce que le tableau ne montre pas c'est qu'une fraction limitée (5-10%) des plantes du dernier faciès pourrait concerner des espèces sciaphyles.

La bonne capacité du substrat d'absorber l'eau de pluie et l'intensité de la pluviosité moyenne font que l'unité IIIa ne sera pas facilement perturbée par la pâture, sauf localement (6.6.4, rapport final). La perturbation la plus générale est vraisemblablement le dérangement de l'installation de la végétation au début de l'hivernage par la paille des années précédentes, si l'herbe ne brûle pas en saison sèche (6.5, rapport final). Ce qui fait qu'aux alentours des puits et des villages en général, et une fois par 3 ou 4 ans ailleurs, les annuelles à germination hétérogène on lente remplaceront les annuelles C_4 à germination rapide comme dominantes.

La végétation de l'unité IIIf ressemble beaucoup celle du faciès sommets et pentes de IIIa. La disponibilité d'eau est cependant intermédiaire entre celle des 2 faciès de IIIa, ce qui fait que l'importance de la strate ligneuse aussi bien que la longueur moyenne des cycles de croissance des herbacées seront également intermédiaires.

La végétation de IIIe finalement est une forme extrême de celle du faciès couloir interdunaire de IIIa: recouvrement des ligneux plus prononcées (donc plus d'espèces sciaphyles), cycles de croissance plus longs et plus d'herbacées pérennes. En plus on a la chance d'y trouver des espèces hydrophiles aux endroits avec inondation temporaire. Le substrat aura une fraction de limon plus élevée et est donc plus sensible pour la dégradation physique (6.6.4, rapport final). Ceci et la présence possible des flaques d'eau en hivernage font que la végétation sera plus hétérogène que les autres qu'on vient de décrire, tandis que la perturbation par l'exploitation se produira plus facilement. On a donc une bonne chance de rencontrer Zornia glochidiata aux endroits relativement élevées de ces dépressions (6.6.4.3, rapport final).

R é f é r e n c e s

- Boudet, G., 1978. Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. Série Manuels et précis d'élevage no. 4. I.E.M.V.T., Min. de la Coop., Paris.
- Boudet, G. et P. Leclerq, 1970. Etude agrostologique pour la création d'une station d'embouche dans la région de Niono. Etude agrostologique no. 29. I.E.M.V.T., Maisons-Alfort.
- Breman, H., A.M. Cissé, M.A. Djitéye et W.Th. Elberse, 1980. Pasture dynamics and forage availability in the Sahel. Isr. J. Bot. Vol. 28, 227-251.

ESTIMATION OF THE CARRYING CAPACITY; P.P.S. APPROACH

M. Soeters*

1. Introduction

The final report of the P.P.S. project presents only a global description of the estimation of the carrying capacity (P.P.S., 1982 par. 6.6.5). Even now the ideas about it are not well crystallized yet. So, the 2 cases which will be presented here are not a definite version of the approach, but an indication of the way of thinking: the distinguished soil-vegetation units can be characterized in such a manner (see Stroosnijder) that the carrying capacity becomes a derivation. It must be pointed out that the obtained data will be useful to compare the relative potentials of the different landscape units. They don't inform directly about the animal production in practice nor do they suggest that a stable exploitation is possible at a stocking rate in conformity with the estimated capacity.

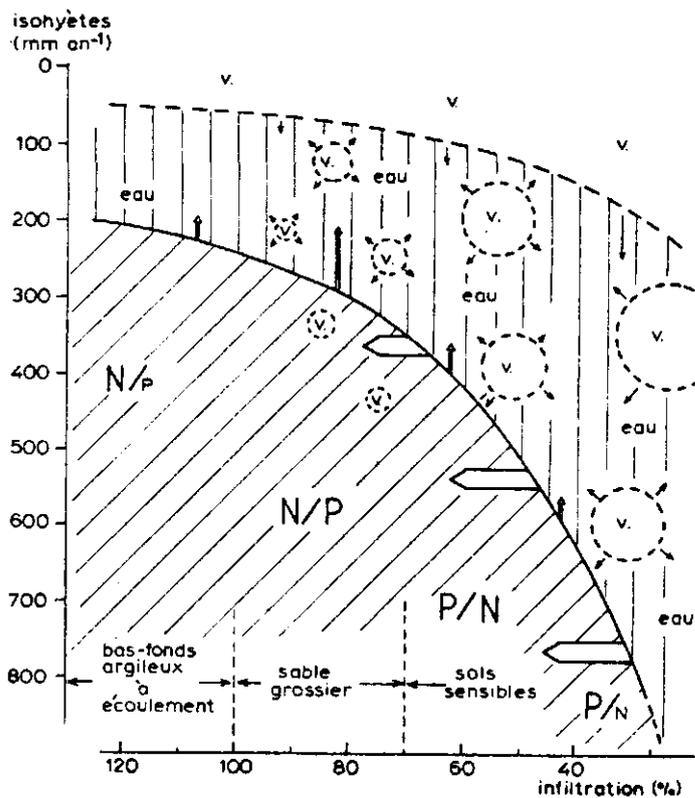


Fig. 1. The availability of water, determined by the mean annual rainfall and the degree of infiltration as a criterium for the factor dominating the present-day carrying capacity of the pastures, notably N, P, water or the vegetation (v.), with an indication of the changes forecasted (← physical degradation of the soil; → chemical exhaustion of the soil; ↓ destruction of the vegetation). See also the text for explanation.

* Afd. Landschapsoekologie en Natuurbeheer Rijksuniversiteit, Utrecht.

In the following examples, the carrying capacity of the soil-vegetation units is estimated at a utilization throughout the year, in order to have a simple tool to compare the units.

The first thing to do is to determine whether water-availability or nutrient-availability is limiting primary production (see fig. 1 = fig. 6.6.1. of final report P.P.S.).

The amount of water available to the plants depends on the structure of the soil, the average rainfall and the evaporation losses:

$$P(1 - R) = I \quad (1)$$

and

$$T = I - E \quad (2)$$

in which

P = the average annual rainfall (mm/year)

R = run-off (fraction of P)

I = infiltrated water (mm/year)

E = evaporated water (mm/year)

T = water available to the plants (mm/year)

(See for more details Stroosnijder and Snijders)

When I is less than 250 mm/year, water-availability is considered to be the limiting factor, while at I is more than 250 mm/year the nutrient-availability is limiting primary production (fig. 1). Of course, the separation between the first and the second case is not sharp-cut; there is supposed to be a transition-zone where increase of importance considering limitation of water is compatible with decrease of importance considering limitation of nutrients. Both situations are handled separately.

2. N u t r i e n t a v a i l a b i l i t y l i m i t i n g

N and/or P shortage determines mostly the primary production in the southern Sahel.

N shortage got the most accent in the final report of P.P.S. See for the argumentation P.P.S., 1982, 5.6, and see it also for a detailed description of the following formula, which describes the nitrogen balance of a pasture in case of an equilibrium.

$$f \cdot N_b = N_i \quad (3)$$

where

N_b = nitrogen in the above ground biomass (kg/ha)

f^b = yearly loss (fraction)

N_i = nitrogen input in one year (kg/ha/year)

Some more information be given about the yearly losses (see fig. 2; for details see P.P.S., 1982; chap. 9).

$$f = f_{tot} = f_b + f_f + f_r \quad (4)$$

f_{tot} = all losses (of nitrogen) together

f_b = losses caused by eating and trampling of cattle

f_f = losses caused by fire

f_r = other losses

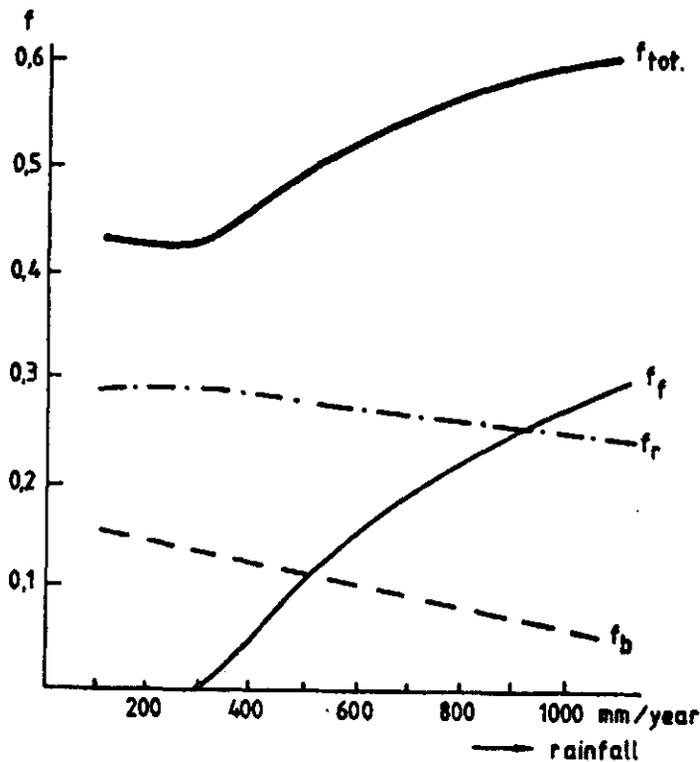


Fig. 2. The fractions of the nitrogen in the above ground biomass lost by different causes, in relation to the mean annual rainfall.

The different f values of fig. 2, are preliminary estimations. As far as f_b concerns, one has to know that the estimation is based on the hypothesis that the mean N content of consumed forage is 1% or more, even at the end of the dry season. In other words, the presented f_b can be used under the condition that maintenance of the herd is assured throughout the year.

If the northern Sahel is compared with the southern Sahel a difference in food quality - due to the extend of dilution of nitrogen by the plants - is observed. For a more detailed description of the phenomenon see fig. 3 (= fig. 8.1.2 P.P.S.) and P.P.S., 1982 par. 5.6. The percentage of good food declines (going North to South). In the North 0.3 of the biomass is still eatable in the dry season, while in the South only 0.1 is still eatable in the dry season.

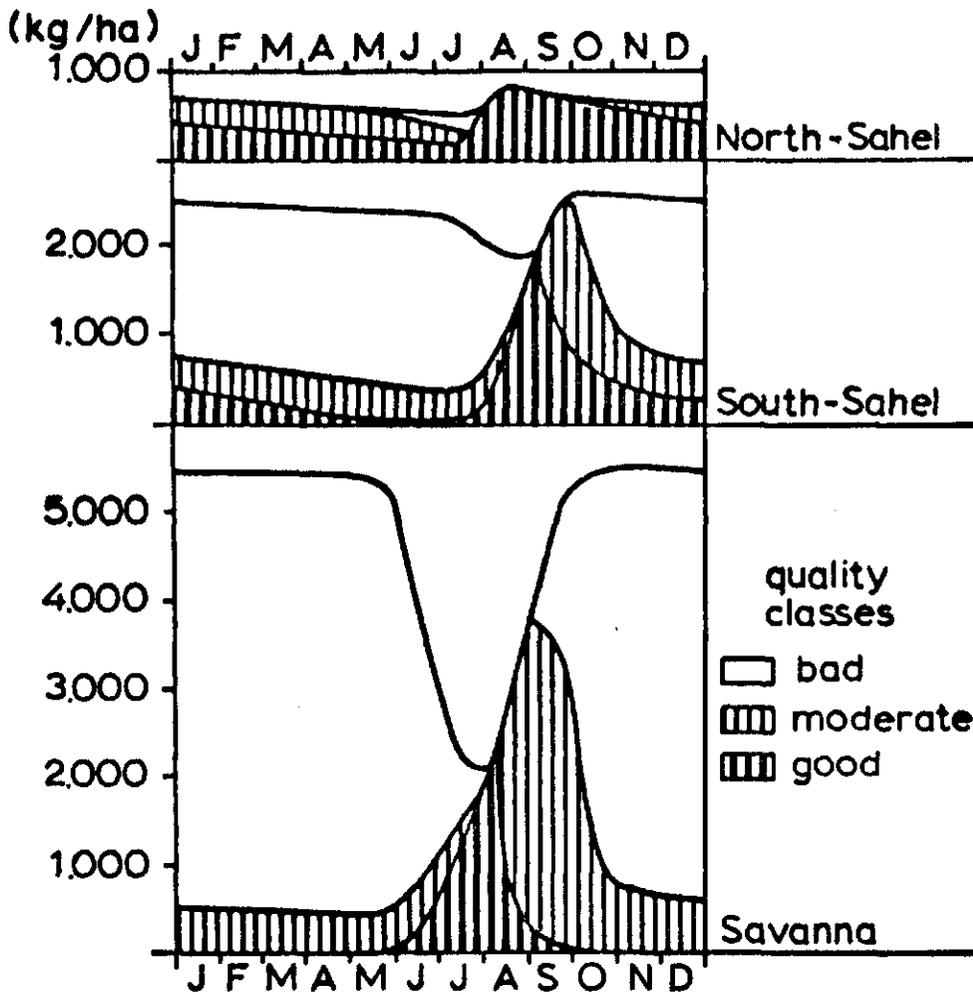


Fig. 3. The evaluation of the biomass, specified according to fodder quality, for 4 types of pastures, during a year with average rainfall.

If a number of assumptions is made (5% legumes etc., P.P.S., 1982, par. 5.6) the following formula can be obtained:

$$N_b = \frac{0.0083 \times P}{f - 0.13} \quad (5)$$

N_b , P and f are already defined before, but P needs to be specified now. P is the mean annual rainfall only as far as it is loaded with dissolved anorganic nitrogen. Recent data indicate that 80% of this nitrogen is present in the very first rain of a shower. In case of direct infiltration of water in the soil it does not matter whether the nitrogen falls in the first rain drops or later on. But in case of run-on or run-off water, this becomes important, because the very first rain of each shower has much more chance to be fixed where it falls than later drops. That is why we suppose that in case of run-off only 20% of the nitrogen in the rain will run off with run-off water. This means that in formula (1) the mean

annual rainfall of a certain landscape unit has to be corrected for the complete run-off (or run-on), while in formula (5) run-off (or run-on) counts only for 20%. In other words, for water availability run-off counts 100%, for nitrogen availability only 20%.

Example: depressions in an area with a loamy soil, with strong surface crust formation, at the 500 mm isohyet.

Suppose that the depressions occupy 35% of the area, so there will be run-off on 65%. The soils with run-off have a CS value of 0 and an S value of 1. This means that $R = 57\%$ (see Snijders, table 7a). The fraction of the above ground nitrogen (f) that is yearly lost as an average is about 0.45 at 500 mm (see fig. 2). The amount of water infiltrated in the depressions in a year of mean rainfall is:

$$I = P + \frac{0.65}{0.35} \times 0.57 \times P = 2.06 P$$

But for the estimation of N_b counts only 20% of the run-on, so in formula (5):

$$N_b = \frac{0.0083 (1 + 0.2 \times 1.06)P}{f - 0.13} = 15.7 \text{ kg/ha}$$

At 500 mm rainfall $f_b = 0.11$ (see fig. 2). Assumed is that only $\pm 5\%$ of the nitrogen intake of cattle is transformed in animal proteins (as a mean for one year of grazing; see P.P.S., 1982, chap. 9). The remainder, 95%, is excreted by the animals, but only half of it is lost from the ecosystem by volatilization. The other half is recycled in the ground (P.P.S., 1982 par. 5.6.3). This means that the real losses of grazing for the soil-vegetation units are

$$(0.05 + \frac{0.95}{2}) \times N_{\text{intake}} = f_b \cdot N_b$$

So

$$0.525 \times N_{\text{intake}} = 0.11 \times 15.7$$

or

$$N_{\text{intake}} = 3.29 \text{ kg/ha}$$

In words: cattle will eat at maximum 3.29 kg/ha of the nitrogen in the above ground biomass of the depressions. Diallo (1978) found a mean N content of 1.2% in the forage consumed by transhumance cattle throughout the year. This should mean that per ha per year $100 \times 3.29/1.2 = 274$ kg of dry matter can be consumed (N.B. for sedentary grazing, as assumed in this calculations, the value 1.2% may be wrong). Supposing that the daily need of a TLU is 6.25 kg of dry matter (Boudet, 1978), the carrying capacity of the unit will be $274 \times 365/6.25 = 0.12$ TLU/ha.

3. Water availability limiting

For the loamy plains with run-off in the under 2 treated example, the average amount of yearly infiltrated water $I = P(1 - R) = 500(1 - 0.57) = 215$ mm. This means that water is the main limiting factor for the primary production (I less than 250 mm, see fig. 1). To calculate the amount of water at maximum available for transpiration (so for growth) the evaporation has to be estimated, because $T = I - E$ (2). Detailed information is presented in P.P.S., 1982, par. 4.4; a simplified approach is used here*.

In the preceding paper Snijders describes the rainfall characteristics of the area: At a mean rainfall of 420.6 mm per year there are 19 showers of less than 10 mm, with a mean value of 4.3 mm. And there are 7.3 showers between 10 and 20 mm and 7.4 showers above 20 mm, with a mean value of respectively 14.8 and 31.3 mm each (table 7a).

We suppose that water that evaporates the first day from the soil surface can hardly be regarded as in potential available for plant growth. The evaporation is about 6 mm each first day after a shower. This means that 19 showers of 4.3 mm are lost, even without any run-off, at 420.6 mm of mean annual rainfall, plus $(7.3 + 7.4)6$ mm for the bigger showers. So the first day losses are

$$\frac{19 \times 4.3 + (7.3 + 7.4)6}{420.6} \times 100 = 40\%$$

of the rain that infiltrates on the spot! From the 215 mm that does not run off in the example here $0.4 \times 215 = 86$ mm will thus be lost through the first day of evaporation from the wet surface. The remaining amount of $215 - 86 = 129$ mm cannot be regarded to be available for plant growth, because Stroosnijder estimates that 25% falls before and 10% after the growing season. This means that at maximum $(100 - 25 - 10)\%$ of 129 is 84 mm being available for growth.

Data from P.P.S., 1982, par. 6.3 suggest that 1 mm of water can produce 10 kg/ha of dry matter under Sahelian conditions if water is the limiting factor on the natural pastures. This means that one can expect an average production of 840 kg/ha dry matter on the loamy plains under 500 mm of annual rainfall.

Fig. 2 indicates that f_b is 0.14 at 215 mm of rainfall. We suppose that this value can be used also if $I = 215$ mm by run-off of 57% of 500 mm of rainfall

$$N_{\text{intake}} = f_b \times N_b = \frac{0.14}{0.525} \times N_b = 0.27 \times N_b = 0.27 \times N_b$$

(see paragraph 2). We cannot use the formula (5) to calculate N_b , because N is not the limiting factor (P.P.S., 1982, par. 5.6). But we suppose that we do not make a big mistake if we suggest that not only a fraction of 0.27 of N_b will be used at maximum by the cattle, but also about the same fraction of the total biomass. For Diallo (1978) shows that the selectivity of the cattle becomes restricted as soon as the quality of available forage is high. And the fact that pasture production is determined by the water availability means that the quality is relatively high (P.P.S., 1982, par. 6.3). Thus the yearly consumption by cattle will be about

* a simple and standardized method will be worked out in the near future by Breman and van Keulen at CABO.

$0.27 \times 840 = 227 \text{ kg/ha}$, and the carrying capacity

$$\frac{227}{6.25 \times 365} = 0.10 \text{ TLU/ha.}$$

4. A mean value

In the examples treated under 2 and 3 there is no real loss of water out of the landscape unit. One could suggest to regard depressions and plains as a mosaic pattern of one single soil-vegetation unit, under 500 mm of mean annual rainfall, without run-off.

In that case

$$N_b = \frac{0.0083 \times 500}{0.45 - 0.13} = 12.97 \text{ kg/ha}$$
$$N_{\text{intake}} = \frac{0.11 \times 12.97}{0.525} = 2.72 \text{ kg/ha}$$

Dry matter intake is

$$\frac{2.72}{1.2} \times 100 = 226 \text{ kg/ha}$$

Carrying capacity is

$$\frac{226}{6.25 \times 365} = 0.10 \text{ TLU/ha}$$

The carrying capacity found in this way is less than that found as a weighed mean of the carrying capacity of the distinguished sub-units: $0.35 \times 0.12 + 0.65 \times 0.10 = 0.11 \text{ TLU/ha}$ (35% of the mosaic unit are depressions, and 65% are plains). In other words, the run-off phenomenon seems to increase the possibility of grazing under conditions that nutrients are the growth limiting factor for the pasture (see for more details and complications P.P.S., 1982, par. 6.6).

R e f e r e n c e s

- Boudet, G., 1978. Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères, Manuels et précis d'élevage no. 4, I.E.M.V.T., Min. de la Coop., Paris
- Diallo, A., 1978. Transhumance: comportement, nutrition et production d'un troupeau zébus de Diafarabé, Thèse, C.P.S., Bamako.
- Penning de Vries, F.W.T. et M.A. Djitèye Eds., 1982. La productivité des pâturages sahéliens, une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle, Pudoc, Wageningen.

GENERALIZATION OF VEGETATION SURVEYS ANY GIVEN YEAR

H. Breman & A. v. Engelen*

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

Vegetation surveys traditionally are one of the main bases of pasture evaluation. Especially biomass measurements and analyses get a different function in the proposed P.P.S. approach (see chap. 7, final report); they become a tool to verify the results of estimations as presented by Soeters (P.P.S., 1982, par. 7.4.2). Their year to year variations are too extreme to base pasture evaluation directly on, if there is only a single year of field work (often in preparing landuse planning).

But also when biomass observations are only used for verification, the same problem of yearly variation will be met. So the question arises how to generalize surveys of any given year to make them comparable with a "normal year" (P50%, see Snijders) or with a "dry year" (P10%).

2. N i t r o g e n d e t e r m i n e d g r o w t h

At a given availability of N for growth, the biomass of rangeland at the end of the growing season can still be very different under the influence of rainfall pattern, vegetation composition and so on. However, the mechanism behind the dynamics concerned is rather well understood (P.P.S., 1982, par. 4.3 and chap. 6, Breman et al., 1980). So with N limited growth, it will be much more useful to determine the N harvest than the total biomass to verify pasture evaluation.

Consequently the question is how to generalize data of total nitrogen in the above ground biomass of any given year. In the ideal case the generalization or standard has to be such that one and the same amount of available N can be found for a standard situation, out of observations from any given year. The answer has to be independent of, for example, rainfall, grazing intensity, botanical composition, and so on, of the year in which the fieldwork was done.

The aim of standardization is verification of the theoretical pasture evaluation. Therefore an average year, as far as rainfall is concerned, is considered to be a standard year, and legumes contribute to the total biomass for 5%. As such, a direct comparison is possible with the results of formula (5) (Soeters; P.P.S., 1982, par. 5.6).

3. S t a n d a r d i z a t i o n

To estimate the average maximum amount of N in the above ground biomass formula (5) can be used:

$$N_b = \frac{0.0083 \times P}{f - 0.13}$$

*Universit  Agronomique, D p. Elevage Tropical, "Zodiac", Marijkeweg 10, Wageningen

Estimates have to be made of rainfall, run-off, and of the variables summarized by f , grazing and fire intensity and other causes of N losses (Snijders and Soeters). This has to be done for a normal year, and for the year in which the field observations have been made.

N_b :

Measurements in principle to be made at the end of flowering, to prevent losses (P.P.S., 1982, par. 5.2.5). If the measurements cannot be realized at the right time, a rough correction can be made by using fig. 1: If rainfall is 75 mm or more between the 1st of September and the date of observation and if the dry matter content of the vegetation is already 50% or more at the observation, the measured N_b has to be increased with the amount indicated by the difference of the 2 graphs at the average amount of infiltrated rainwater of the spot in question.

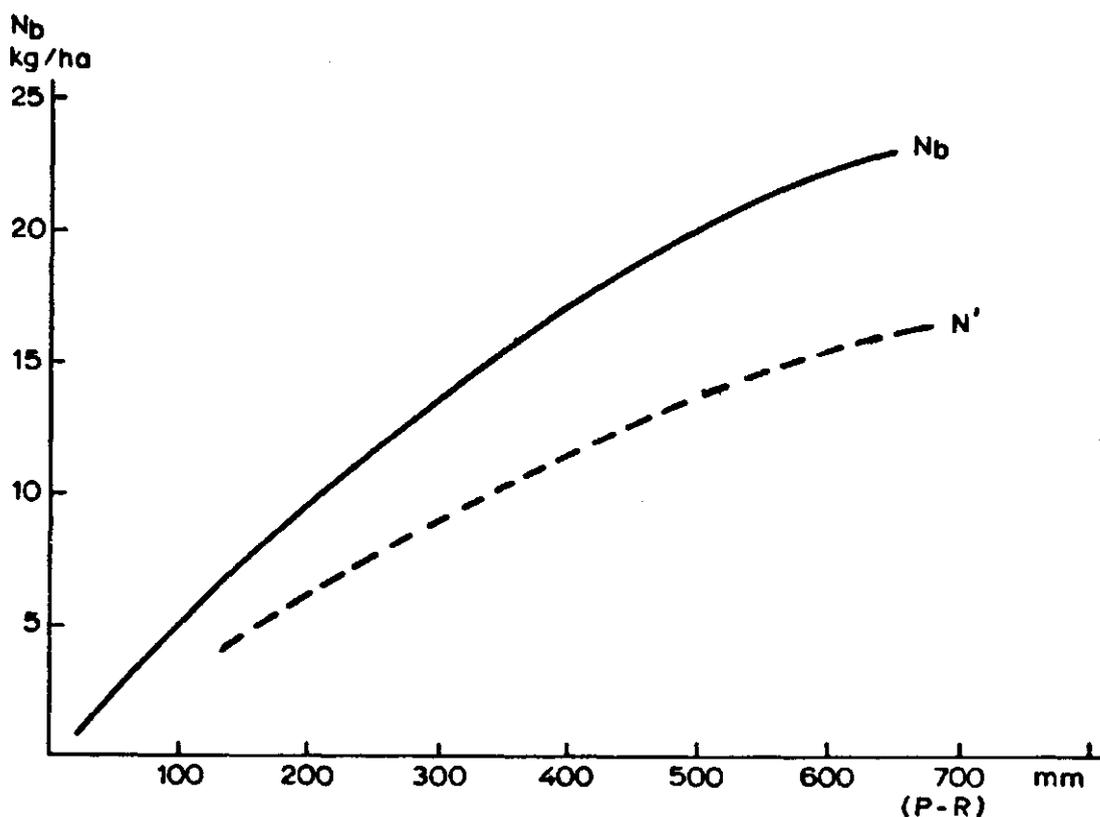


Fig. 1. The harvest of nitrogen (N_b) in relation to the water infiltrated in the soil, as observed during 3 years of measurements on a North to South section of the Sahel, with a distinction of cases without and with important N losses (N_b and N' respectively).

Rainfall:

Soeters explained already how for the theoretical estimation of N_b the mean rainfall has to be corrected for run-off. There are two reasons to

correct the observed N_b for the actual rainfall of the year, in which the fieldwork was done, even with N limiting growth, as discussed here.

Part of the available N enters the ecosystem directly with the rain, in a form easy to absorb by the plants. Each 100 mm of difference with the average annual rainfall means 0.65 kg/ha of difference in this form of N (P.P.S., 1982, par. 5.3). This will mean about 0.6×0.65 kg/ha difference in N_b per 100 mm, considering the effectiveness of absorption of mineral N (P.P.S., 1982, par. 5.2.9).

The amount and the pattern of rainfall in a certain year determines the depth and the duration to which the soil will be humid. As such, it determines where and how long N-mineralization takes place. This will be worked out in detail soon (see also par. 5). As a preliminary estimate it is supposed that a difference of 100 mm of rainfall means a difference of 4.5 kg in N_b as an average (P.P.S., 1982, fig 6.3.3b and par. 6.3.4). Taking both necessary corrections together: N_b differs 5 kg/ha for each 100 mm of local rainfall variation.

Run-off:

The run-off in dry years will be less than in a normal year, in an absolute and in a relative sense. Table 7a of Snijders has to be used for the theoretical estimation of N_b . For a correction of the measured N_b , based on actual water availability, a choice has to be made between table 7a or 7b/7c.

N-losses:

The theoretical estimation of N_b with formula (5) is based on a supposed equilibrium between inputs and outputs of N, during a period of several years (P.P.S., 1982 par. 5.6). Therefore the losses of N by volatilization, fire, grazing, and so on, have to be estimated as average values over the last 10-20 years. Table 6.3.1 (P.P.S., 1982) may be useful, if field data are lacking. The measured N_b of any given year, will not be too much influenced by the N losses of that particular year. But heavy grazing during establishment or growth of the vegetation, requires correction of the measured N_b . Some small plots with protected growth will give, however, more satisfactory results.

N-fixation:

N-fixation by legumes is the most important process for N inputs (5.3, final report). The mean contribution of legumes to the biomass of pastures, which are not heavily disturbed is 5%. But the variations that occur from year to year are far from negligible (P.P.S., 1982, par. 6.2). This means that it is not enough to measure N_b in the field, but the contribution of legumes to biomass and to N_b also has to be measured or estimated. For standardization one has to estimate what N_b should have been if the contribution to the biomass should be 5%.

4. E x a m p l e

4.1 Site Description

"Site 5" is situated 20 km south of Nampala, on fixed dunes on the edge of the dead delta (almost flat offshoots of the dunes described under IIIa by Stroosnijder). The average annual rainfall is 470 mm. It has a soil

of loamy fine sand. The infiltration is supposed to be 100%. The community of Cenchrus biflorus (P.P.S., 1982, table 6.4.6). dominates the herb layer, the woody species are strongly dominated by Combretum glutinosum, but their cover is not more than 1%. Fire seems to be rather frequent f_f is supposed to be 0.2. The fraction of N_b lost by grazing, f_g , will be about 0.15 and the other losses are responsible for an f_r of 0.25, So $f_{tot} = 0.6$.

4.2 Theoretical N_b :

$$N_b = \frac{0.0083 \times P}{f - 0.13} = \frac{0.0083 \times 470}{0.6 - 0.13} = 8.3 \text{ kg/ha}$$

4.3 Field Observations

Table 1 presents results of 3 years of observation.

Year	rainfall mm	biomass t/ha	legumes %	N_b kg/ha	Dominant annuals, in order of importance
1976	350	1.92	19	18	<u>Aristida mutabilis</u> , <u>Eragrostis tremula</u> , <u>Cenchrus biflorus</u>
1977	200	0.91	14	8	<u>Eragrostis tremula</u> , <u>Cenchrus biflorus</u> , <u>Aristida mutabilis</u>
1978	400	1.94	25	24	<u>Cenchrus biflorus</u> , <u>Borreria radiata</u> , <u>Eragrostis tremula</u>

Table 1. Some vegetation characteristics and the total rainfall of 3 successive years on "site 5".

4.4 Standardization

Corrections for N losses after flowering:

The dry matter content of the vegetation was 40, 47 and 37% at the observation, so less than 50%. Consequently no corrections are necessary for these losses (N_b measurements were done before it dropped too much; P.P.S., 1982, par. 5.2.5).

Corrections for rainfall:

N_b differs 5 kg/ha for each 100 mm of local rainfall variation. In 1976 the rainfall was 350 mm, so 120 mm less than the normal 470. The measured N_b has to be increased with $1.2 \times 5 = 6$ kg/ha $\rightarrow N_b$ is 24 kg/ha for 1976. For 1977 and 1978 the corrected value is 21.5 and 28.5 kg/ha, respectively.

Corrections for legumes:

The contribution of legumes to N_b was 7.9, 1.0 and 10.6 kg/ha in the three years. When 75% of this N is fixed during growth (high contribution of legumes probably incidental: P.P.S., 1982, par. 6.2), the fixation by legumes was 5.9, 0.7 and 7.9 kg/ha in the successive years. The fixation in a standard year should have been 0.8 kg/ha ($N_b = 8.3$ kg/ha; supposing that a complete dilution occurs during growth by a vegetation of grasses with 5% legumes. Then, grasses will have a content of 0.5%, legumes of 1.5%. The

biomass will be 1510 kg/ha, the contribution of legumes to N_b 1.13 kg/ha, and the fixation $0.75 \times 1.13 = 0.8$ kg/ha). Consequently the correction of N_b will be - 5.1, + 0.1 and - 7.1. Thus N_b after complete standardization is 19, 22 and 21 kg/ha.

4.5 Theory And Practice

At least the elaborated example shows that the proposed standardization results in the "same" answer as obtained from observations of different years*. Instead of having to estimate the value of a pasture on the basis of an annual biomass production of 0.9 or 1.9 t/ha, or on the basis of an N_b of 8 or 24 kg/ha (the extreme values during the given years, see table 1), conclusions can be based on an estimated N_b of 19 to 22 kg/ha for a normal year.

This "measured" value is 2.5 times higher than the calculated 8.3 kg/ha (4.2), which means an overestimation of f_{tot} or higher soil fertility than the one for which formula (5) was established (P.P.S., 1982, par. 7.4.2). In view of fig. 6.3.6a (P.P.S., 1982) and taking into account the values of 0.09, 0.08 and 0.13 for the P content of the biomass, and of 0.10, 0.09 and 0.10 for P/N in the three successive years at the end of the growing season, there is a slight indication of soil enrichment. So perhaps the observed high contribution of legumes was not incidental.

For a definite conclusion the value of f_{tot} has to be reconsidered in practice. If it should be 0.325 instead of 0.6, because of an overestimation of fire frequency, grazing intensity or other processes causing losses of N, a value of $N_b = 20$ kg/ha is possible on soils with "normal" fertility for the area.

5. Mineralization

The most important correction for standardization was that for rainfall (see 4.4). Unfortunately, the correction is only empiric and far from precise. The relation between rainfall and N_b , when growth is limited by N, is determined by the mineralization of the organic matter in the soil when this is humid.

The possibility is studied of predicting the importance of mineralization from the organic matter content of the soil, its distribution and C/N ratio, and the depth and duration that the soil is humid. An indication that the empiric relation between N_b and rainfall is understood and better quantified, will be a good correlation between N_b (corrected except for rainfall) and the depth and duration that the soil is humid. Only two examples have been worked out completely until now, both sites with loamy fine sand and with the "same" total annual rainfall, but with differences in distribution.

The results are good enough to justify the analyses of the other 38 sites.

* The method will be tested on all available observations, 40 sites with 2-4 years of measurements.

Year	Site 5				Site 16		
	rainfall mm	N _b corr. kg/ha	soil humid		N _b corr. kg/ha	soil humid	
			depth cm	duration days		depth cm	duration days
1976	350	13	29	57	20	26	65
1977	200	8.5	16	49	8	15	34
1978	400	16.5	37	86	27	39	93
1979	300				9	14	37

Table 2. The relation between depth and duration that the soil is humid, as determined by rainfall and its distribution, and the value of N_b, standardized but without corrections for rainfall, for two sites on fixed dunes at the 470 mm isohyet (NB the dynamics of site 16 are described in Breman et al., 1980).

The method that will be used is based on those of Harpaz (1975). However, a preliminary estimation can be made by a graph based on table 2. It indicates also a value of N_b for site 5 for a standard year of about 20 kg/ha, as the estimation of 4.4. For site 16 the value will be 30 to 35 kg/ha. But fire frequency and grazing intensity are much less than for site 5.

R e f e r e n c e s

- Breman, H., A.M. Cissé, M.A. Djitèye and W.Th. Elberse. Pasture dynamics and forage availability in the Sahel. Israel Journal of Botany. Vol. 28, 1979, 1979/1980, pp. 227-251.
- Harpaz, Y. Simulation of the nitrogen balance in semi-arid regions. Thesis at the Hebrew University, Jerusalem, 1975.
- Penning de Vries, F.W.T. et M.A. Djitèye Eds., 1982. La productivité des pâturages sahéliens, une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle, Pudoc, Wageningen.

METHODE D'EVALUATION DU POTENTIEL FOURRAGER DES PARCOURS SAHELIENS PROPOSES PAR LES CHERCHEURS DU C.I.P.E.A.

P. Hiernaux*

1. R e c h e r c h e s d u C . I . P . E . A .

La présentation des recherches du C.I.P.E.A. est rendue nécessaire par la participation aux réunions de chercheurs n'ayant pas eu de contact avec notre projet. En résumé:

- Un projet de recherche pluridisciplinaire sur les systèmes de production animale en zone aride et semi-aride.
- Recherches axées sur une application au développement (contrat ODEM-CIPEA).
- Première synthèse après cinq années d'étude: le rapport pour la revue quinquennale.
- Polarisation sur deux "systèmes": le système pastoral (transhumant du delta), le système agropastoral (culture du mil sud sahélien).
- Enumération des principaux volets de l'étude: socio-économie, zootechnie-vétérinaire, nutrition animale, agronomie, écologie: programmes, résultats...

2. P â t u r a g e s n a t u r e l s

Présentation des travaux du C.I.P.E.A.- Mali, en résumé:

- Deux domaines écologiques: pâturages du delta intérieur, parcours sahéliens (développements uniquement sur ce cas).

Une démarche similaire:

- Description et analyse de la végétation et de son écologie qui conduit à une cartographie.
- Mesures, expérimentations sur la production primaire, l'effet de la pâture, qui conduisent à des propositions de gestions des parcours.
- L'étude phytoécologique. Méthodologie: relevés, traitement statistique des données, résultat: classification des formations végétales sur une base écologique → cartographie.
- Mesures de production, effet de l'exploitation pastorale. Mesures de production sur les herbacées et les ligneux: fluctuations saisonnières et interannuelles.

Effets de l'exploitation, distinguer: effet à court terme sur la production, effet à moyen et long terme sur la végétation et le milieu. Résultats obtenus au ranch.

Conclusion: nécessité d'une expression saisonnière de la capacité de charge qui tient compte du mode de gestion.

* C.I.P.E.A., B.P. 60, Bamako, Rép. du Mali.

3. Capacité de charge d'un parcours sahélien

Clarification du concept: deux notions sont associées dans la définition donnée par G. Boudet et citée en référence par H. Breman: "La capacité de charge d'un pâturage est la quantité de bétail que peut supporter le pâturage sans se détériorer, le bétail devant rester en bon état d'entretien voire prendre du poids et produire du lait".

L'optique écologique, au début de la phrase; seuil d'exploitation au-delà duquel la végétation, voire le milieu se dégraderaient.

L'optique zootechnique, à la fin de la phrase: seuil maximal d'exploitation permettant d'atteindre un niveau choisi de performances zootechniques à partir d'un pâturage donné.

Les deux optiques ne sont pas forcément liées ni solubles conjointement. L'une comme l'autre doivent être évaluées saison par saison et dans un système d'élevage précisé.

3.1 Optique Ecologique

Il faut distinguer: ligneux//tapis herbacé
saison de croissance//saison de repos.

Pour les ligneux il est souvent nécessaire de considérer séparément chaque espèce. Généralement le broutage direct est sans risques par contre il faut contrôler les tailles. Les mesures à prendre sont surtout qualitatives: effectuer les tailles de préférence en fin de croissance, sur des branches les plus fines possibles, procéder à des tailles partielles du houppier.

Pour les herbacées les risques sont restreints une fois la fructification passée par contre une pression pastorale permanente en cours de croissance peut interrompre la croissance, empêcher la fructification et remettre ainsi en cause les chances de développement de ces espèces annuelles pour les années à venir, en premier lieu celles des espèces les plus recherchées du bétail. Il est possible de remédier à ces inconvénients en pratiquant de fortes charges instantanées appliquées une fois au cours de la croissance de l'herbe sur une durée la plus restreinte possible. En jouant sur les décallages interspécifiques il est ainsi possible de n'affecter ni la qualité des fourrages offerts en pâture ni leur potentiel de reproduction pour une même charge moyenne. Un avantage secondaire de cette technique de pâturage fractionné est de minimiser le manque à gagner dans la production du à la pâture. En effet, la reprise de croissance après une coupe décroît avec la progression du développement mais s'annule très vite lorsqu'il y a "fauche" répétée ce qui se produit lorsque le séjour du bétail se prolonge en un lieu même avec une charge relativement faible (aires préférentielles de pâture).

Par ailleurs les parcours couvrant des sols sensibles au piétinement, de textures limoneuses, limono-argileux ou à pente forte doivent être mis en défens au cours des pluies.

Dans les conditions de pâture indiquées ci-dessus la charge maximale moyenne au cours de la saison de croissance est évaluée par la formule:

$$C_{s.c.} = \frac{X(Bh \times a \times c) + B(B_1 \times b)}{I_q \times N}$$

Avec

- I : Ingestion quotidienne par unité de bétail (kg MS/UBT/j).
 N^q : Durée de la saison de croissance en jours.
X : Fraction des herbacées dans la ration (fonction de la nature du bétail, de la conduite du troupeau, saison).
Bh : Biomasse herbacée (kg MS/ha). Pendant la période de croissance régulière cette biomasse s'accroît linéairement avec une vitesse ΔBh comprise entre 15 et 45 kg MS/ha/j en fonction de la flore, de la densité des germinations et de la fertilité du sol.
a : Coefficient d'exploitation maximal du tapis herbacé. Il dépend surtout du bétail et de la saison.
c : Coefficient d'efficacité de la pâture. Il dépend lui aussi du bétail et de la saison, ainsi que de la biomasse et de la flore. C'est déterminé par le rapport entre la quantité réellement ingérées et la consommation apparente mesurée en champs.
B : Fraction des ligneux dans la ration: $B = 1 - X$.
 B_1 : Biomasse fourragère des ligneux. Est fonction de la formation végétale et de la saison.
b : Coefficient d'efficacité de la pâture des ligneux. Fonction de la nature du bétail mais aussi de la flore et structure des ligneux et des pratiques de mise à disposition (emmondages).

Exemple de calcul: saison de croissance

Dans le cas d'une formation végétale sud sahélienne (60 jours de croissance) à Schoenefeldia gracilis et Sclerocarya birrea (Code S de la carte des parcours) et d'un troupeau de bovins conduit suivant les indications données ci-avant.

$$I = 6 \text{ kg MS/UBT/j}$$

$$N^q = 60$$

$$X = 1$$

$$a = 0,8$$

$$c = 0,5$$

$$Bh = \frac{\Delta Bh \times N}{2}$$

D'où

$$C_{s.c.} = \frac{Bh \times 0,8 \times 0,5}{2 \times 6} = \frac{Bh}{30}$$

Pour une année à pluviométrie moyenne (500 mm) et distribution des pluies telle que les graminées à germination rapide Schoenefeldia gracilis, Cenchrus biflorus et Brachiaria xantholeuca dominent le tapis herbacé.

$$\Delta Bh = 27 \text{ kg MS/ha/j}$$

$$Bh = 27 \times 60 = 1620 \text{ kg MS/ha}$$

$$C_{s.c.} = \frac{27}{30} = 0,9 \text{ UBT/ha/60 jours.}$$

Pour la saison sèche il faudra tenir compte de l'utilisation éventuelle au cours de la saison de croissance précédente. La capacité de charge peut s'écrire:

$$C_{s.c.} = \frac{X(Bh \times \mu \times a \times c) + B(B_1 \times b)}{I_q \times N}$$

μ est un coefficient qui permet de tenir compte de l'exploitation précédente $\mu = 1$ s'il n'y a pas d'exploitation. B_h , la biomasse des pailles dépendra de la biomasse en fin de saison de croissance (BH) et du taux de dégradation naturelle: $B_h = BH (1-\gamma)$. Ce taux évolue au cours de la saison sèche, il est fonction de la flore herbacée et des aléas climatiques.

Exemple de calcul: saison sèche

Dans le cas du même parcours que précédemment et si ce dernier a été exploité tel qu'indiqué les paramètres de la formule prennent les valeurs suivantes:

$X = 0,9$
 $B = 0,1$
 $\mu = 0,7$
 $a = 0,8$
 $c = 0,6$
 $b = 0,2$
 $I = 7 \text{ kg MS/UBT/j}$
 $N^q = 305$

$$B_h = BH \times (1 - \gamma) = 1620 \times 0,63 = 1020 \text{ kg MS/ha}$$

γ est calculé à partir des taux de dégradation mensuels de la biomasse herbacée qui sont: 15% en Octobre et Mai, 5% de Novembre à Mars, 10% en Avril et 25% en Juin et Juillet. B_1 varie selon les mois pour chaque formation; en moyenne pour la Sclerocarya cela représente 81,5 kg MS/ha.

$$C_{s.s.} = \frac{0,9(1020 \times 0,7 \times 0,6 \times 0,8) + 0,1(81,5 \times 0,2)}{7 \times 305}$$
$$= \frac{308,5 \times 1,6}{7 \times 305} = 0,145 \text{ UBT/ha/10 mois (soit 6,88 ha/UBT)}$$

Exemple de calcul: toute l'année

Globalement au cours de l'année la capacité de charge maximale est donc:

$$C_{annuelle} = \frac{0,9 \times 2 + 0,145 \times 10}{12} = 0,27 \text{ UBT/ha}$$

soit environ 3,7 ha/UBT/an à condition que la charge instantanée en saison des pluies soit trente fois plus élevée qu'en saison sèche!

Le calcul effectué pour le même parcours non exploité en saison des pluies donne une capacité de charge annuelle $C_{ann.} = 0,207$, soit 4,8 ha/UBT/an.

3.2 Optique Zootechnique

Si les calculs des capacités de charge, optique écologique, tiennent compte du type de bétail et du mode de conduite des troupeaux par divers indices relatifs à la composition de la ration, l'efficacité du broutage, le seuil maximal d'exploitation et les quantités ingérées, ils ne se réfèrent à aucun niveau de performance de la production animale. Ceux-ci seront déterminés, dans les limites des aptitudes génétiques du bétail

considéré par le rapport entre la disponibilité et la qualité (tout particulièrement protéique) des fourrages.

La conduite des troupeaux au pâturage vise précisément à optimiser ce rapport en regard du travail requis (distances à parcourir, énergie et temps de pâture ramenés à l'ingestion). Cela forme une équation complexe à cause des multiples compensations possibles mais surtout éminemment variable d'une saison, d'une année, et d'un lieu à l'autre. Les "bons" et les "mauvais" éleveurs se révéleront dans les choix effectués pour sa résolution (dans un système de production donnée, la personnalité de l'éleveur est très significative dans l'analyse des performances animales).

Le problème se complique du fait que les objectifs de production évoluent d'une saison à l'autre et qu'ils sont pensés globalement au niveau du troupeau. Il se peut qu'ainsi une perte de poids des animaux en fin de saison sèche soit acceptée et que, dans une situation où une baisse de la charge devrait améliorer la production individuelle des animaux elle ne soit pas recherchée parce qu'elle entraînerait néanmoins une régression de la production globale du troupeau.

Jusqu'ici nous n'avons pas tenté d'établir une méthode de calculs détaillés de la production secondaire en fonction du disponible fourrager. Cependant M.S. Dicko a procédé à l'analyse de nombreuses variables de nutrition en relation avec l'évolution pondérale, la production laitière, l'énergie dépensée pour des zébus et des chèvres d'un système semi-sédentaire du sud Sahel. Elle donne, par exemple, les rapports entre le taux d'azote ou la digestibilité des rations et l'ingestion, ainsi que les rapports entre temps de pâture et ingestion.... Par ailleurs P. Konandreas (ILCA-Addis Abeba) a établi un modèle de la production secondaire sur des bases théoriques (besoins nutritifs, dépenses énergétiques) qu'il est en train de vérifier avec les données de production animale de nutrition et de disponible fourrager recueillis dans les différents systèmes étudiés.

DISCUSSION

H. Breman

1. Introduction

Ce qui suit ne prétend pas de présenter un compte-rendu complet et détaillé des discussions faites. Quelques problèmes saillants sont traités brièvement, pour stimuler une continuation de l'échange d'idées concernant. Le rédacteur a pris l'initiative dans ce sens en écrivant une nouvelle version de sa communication "La signification de la charge maximale pour des systèmes d'élevage", en tenant compte des discussions.

2. But d'évaluation

Les différences entre les 2 approches présentées, celle du CIPEA et du projet PPS, ne sont pas seulement une question de méthodologie. Il y a aussi une divergence partielle des visions concernant le but d'évaluation et de cartographie, quoiqu'il s'agit surtout d'un accent différent:

- a. Des cartes détaillées sont indispensables pour les contacts avec les éleveurs. Ils savent parfaitement quand la disponibilité et la qualité de fourrage suffit ou non, et nous sommes encore loins de pouvoir indiquer la même chose. Il faut donc éviter de perdre des renseignements potentiellement utiles, par le choix d'une échelle non-adéquate, et on ne fait pas facilement trop d'observations (dans l'espace et dans le temps). En conséquence il est relativement difficile d'extrapoler des résultats obtenus.
- b. Pour connaître les potentialités des zones en comparaison avec l'utilisation actuelle, pour la planification du développement rural et pour la gestion des pâturages, il faut savoir quelles catégories de terrain sont à distinguer et il faut décrire leurs valeurs respectives. La description sera généralisante et risque de masquer des nuances locales.

3. Paysages distingués

Attention, la distinction de paysages sur la base des critères comme topographie, disponibilité d'eau, physionomie de la végétation, etcétera n'est qu'un moyen humain artificiel. Chaque espèce animale aura "sa propre distinction" de catégories de terrain. Une certaine compréhension d'une telle distinction animale est indispensable pour préparer des plans de gestion des pâturages et des troupeaux à partir des cartes.

4. Disponibilité d'eau

La suggestion (Stroosnijder) que des photos aériennes informent sur la texture et sur des pentes, même légères, est contestée. Stroosnijder précise qu'il s'agit d'une interprétation sur la base des indications indirectes, comme la physionomie de la végétation (rapport final, par.

6.4.4). Et une telle interprétation n'est possible qu'avec une bonne connaissance du terrain.

La question est posée si la disponibilité d'eau, comme estimée par Stroosnijder et Snijders, n'est pas influencée par ce qui se passe avec la biomasse aérienne en saison sèche. Ceci est certainement le cas, la disparition de la paille par feu ou exploitation cause une diminution de la disponibilité d'eau en hivernage. Il faut distinguer entre l'effet limité par l'augmentation du ruissellement des premières pluies et l'effet plus sérieux à long terme par la dégradation de la structure du sol (rapport final, 6.6.4.1).

5. D i s p o n i b i l i t é d ' a z o t e

Il a été signalé, et pour cause, que le P.P.S. néglige avec sa formule pour estimer la disponibilité d'azote (Soeters), les pertes d'azote par érosion. Il est cependant possible de tenir compte de telles pertes si on arrive à les quantifier pour une zone donnée. Un exemple utile est la manière de tenir compte des pertes d'azote par transport dans de la paille ou dans de la fumure (rapport final, 9.2.2.3).

On signale que les feux semblent fortement influencer la disponibilité d'azote. Il n'est que trop vrai, et pour cela P.P.S. a fait un effort de quantifier cette influence avec l'aide de la formule présentée par Soeters (rapport final, 6.5.4, 9.2.2.3 et 9.3.3). La biomasse produite annuellement à l'isohyète de 500 mm par exemple sera de l'ordre de 800 kg/ha si on brûle les pâturages année en année pour 100%, contre 1250 kg/ha si l'on arrive à faire brouter l'herbe à 100%.

On se demande si la conférence de Soeters ne contient pas un raisonnement circulaire: il calcule une capacité de charge avec l'aide d'une formule, dont une des variables est la fraction d'azote de la biomasse aérienne qui disparaît annuellement par l'exploitation (f_b).

En réalité Soeters ne fait que quantifier dans une unité connue (UBT/ha) la capacité de charge estimée par le projet comme: "fraction d'azote disponible qui est utilisable". En théorie cette fraction peut varier entre 0 et 100 (chap. 9, rapport final), et chaque valeur pourrait être rencontrée dans la pratique sur des superficies limitées pour une année donnée. Mais en moyenne l'intensité d'exploitation maximale sur plusieurs années des pâturages étendus dépendra surtout de l'importance du troupeau qu'on arrive à maintenir pendant la saison à l'offre de fourrage la plus basse. Donc la fraction d'azote utilisable ne dépassera pas la valeur déterminée par le rapport de la disponibilité d'azote (ou de protéines) pendant la saison la plus mauvaise et de la disponibilité de la meilleure saison (rapport final, 8.1). C'est une telle valeur qui a été utilisée par Soeters. Donc son raisonnement n'est pas circulaire. Il y a quand même un danger; car le rapport d'offre d'azote mentionné ci-dessus est partiellement déterminé par l'intensité d'exploitation, tandis que les estimations faites sont liées à l'intensité d'exploitation d'aujourd'hui.

Les jachères ont été un point de discussion. Comment est-il possible que leur fertilité augmente pendant les années de repos, après 3 à 5 ans de culture malgré du broutage, etcétéra. L'épuisement du sol par des cultures est plus élevé par 2 raisons principales:

a. Le labour fait que la disponibilité d'eau est relativement élevée, donc le sol est plus longtemps plus profondément humide, ce qui provoque une minéralisation plus importante. Les plantes cultivées, avec des cycles

de croissance relativement longs, absorberont donc plus d'azote que la végétation des pâturages. La dernière contiendra maximale 10 à 15 kg d'azote par hectare (au moment de la floraison) dans la situation actuelle. Un champ de mil, dont on espère de récolter 350 kg de grains contiendra plus de 20 kg d'azote:

- b. La récolte des grains signifie une perte de 7 kg d'azote dans l'exemple ci-dessus. La perte à partir des tiges varie entre 3 et 13 kg; la perte sera basse si on les fait pourrir sur le champ, elle sera maximale en emportant les tiges au village, tandis que l'exploitation sur place par le bétail signifiera une perte de 6 kg maximale.

La perte totale sera donc annuellement 10 à 20 kg d'azote par hectare, 2 à 4 fois l'apport naturel (rapport final, 5.3). Les cultures épuisent donc le stock d'azote du sol, notamment la fraction facilement minéralisable. Mais la perte d'azote des jachères, même fortement exploitées, sera dans le même ordre que l'apport d'azote annuel. Une reconstitution du stock total d'azote est possible quand la perte est un peu plus basse comme l'apport, une reconstitution du stock de la fraction facilement minéralisable seulement en cas d'une perte plus élevée.

Directement liée au précédent est la question d'utilité de la formule exploitée par Soeters, pour se prononcer de la disponibilité de fourrage d'une année quelconque. La formule décrit une situation d'équilibre, la moyenne générale d'une période longue (rapport final, 5.6). Ceci semble bien limiter sa praticabilité, mais il faut tenir compte des points suivants:

- la recherche du projet PPS a aidé de mieux comprendre la variation annuelle aux alentours de la moyenne (voir chap. 6 du rapport final, et la présentation de Van Engelen)
- la formule aide à indiquer comment la disponibilité d'azote changera si un équilibre est remplacé par un autre (par exemple exploitation plus intense)
- en pratique on peut se contenter de ne regarder qu'un quasi-équilibre qui s'établit dans un délai raisonnable, par l'existence d'une grande quantité d'azote, presque inerte, et d'une petite fraction d'azote qui réagit plus activement (voir la question concernant les jachères; pour plus de détails: rapport final, 5.6.3).

6. C o n s o m m a t i o n

Pour traduire une quantité d'azote à ingérer en fourrage consommé il faut une estimation du taux moyen d'azote du fourrage ingéré. Soeters a choisi la valeur de 1,2%, trouvée par Diallo (1978) pour un troupeau zébus de Diafarabé. Mais on est libre de choisir une valeur plus apte pour un système qu'on est en train d'étudier. Mme Dicko a observé 1,7% comme moyen annuel pour un troupeau sédentaire de Niono, tandis que les animaux des essais de charge d'Hiernaux (parcelles clôturées sur le ranch de la Station du Sahel à Niono) n'ont certainement pas pu obtenir une ration en dessus de 0,8-0,9% (ILCA, sous presse). Donc des valeurs bien différentes sont possibles. Mais une fois choisie une certaine valeur, on ne fixe pas seulement la charge possible mais on a des indications liées concernant la quantité de fourrage consommée journalièrement et des changements vraisemblables en poids vif.

La valeur du taux d'azote de la ration dépendra de la végétation et sa gestion (biomasse et qualité, structure de la biomasse et distribution de

biomasse aussi bien que de qualité, des feux on non; "browse") et de l'espèce animale et sa gestion (durée de pâture, "stocking rate" etcétera).

7. C a p a c i t é d e c h a r g e

Hiernaux (ce compte-rendu) souligne que deux notions sont associées dans la définition de la capacité de charge: l'option écologique et l'option zootechnique. L'option écologique est relativement facile à élaborer à partir des relevés botaniques, mais l'utilité est limitée aussi longtemps l'option zootechnique reste hors jeu. La complexité du rapport végétation-animal est telle qu'il est encore bien délicat de parler d'une capacité de charge en se référant à un certain niveau de performance de la production animale. En pratique il est pour cela même souvent dangereux de se prononcer de la capacité dans l'option écologique, car trop utiliseront les chiffres comme s'agirait-il des remèdes pour n'importe quel problème d'élevage.

Il sera clair que l'approche commentée du paragraphe précédent essaie de lancer un pont entre l'option écologique et l'option zootechnique. L'idée est encore plus élaborée dans la dernière présentation. L'animal y est central, la végétation ayant eu déjà une attention particulière dans le paragraphe 6.6.5 du rapport final. Il est à souligner que la réalité y est toujours bien simplifiée, pas en dernier lieu en choisissant l'azote très souvent comme facteur limitatif pour la production primaire aussi bien que pour la production animale. Le fait simple déjà que l'azote n'est pas abondant peut signifier que les animaux sont obligés de sélectionner tellement qu'ils n'arrivent pas à consommer leur ration. Mais il est aussi possible que la digestibilité du fourrage est si basse que l'énergie devient limitative dans certains cas (rapport final, 8.1.4).

Quoiqu'il soit, il semble assez bien possible d'élaborer l'option écologique de la capacité de charge et de comparer la potentialité des paysages de supporter une certaine exploitation définie et éventuellement bien artificielle: Soeters le fait en définissant l'exploitation comme une pâture de toute l'année avec une consommation journalière de 6,25 kg/UBT, avec 1,2% d'azote. Mais pour s'exprimer de la capacité de charge au point de vue zootechnique on sera obligé de regarder l'exploitation aussi comme variable et de tenir compte des systèmes d'élevage individuels.

8. R é f é r e n c e s

- Diallo, A., 1978. Transhumance: comportement, nutrition et production d'un troupeau zébus de Diafarabé. Thèse. Centre Pédagogique Supérieure, Bamako.
- ILCA, sous presse. ILCA systems study 5. Systems research in the arid zones of Mali, initial results.

SIGNIFICATION DE LA CAPACITE DE CHARGE THEORIQUE POUR LA PRATIQUE DE L'ELEVAGE

H. Breman

1. Introduction

Hiernaux a mis le doigt dans sa présentation sur une faiblesse des méthodes d'évaluation des pâturages dont l'homme dispose: il est relativement bien possible de faire des estimations concernant la production végétale, mais il est difficile d'y en tirer des conclusions concernant la production animale. En autres mots, l'option écologique de la notion capacité de charge est plus élaborée que l'option zootechnique. La cause est certainement partiellement liée au fait que ce sont surtout des botanistes et des écologistes qui s'intéressent des questions de la gestion des ressources naturelles.

La suggestion "ce qu'est bien pour le maintien de la végétation est bien pour l'éleveur" peut être vraie à long terme. Mais elle ne suffit pas pour convaincre des éleveurs d'accepter une certaine gestion des pâturages qui a comme conséquence une diminution des recettes à court terme. Pour planifier des programmes de développement rural et pour réaliser des plans de gestion des pâturages, il serait bien de pouvoir indiquer la production animale possible en rapport avec l'intensité d'exploitation ("stocking rate"). Armé d'une telle connaissance on sera un bon partenaire de discussion pour les éleveurs.

Une solution seraient des essais de charge, mais tels essais sont couteux et les réponses auront une validité limitée. Un cadre sera présenté ici pour un essai d'approche à des réponses plus générales, en se basant sur l'analyse de la liaison entre le pâturage et la production animale. Les graphiques présentés ont pour une bonne partie pas encore d'axes avec des unités quantifiées. Par une étude de la littérature nous sommes en train au CABO de chercher les données nécessaires et de découvrir les expériences complémentaires obligatoires.

2. Optique écologique

Soeters (ce compte-rendu) a présenté la capacité de charge des pâturages sahéliens suivant l'approche PPS, sans se prononcer du "seuil d'exploitation au delà duquel le milieu se dégraderait", un péché suivant l'optique écologique (Hiernaux). Ou mieux, un péché partiel, car il se base sur le bilan d'azote en équilibre, pour un milieu dans lequel l'azote détermine souvent la production (\approx le couvert) végétale. Mais le facteur limitatif peut être remplacé par un autre sous l'influence d'exploitation (rapport final, 6.6.5.2). Le phénomène le plus important semble la dégradation physique du sol (6.6.4.1). Nous verrons ici si la charge, estimée nécessaire par Soeters pour faire profiter maximale le bétail de l'azote disponible annuellement, est telle que la dégradation du sol est vraisemblable.

Sur les sols les plus sensibles pour le déclin de la structure il faut une biomasse de 2000 kg/ha pour protéger la surface (6.6.4.1, rapport final). Le taux d'azote à la floraison sera de l'ordre de 0,8% en moyen à l'isohyète de 500 mm (celle de l'exemple de Soeters). Donc il faut une

biomasse équivalente à une valeur de N_b de $2000 \times 0,8 \times 0,01 = 16 \text{ kg/ha}$ pour protéger les sols les plus sensibles. Cela signifie suivant la fig. 1 que tels sols ne supportent qu'une exploitation à une valeur de f ^{total} en dessous de 0,4. Mais en réalité f ^{total} de la zone est estimé d'être 0,45, y compris une f_b de 0,11 (fig. 2 de Soeters). Les unités de paysage, traitées sous 3 par Soeters, doivent être donc en dégradation si l'estimation de f ^{total} est plus ou moins juste. L'apparence de par exemple des brousses tigrées de la zone en est une confirmation. Pourtant la conclusion que chaque exploitation y est néfaste pourrait être prématurée, car la valeur de f ^{total} de 0,45 est une moyenne pour l'isohyète de 500 mm. Mais la moyenne enveloppe entre autre une valeur de f_{feu} de 0,1, ce qui sera fortement surestimée, car les végétations mosaïques ne brûlent pas à cette latitude (6.5, rapport final).

La majorité des sols de la zone est sableuse. La mobilisation par le vent y pourrait être une menace (6.6.4.1, rapport final). Une biomasse moyenne au début de la saison sèche de 300 à 400 kg/ha semble protéger déjà le sol contre l'action du vent (6.6.4.1, rapport final). Cela signifie qu'une valeur de N_b de $350 \times 0,8 \times 0,01 \approx 3 \text{ kg/ha}$ suffit. La fig. 1 montre que N_b est encore en dessus de cette valeur même si f ^{total} = 1. Donc l'érosion du vent ne sera pas un problème pour les pâturages sur sable de la zone, sous la condition que N_1 ne baisse pas (fig. 6.6.2, rapport final).

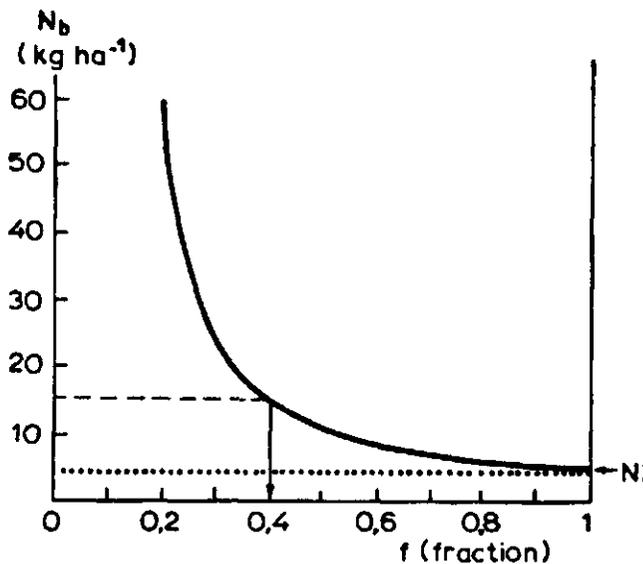


Fig. 1. La relation entre la quantité de N dans la biomasse aérienne en floraison (N_b) et la fraction (f) de ce N qui se perd annuellement, avec les niveaux minimaux de N_b pour protéger le sol contre le déclin de la structure (----) et la mobilisation par le vent (.....), à un apport annuel d'azote (N_1) de 5 kg/ha.

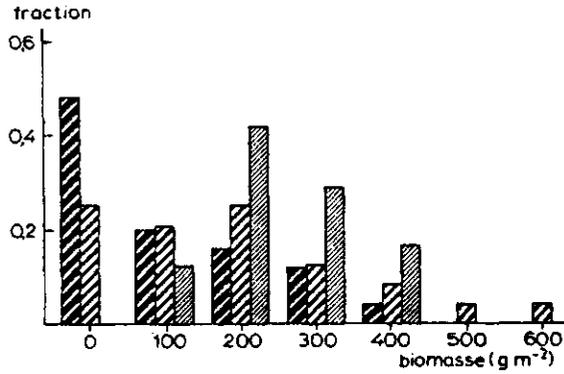


Fig. 2. La répartition spatiale de la biomasse herbacée à la fin de la croissance, au bord du point d'eau du ranch de Niono (▨), $\frac{1}{2}$ km de l'eau (▩) et 5 km de l'eau (▧). (fraction de 25 relevés de 1 m^2 à une biomasse de matière sèche arrondie à 0, 1.000, 2.000, etcétera kg/ha; biomasse moyenne des 3 zones respectivement 800, 1.800 et 2.000 kg/ha) (fig. 6.6.5, rapport final P.P.S.)

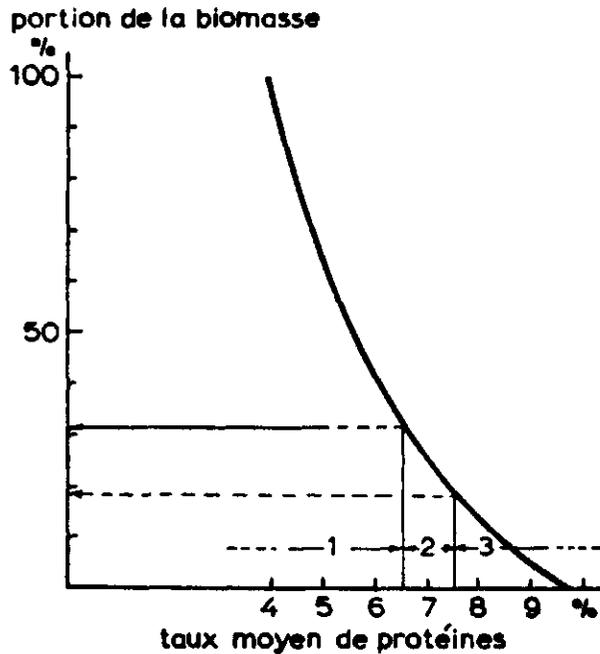


Fig. 3. La répartition de fréquence des classes de biomasse suivant leur taux de protéines brutes pour les pâturages de la transhumance de Diafarabé pendant les mois les plus pénibles (1, 2 et 3 respectivement médiocre, moyen et bon, suivant Boudet, 1978).

3. O p t i q u e z o o t e c h n i q u e

3.1 Facteurs Dominants

La production animale réalisable dépendra des facteurs liés aux pâturages, aux animaux et à la gestion humaine. Ce qui compte des pâturages est la disponibilité et la qualité du fourrage de place à place, au cours de l'année et d'année en année, des choses assez bien étudiées dans le cadre du projet PPS. Mais moins d'attention a eu la distribution spatiale (horizontale et verticale) et dans le temps, qui influenceront l'ingestion.

Des facteurs animaux sont l'espèce, la sélectivité, l'ingestion, rapport quantité et qualité de fourrage ingéré et changement du poids vif, etcétera. La gestion ne sera pas traitée ici. Cela ne devient en cause qu'en quantifiant le schéma suivant pour un système de d'élevage déterminé.

3.2 Disponibilité Et Qualité De Fourrage.

Soeters (ce compte-rendu) a traité la disponibilité et la qualité de fourrage peu traditionnellement: la quantité de fourrage disponible est pour lui la biomasse représentée par la fraction de N_b exploitable (vu la valeur de f_b) qui est supposée d'être consommée à une concentration moyenne de 1,2 %. Donc Soeters ne se préoccupe pas de la question si la végétation est telle que certains animaux, seul ou en combinaison, arriveront à réaliser la consommation estimée.

Pour répondre la dernière question il sera inévitable de préciser biomasse et qualité, en autres mots, de décrire la végétation. Ceci sera fait en évitant aussi longtemps que possible de parler en termes d'espèces, par lequel on introduirait une variable qui fait chaque généralisation impossible. Des autres arguments pour une telle approche sont:

- substrat et pluviosité sont au moins aussi importants que les propriétés des espèces individuelles pour la détermination de la biomasse et sa qualité (rapport final, 6.6.2, 6.6.3 etcétera)
- la composition floristique est très variable
- l'appétibilité est une notion relative
- la pâture de bovins, ovins, caprins et camelins est complémentaire.

Seulement pour des cas particuliers (plantes toxiques ou physiquement inaccessibles, élevage monospécifique) on sera obligé d'estimer quelle fraction de biomasse doit être négligée, vu des propriétés spécifiques (N.B. dans l'optique écologique cette fraction peut bien servir comme protection du substrat!).

Dans l'option zootechnique il ne suffit pas d'estimer la production moyenne des pâturages et son taux d'azote, assez bien possible par l'approche du projet PPS, il faut aussi connaître leur distribution spatiale. Pour la biomasse nous avons beaucoup de données concernant la distribution horizontale, comme illustrée par la fig. 2 (= fig. 6.6.5, rapport final). Des renseignements quantitatifs de la distribution verticale (structure du couvert végétal) nous manquent cependant. La répartition de l'azote a été la base de la distinction de 3 classes de biomasse suivant la qualité, qualité suivant taux de protéines, c'est-à-dire taux d'azote x 6,25 (fig. 8.1.2, rapport final). La fig. 3 en est un raffinement nécessaire, présentant la répartition de fréquence des classes suivant le taux moyen de protéines sur une échelle continue (Buil, 1981).

Le taux de protéines n'est pas le seul critère de qualité à regarder, le taux de P et la digestibilité sont aussi si bas qu'ils pourraient être des facteurs limitatifs pour la production animale (6.6.4.2 et 8.1.4, rapport final). Dans tels cas ils doivent être présentés comme a été fait ci-dessus pour les protéines.

Les données de P.P.S. concernant le taux de P dans les végétations sahéliennes, sont aussi nombreuses que celles de N, quoique moins élaborées. Une publication est en préparation en ce qui concerne la digestibilité (Van der Meer et Breman, en préparation). Des mesures de la digestibilité "in vitro" indiquent une corrélation nette avec le taux de fibres celluloses. L'évolution du dernier au cours de la croissance et de la saison sèche sera décrite pour des zones principales.

3.3 Besoin Alimentaire

3.3.1 Système d'élevage

Dans une situation d'une variation saisonnière forte de la disponibilité et de la qualité de fourrage (fig. 4), qu'on n'arrive pas à contrôler ou à compenser, c'est l'environnement qui dicte le système d'élevage pour une bonne partie. La production animale potentielle est déterminée par le nombre maximal qu'on arrive à maintenir pendant le moment le plus pénible de l'année et par leur production individuelle. Ce nombre est déterminé par la quantité de fourrage d'une qualité suffisante pour maintenir les animaux au moment crucial, en général la fin de la saison sèche (fig. 4, 1.). La production individuelle est déterminée par la période qu'un tel nombre aura de fourrage d'une qualité suffisante pour produire (fig. 4, 2.) et par la qualité en question. Donc ce n'est pas la quantité de fourrage de qualité qui compte (la superficie de la pique de

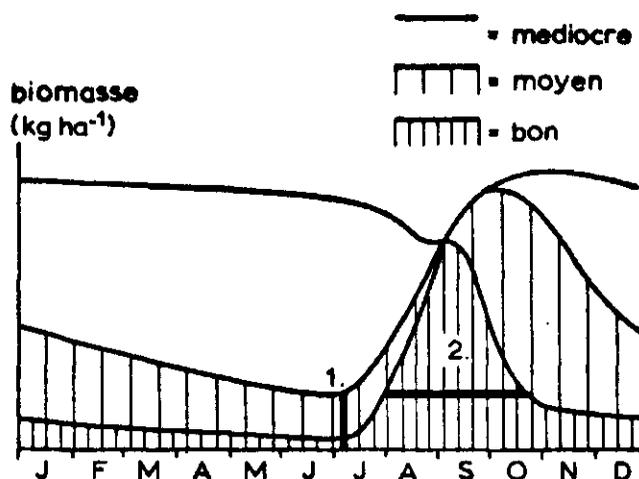


Fig. 4. L'évolution des classes de biomasse au cours de l'année; la quantité de fourrage qui détermine le nombre maximal d'animaux à maintenir (1.) et la période qu'ils peuvent produire (2.) (suivant Buil, 1981).

la fig. 4), aussi longtemps récolte et conservation sont des utopies. La qualité, et la durée qu'elle suffit pour faire produire les animaux augmentent vers le Nord, d'où l'avantage des migrations (8.1, rapport final). Pour ceux qui les pratiquent ce n'est pas nécessairement la fin de la saison sèche qui est la plus pénible, comme la fig. 4 suggère.

Le nombre d'animaux à maintenir maximale est moins fixe que la fig. 4 veut faire croire, car il dépendra de l'état des animaux que l'éleveur accepte pour la fin de la période difficile. Ce n'est pas obligatoire de les maintenir au poids de la fin de la saison de croissance. L'éleveur pourrait accepter une certaine perte de poids, ou d'exiger encore un gain de poids en saison sèche. L'éleveur a donc le choix théorique de faire utiliser le bon fourrage seulement, ou de laisser ces animaux du fourrage moyen ou d'accepter du fourrage médiocre. En supposant que le taux de protéines est le critère de qualité dominant, il peut disposer dans ces cas de respectivement 18%, 32% ou plus de 32% de la biomasse de l'époque la plus pénible pour le cas de la fig. 3, avec des conséquences inhérentes pour l'importance de son troupeau. Par le fait que la production annuelle des animaux est le bilan de celle des saisons (fig. 5), l'éleveur influence donc le résultat de son élevage par le nombre qu'il maintient dans les périodes difficiles.

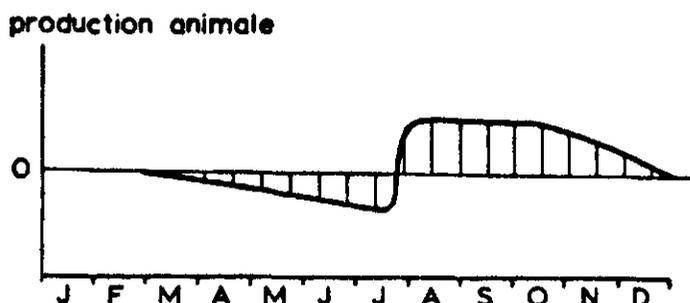


Fig. 5. La variation de la production d'un animal au cours de l'année, en cas d'une période avec du fourrage médiocre (mars-juillet).

La fig. 6 schématise la production au cours de 5 ans, en ce qui concerne le poids vif. Théoriquement il n'existe pas d'obstacles de le faire aussi pour la production laitière, la reproduction, la laine, etcétera; les données nécessaires pour une quantification seront cependant plus limitées. La même chose est vraisemblable pour les cas que la digestibilité ou le taux de P est un caractère de qualité plus important que l'exemple de taux de protéines.

La production annuelle par animal diffère facilement un facteur 2 pour les cas de la fig. 6. La différence est surtout causée par la saison sèche, car en hivernage il existe un surplus de bon fourrage. On peut s'attendre cependant à une différence en longueur de la période de croissance si la charge diffère bien (voir fig. 4).

Pour se prononcer des potentialités des pâturages au point de vu zootechnique, il sera nécessaire de quantifier les pentes des courbes de la fig. 6 en rapport avec des caractéristiques des pâturages.

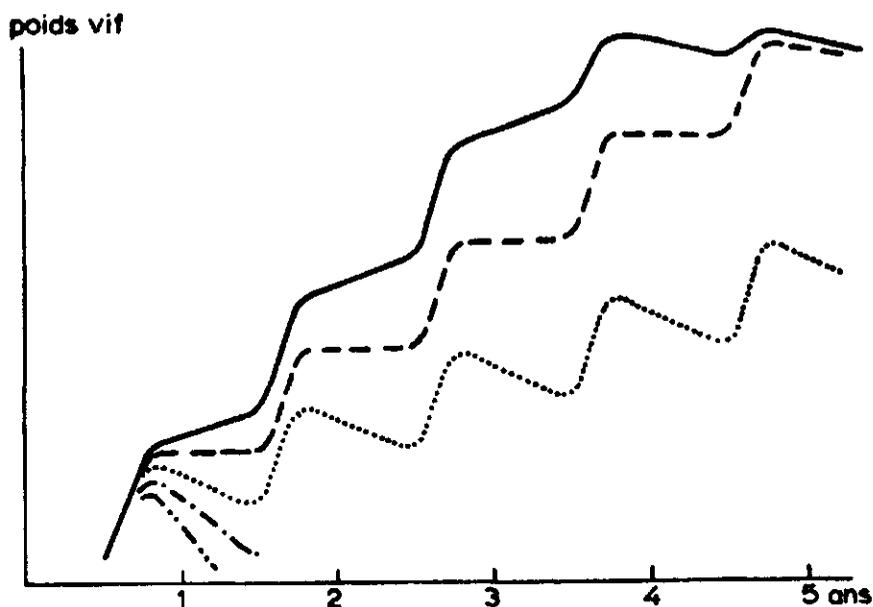


Fig. 6. La croissance individuelle des bovins au cours de 5 ans après la naissance, en cas de disponibilité de bon fourrage (—) en saison sèche, ou de fourrage moyen (----) ou médiocre (.....; -.-.; -.-.-.).

3.3.2. Consommation

La question est de savoir le rapport entre la disponibilité de fourrage et sa qualité avec la quantité et la qualité de la consommation. C'est la volonté (ou l'habitude) et l'aptitude des animaux de sélectionner, en face de la biomasse absolue et relative de la classe de qualité cherchée, qui joue un rôle important. Même pour des zébus cette aptitude est étonnante: Diallo (1978) montre pour un troupeau transhumant que le menu sélectionné a un taux de protéines qui est en général 2 à 3% plus élevé que la valeur moyenne de la biomasse disponible (et 10 à 20% pour la digestibilité). En décrivant la disponibilité de fourrage et sa qualité par une combinaison des fig. 3 et 4 on se procure d'un outil d'estimer la qualité du menu. Diallo (1978) montre aussi que le zébu ne sélectionne pas s'il ne le peut pas (biomasse à qualité homogène) et qu'il sélectionne peu si la qualité moyenne de fourrage est élevée. Ce qui fait penser que le faim ou l'appétit détermine le degré de la sélectivité. L'appétit à son tour sera déterminé par l'aptitude de l'animal de se procurer une certaine quantité de nourriture par unité de temps, donc par la durée de pâture, la vitesse des déplacements, le nombre de happes et le poids des bouchées. La biomasse, la distribution et la densité de la classe de qualité cherchée vu l'appétit seront des paramètres du pâturage en jeu. Mais à côté il existe un seuil physiologique, lié à la vitesse de la digestion: la consommation maximale au point de vu physique (de l'animal et du pâturage) ne sera pas atteinte quand la vitesse est trop basse, ou par le taux de protéines du fourrage, ou directement par sa digestibilité. La fig. 7 schématise ce qui vient d'être dit.

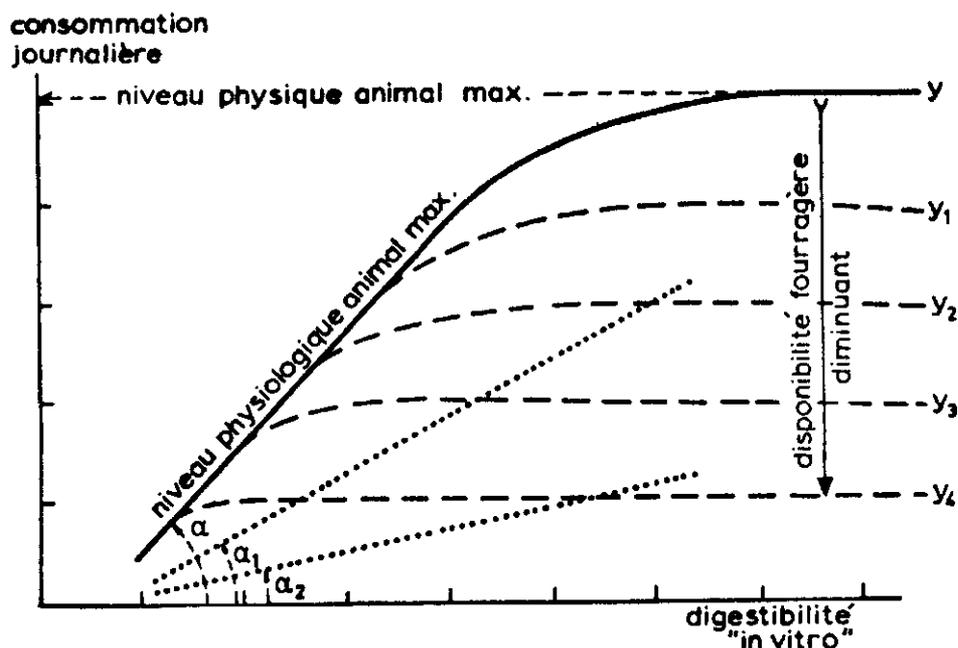


Fig. 7. La consommation journalière par UBT en rapport avec la digestibilité moyenne du fourrage ("in vitro").

En cas d'un surplus fourrager (dépendant de la biomasse et sa structure) la quantité consommée est déterminée par la vitesse de la digestion (α lié aux propriétés physiologiques de l'animal), jusqu'à un niveau de digestibilité du fourrage en dessous duquel l'aptitude physique de l'animal devient limitative (y). Ceci est le cas pour une digestibilité de plus en plus basse à une diminution de la disponibilité fourragère (vu biomasse et structure) en dessous d'une valeur minimale (disponibilité diminue de, $y_1 + y_2 + \text{etc.}$). Cependant, la transition d'une consommation déterminée physiologiquement vers une consommation déterminée physiquement a lieu à une digestibilité "in vitro" plus élevée au fur et à mesure que le taux de protéines du fourrage est plus bas (taux diminuant de $\alpha + \alpha_1 + \alpha_2$). Cette influence des protéines ne se fait sentir qu'en dessous d'un taux de 6 à 7%.

On pourrait éviter vraisemblablement cette complication en utilisant la digestibilité "in vivo" comme variable, mais les données disponibles seraient trop limitées.

La fig. 7 ne peut pas être utilisée directement pour l'estimation de la quantité de fourrage ingérée journalièrement par UBT, sur un certain pâturage. Car l'herbe y n'aura pas une digestibilité définie, mais toute une gamme. La fig. 8a montre l'importance relative des classes de digestibilité pour 3 moments de l'année.

La digestibilité moyenne y est celle qu'on trouve pour $f = 100\%$. L'axe horizontal représente la digestibilité augmentant des classes diverses, dont la disponibilité diminue suivant les graphiques de l'importance relative. Mais la figure présente aussi le niveau maximal de la consommation de la fig. 7 et chaque digestibilité de l'axe horizontal représente dans ce cas une ration totale, disponible en surplus.

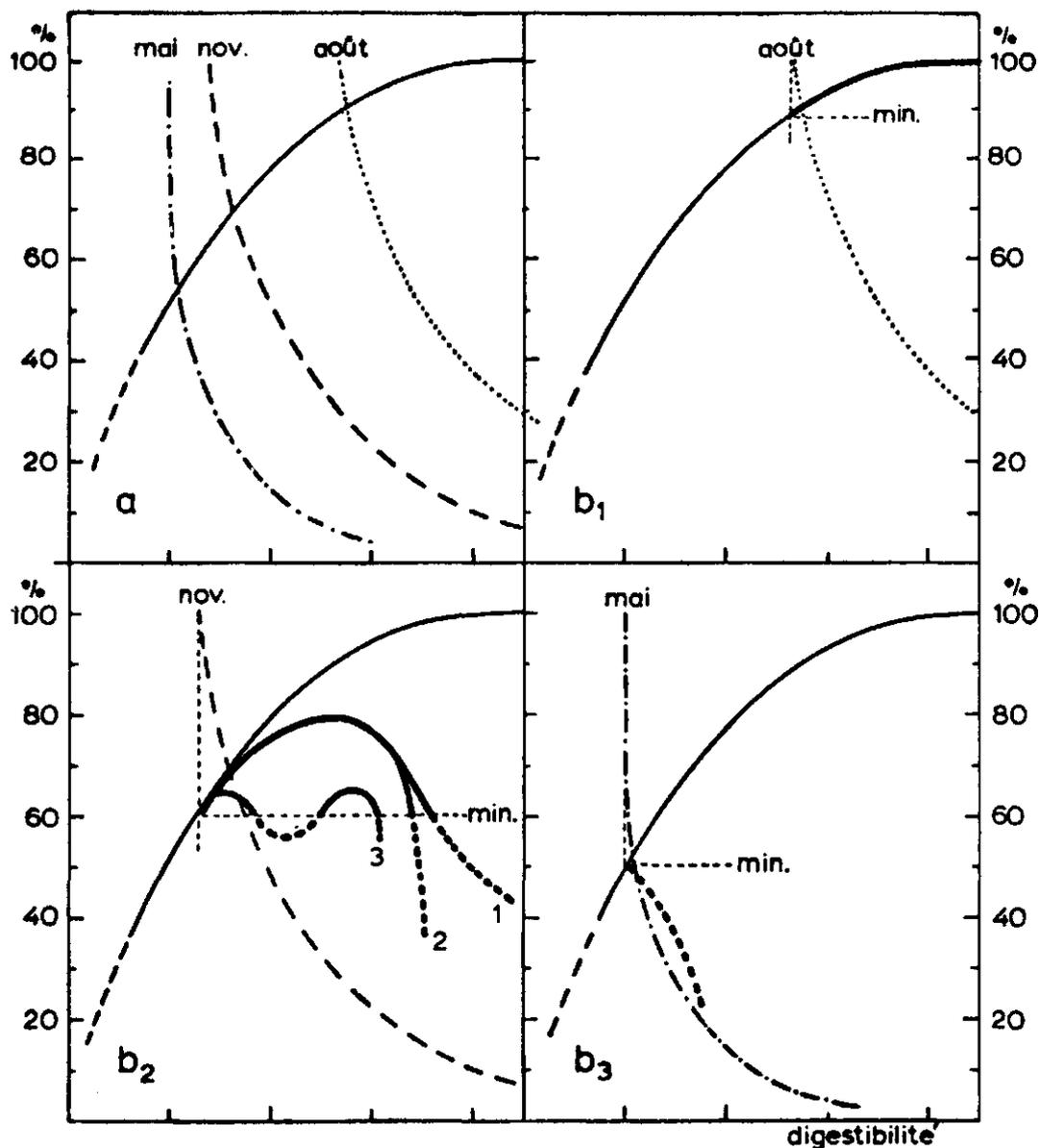


Fig. 8. La quantité du fourrage ingérée (—) vu l'importance relative des classes de digestibilité du pâturage en face de la consommation maximale en rapport avec la digestibilité moyenne du fourrage (—), les deux exprimés en pourcentage du niveau physique maximal (fig. 7). L'importance relative des classes de digestibilité d'août (.....), novembre (----) et mai (-.-.-) est présentée par 8a, sans indication de la consommation attendue. 8b₁, b₂ et b₃ la présentent avec la consommation la plus vraisemblable de ces mois. Il est supposé que cette consommation ne baisse pas en dessous du niveau minimal (---- min.).

Les fig. 8b₁, 8b₂ et 8b₃ présentent des exemples de la quantité du fourrage ingérée¹ sur pâturage vu la digestibilité moyenne et sa distribution, et vu la quantité potentielle à ingérer. Fig. 8b₁ et 8b₃ sont des cas extrêmes, 8b₂ est une situation intermédiaire.

Fig. 8b₁:

La consommation réelle est égale à la consommation potentielle. Si l'animal veut et peut sélectionner, la consommation atteindra le niveau physique maximal (fig. 7). La condition est que la classe de digestibilité cherchée est facilement à trouver, à sélectionner et suffisamment dense pour permettre des bouchées maximales. Ceci ne sera possible que dans le cas que cette classe forme une fraction concrète et "isolée" de la végétation: par exemple des plages d'espèces plus digestibles que moyennement ou les inflorescences/infructescences d'un pâturage de graminées annuelles. Cette situation se présentera seulement en saison de croissance, et sera pour les savanes en général limitée au début de l'hivernage, tandis qu'elle s'étale jusqu'à la fin de la saison de pluies au Nord du Sahel. En cas extrême aucune sélectivité est nécessaire pour la consommation maximale: la digestibilité moyenne (f = 100%) la permettra déjà.

Fig. 8b₃:

L'autre extrême, chaque sélectivité cause une consommation plus basse que la consommation maximale pour la digestibilité moyenne de l'ensemble de la biomasse; ou par le temps supplémentaire pour la recherche (biomasse relative basse), ou par la quantité limitée disponible des fractions cherchées (biomasse absolue basse). Tels cas se présenteront surtout pendant l'époque que la qualité de l'herbe est la plus mauvaise (fin saison sèche) et ceci le plus tôt où un surplus d'eau cause une croissance de longue durée limitée par des éléments nutritifs (savanes).

Fig. 8b₂:

Des situations intermédiaires seront les plus fréquentes et les plus complexes. Malgré la sélection à partir d'une biomasse totale, dont la digestibilité moyenne est telle que la consommation est au niveau physiologique maximal, la quantité ingérée reste en dessous du niveau physique maximal (fig. 7). La raison est trop de temps perdu pour la recherche et/ou une quantité disponible de la fraction cherchée qui est trop limitée. Faut-il compter de la dernière raison seulement, on peut s'attendre à une diminution de la quantité ingérée parallèle à la disponibilité des fractions cherchées (cas 1, fig. 8b₂). Avec les 2 raisons la diminution est plus vite à la recherche des fractions de digestibilité élevée (cas 2). Dans la pratique il ne s'agit pas d'une mélange homogène des fractions, mais s'agit-il des plantes, ou des parties de plantes bien distinguées. Et il est donc possible qu'une certaine fraction est plus facilement à consommer qu'une autre plus abondante. Un exemple est celui des inflorescences de certaines graminées pérennes en comparaison des feuilles de la tige (cas 3).

A première vue la fig. 8 pourrait sembler peu éclaircissante, décrivant toute la gamme de possibilités. Cependant elle indique bien que la réalité se trouve entre les cas extrêmes b₁ et b₃. Et il est possible de restreindre encore plus le terrain à regarder en acceptant la thèse: "La sélection pour qualité ne sera pas si rigoureuse que la quantité ingérée sera plus basse que celle à obtenir en acceptant la qualité moyenne de la

biomasse totale". Ceci fixe la consommation minimale au niveau indiqué par "min.", sur la fig. 8b et exclue les possibilités représentées par les lignes de consommation pointillées.

Le précédent suggère inexprimé que la biomasse totale disponible est suffisamment élevée pour la consommation maximale définie par la fig. 7. Au début de la saison de croissance, aux terrains fortement exploités et au Nord du Sahel, ceci ne sera pas le cas. On suppose que la quantité ingérée réellement, se trouve dans ce cas aussi à partir de la fig. 8, en sortant d'un niveau minimal qui se rapporte au niveaux minimaux de la fig. 8, comme la biomasse totale disponible en rapport avec la biomasse minimalement nécessaire pour permettre la consommation maximale de la fig. 7.

La différence entre la consommation avec sélection et sans sélection est plus grande que la fig. 8 suggère, car la consommation utile augmente avec la digestibilité. Pour quantifier il suffit de calculer la consommation de la matière digestible.

3.3.3 Consommation d'entretien

Le nombre d'animaux à maintenir pendant la période la plus pénible de l'année (fig. 4) peut être estimé, quand on fixe la qualité moyenne minimale qu'on veut les offrir, avec l'aide de la fig. 8, situation b_2 ou b_3 . La décision concernant la qualité minimale dépendra de l'état qu'on exige de ses animaux au début de la saison de pluie (3.3.1 et 3.4). Fig. 8 indiquera la quantité ingérée par UBT par jour pour la fraction de qualité choisie. En connaissant la biomasse totale disponible pour l'époque en question on connaît aussi la quantité de la fraction cherchée. Reste à savoir si la perte de cette fraction par piétinement est aussi importante que celle de la biomasse totale (Hiernaux: "consommation réelle 50% de la consommation apparente!"). Cette question se pose également pour la détermination de la disponibilité d'une certaine fraction de la biomasse totale pour la croissance animale (3.3.4). Elle ne doit pas être confondue avec un problème de la notion écologique de la capacité de charge, notamment quelle biomasse à laisser au pâturage pour la protection du substrat? De la biomasse perdue pour le bétail n'est pas perdue pour l'écosystème nécessairement!

3.3.4 Consommation productive

La fig. 4 suggère trop simplement que la quantité de fourrage nécessaire pour l'entretien journalier des animaux (hauteur de 1.) est égale à celle pour les faire produire en hivernage (niveau de 2.). Les estimations de la capacité de charge basées sur le besoin par UBT de 6,25 kg de matière sèche font la même chose. En réalité la consommation, sera bien différente pendant les deux époques par la supériorité du fourrage de l'hivernage. Quantité et qualité du fourrage ingéré en hivernage peuvent être estimées avec l'aide de la fig. 8, situation b_1 ou b_2 . Il faut sortir du nombre d'animaux à nourrir, estimé ci-dessus (3.3.3), la quantité de fourrage étant présente en surplus. Les migrations forment cependant une complication: le nombre estimé pour un certain pâturage de la saison sèche ne sera pas le même que le nombre au pâturage visité par le troupeau en question en hivernage. Il est même possible que la thèse du surplus de fourrage, basée sur l'étendue énorme des pâturages de la saison de pluie

(Breman, 1975), n'est pas toujours valable par la concentration relative des troupeaux dans une bande étroite vers la limite de la pénétration de la mousson au Nord. Les bergers "suivent dans ce cas les pluies", pour profiter maximale de la qualité montant vers le Nord, jusqu'à la zone où le produit de la quantité ingérée et son taux de N et de la matière digestible sera maximal. Encore plus au Nord la qualité pourra augmenter encore mais la quantité ingérée y diminue par le temps pour la recherche du fourrage et par la diminution trop forte de sa densité. Un dénombrement, fait en Mauretanie par l'auteur, en est une illustration (fig. 9).

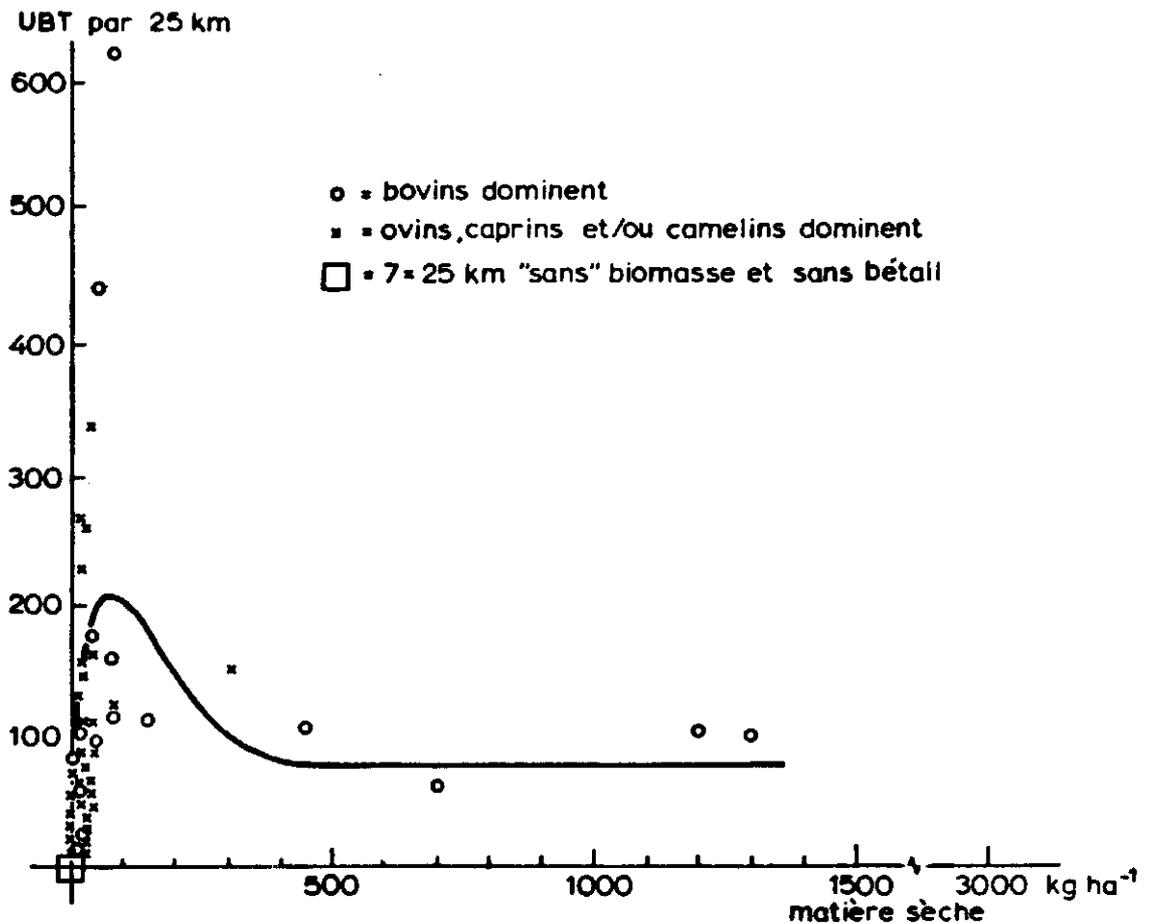


Fig. 9. La densité totale de bétail, en nombre d'UBT par 25 km courant, en rapport avec la biomasse de la strate herbacée, estimé au cours d'un voyage en Landrover du 19 au 27-10-1981, à l'intérieur du Mauretanie sur une distance totale de 1350 km au travers des régions V, VI et XII. (N.B. Biomasse des feuilles de ligneux 100 à 200 kg/ha, surtout là où la strate herbacée est négligeable).

3.4 Production Animale

Pour pouvoir comparer la capacité de charge des unités de paysage, du point de vue zootechnique, on se limite ici des changements du poids vif (\approx production de viande). Ce n'est pas un choix par principe, mais c'est plutôt pratique:

- une comparaison demande une standardisation (comparable au choix pour une exploitation sédentaire continue de la notion écologique)
- les données disponibles sont les plus nombreuses
- spécialement pour l'élevage extensif qu'on regarde, les autres produits seront généralement des dérivés

La fig. 6 simplifie la réalité par la distinction de seulement deux situations de croissance, notamment celle de la saison de pluies et celle de la saison sèche. Ceci sera assez réaliste là où les différences entre les saisons au point de vue disponibilité et qualité de fourrage sont les plus marquées, c'est-à-dire pour les savanes. Mais en général il sera recommandable de distinguer au moins 3 phases, des périodes de croissance, de maintien et de pertes. Une description mensuelle serait encore mieux (fig. 5) mais elle exige une connaissance détaillée de l'évolution de la disponibilité fourragère.

Croissance et maintien seront le moins difficiles à décrire en rapport avec une certaine ration. Des données concernantes de Boudet (1978) ont été présentées par la partie supérieure de la fig. 10. Le rapport de la valeur azotée et de la valeur énergétique (M.A.d/UF) du fourrage disponible pour un moment donné, face aux valeurs absolues en question permettra de choisir entre les graphiques 1 et 2 de la fig. 10, pour la détermination de la croissance pondérale associée. Le croisement des graphiques avec la ligne horizontale au niveau de 0-croissance, indique la valeur du fourrage pour l'entretien du bétail. Et pour croissance, et pour entretien un déplacement des graphiques à droite est nécessaire pour tenir compte des besoins alimentaires de l'activité de la pâture même. Ces besoins pourraient être exprimés par km de déplacement par exemple.

Quantifier la perte journalière de poids vif en rapport avec la ration, sera plus problématique (partie inférieure de la fig. 10). Les données empiriques sont plus rares que celles des cas précédents. Mais elles pourraient être complétées, aussi bien que les cas précédents, par une considération théorique. Des estimations pourraient être faites avec l'aide de la connaissance des besoins énergétiques des processus de la formation et de la décomposition des protéines et de la matière grasse. Logiquement on doit s'attendre d'abord d'une diminution du poids en rapport avec l'utilisation des réserves graisseuses, tandis qu'après les protéines seront attaquées. Aussi dépendra la perte non seulement du fourrage, mais aussi de l'espèce, de la sexe et de l'état des animaux, par l'influence sur l'importance des réserves.

La présentation de la fig. 10 risque d'estomper encore 2 facteurs non-négligeables:

- Les graphiques concernent une UBT, c'est-à-dire une biomasse animale hypothétique de 250 kg. Mais les pentes ne seront pas indépendantes de l'âge des animaux composants. On doit s'attendre à des déviations pour des animaux très jeunes et pour les animaux arrivés au temps de leur croissance.
- La quantité consommée n'est pas fixe, mais varie avec l'offre des pâturages et sa qualité.

Le bilan annuel de la production animale par UBT, ainsi déterminée,

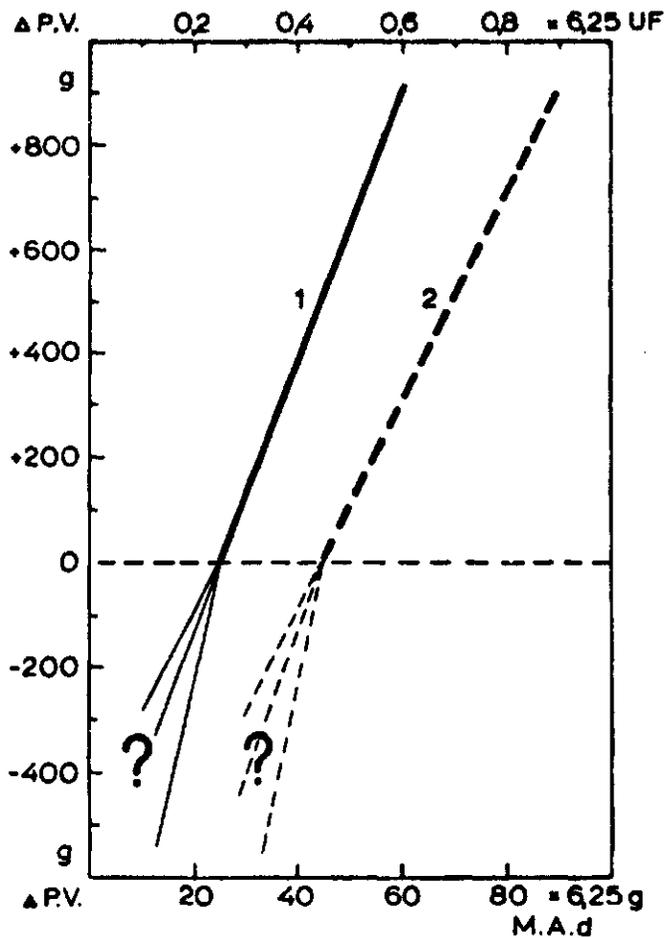


Fig. 10. Le changement journalier du poids vif ($\Delta P.V.$) d'une UBT, en rapport avec la consommation journalière de la matière azotée digestible (M.A.d, cas 1) ou des unités fourragères (UF, cas 2), en supposant une consommation de 6,25 kg de matière sèche par jour.

et le nombre d'UBT par unité de surface (3.3.3) nous permettront de nous prononcer du potentiel animal des paysages distingués. Bien sûr, il ne sera pas facile de donner au croquis présenté suffisamment de consistance. Mais des essais de charge pour chaque endroit et chaque situation serait un effort plus immense.

4. R é f é r e n c e s

- Boudet, G. 1978. Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. Serie Manuels et précis d'élevage no. 4. I.E.M.T.V., Min. de la Coopération, Paris.
- Buil, M. 1981. Een studie naar de invloed van een aantal diereigenschappen op de primaire en sekundaire produktie in de Sahel. Intern rapport no. 12, Vakgroep Theoretische Teeltkunde, L.H. Wageningen.

- Diallo, A., 1978. Transhumance: comportement, nutrition et production d'un troupeau zébus de Diafarabé. Thèse. Centre Pédagogique Supérieure, Bamako.
- Meer, J.M. van der, et H. Breman, en préparation. Prediction of the nutritive value of natural Sahelian rangeland plant species from chemical composition.

ANNEXE

L i s t e d e s p a r t i c i p a n t s

BIE, Steven de (Université Agronomique Wageningen = LH, Dép. Conservation et Gestion de la Nature, projet Recherche pour Utilisation Rationnelle du Gibier au Sahel = RURGS).

BREMAN, Henk (Centre de Recherches Agrobiologiques, Wageningen = CABO, projet Production Primaire au Sahel = PPS).

DIEPEN, Kees van (International Soil Museum, Wageningen = ISM).

ELBERSE, Wim (CABO).

ENGELEN, Anton van (LH, Dép. Elevage Tropical).

HERINGA, Albert (LH, Dép. Conservation et Gestion de la Nature, projet RURGS).

HERMANS, Tia, (Centre de Recherches de l'Alimentation Mondiale, les Pays Bas = SOW, Elevage Tropical).

HIERNAUX, Pierre (Centre International Pour l'Elevage en Afrique, Addis Abeba = CIPEA, projet Etudes des Systèmes d'Elevage des Zones Arides).

SNIJDERS, Herman (LH, Dép. Sol et Fertilisation).

SOETERS, Martin (CABO).

SOW, Nehoum (International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences, Enschede = ITC, étude des pâturages au Kaarta, Mali).

STROOSNIJDER, Leo (LH, Dép. Sol et Fertilisation, projet PPS).

TRAORE, Gaoussou (Projet Inventaire des Ressources Terrestres, Bamako = PIRT).

UITHOL, Peter (CABO, projet PPS).

WIJNGAARDEN, Willem van (ITC; jadis projet RURGS).

ZEMMELINK, Ger (LH, Dép. Elevage Tropical).